

Міністерство освіти і науки України

---

---

# Системні технології

System technologies

---

*1 (132) 2021*

---

*Регіональний міжвузівський збірник наукових праць*

*Засновано у січні 1997 року.*

**У випуску:**

– ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ  
СУЧАСНОГО ВИРОБНИЦТВА

– МАТЕМАТИЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ

– СИСТЕМНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 1 (132). - Дніпро, 2021. – 167с.

ISSN 1562-9945 (Print).

ISSN 2707-7977 (Online).

### **Редакційна колегія випуску:**

**Алпатов А.П.** - д.т.н., проф. (відп. редактор)  
**Архипов О.Є.** - д.т.н., проф.  
**Білозьоров В.Є.** - д.ф.-м.н., проф.  
**Бабічев С.А.** (Чеська Республіка) - д.т.н., доц.  
**Єрьомін О.О.** - д.т.н., проф.

Прогресивні інформаційні  
технології та організація  
сучасного виробництва

**Гече Ф.Е.** - д.т.н., проф., (відп. редактор)  
**Гуда А.І.** - д.т.н., проф.  
**Гнатушенко Вік.В.** - д.т.н., проф.  
**Скалозуб В.В.** - д.т.н., проф.

Математичне  
та програмне забезпечення  
інтелектуальних систем

**Гнатушенко В.В.** - д.т.н., проф., (відп. редактор)  
**Гожий О.П.** - д.т.н., проф.  
**Кіріченко Л.О.** - д.т.н., проф.  
**Светличний Д.С.** (Польща) - д.т.н., проф.  
**Хандецький В.С.** - д.т.н., проф.

Системні технології  
обробки інформації

Збірник друкується за рішенням Вченої Ради  
Національної металургійної академії України  
від 22.01.2021 р., № 1

Адреса редакції: 49600, Дніпро, пр. Гагаріна, 4 Національна  
металургійна академія України,  
кафедра Інформаційних технологій та систем.

Тел. +38(056)7135256

E-mail: [st@nmetau.edu.ua](mailto:st@nmetau.edu.ua)

<https://journals.nmetau.edu.ua/index.php/st>

© Національна металургійна академія України,  
ІВК «Системні технології», 2021

Т.В. Селівьорстова, В.Ю. Селівьорстов, О.Д. Чернов

## ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ ГРАФІЧНОГО ІНТЕРАКТИВНОГО ІГРОВОГО ДОДАТКУ ДЛЯ ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ТЕХНОЛОГІЄЮ ГАЗОДИНАМІЧНОГО ВПЛИВУ НА РОЗПЛАВ В ЛИВАРНІЙ ФОРМІ

*Анотація. Стаття присвячена розробці інтерактивного графічного ігрового додатку для ознайомлення з особливостями нових ливарних технологій, що базується на регульованому газодинамічному впливі на розплав в ливарній формі під час твердіння. Особливості навчального процесу при підготовці спеціалістів в галузі металургії, в тому числі ливарників, передбачає наявність ґрунтовної не тільки теоретичної і практичної підготовки, яка здійснюється в рамках ливарної лабораторії. Оснащення сучасної ливарної лабораторії вимагає суттєвих вкладень в обладнання, матеріали, крім того деякі ливарні технології не можуть бути адаптовані до навчального простору, це стосується і технології газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі. Крім того, застосування графічного інтерактивного ігрового імітатора ливарної технології газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі має незаперечні перспективи в рамках навчального процесу, особливо в умовах пандемії COVID-19. Тому розробка графічного інтерактивного ігрового додатку для ознайомлення з особливостями нової ливарної технології є актуальною задачею.*

*Ключові слова: 3D, 3D, модель, графіка, гра, екшен, литво, технологія, якість, вилівок, розплав, газ, вплив.*

**Вступ.** В наш час гостро постає питання дистанційного навчання, адаптації навчальних програм для забезпечення ефективного освітнього процесу [1]. Особливо це стосується тих галузей, які потребують наочності та практики, окрім теоретичних знань. Це такі галузі як медицина, інженерія, виробництво, зокрема, ливарне, та багато інших. Для ефективного навчання студентам необхідно бути присутніми на виробництві чи на практикумі, який важко організувати з урахуванням карантинних вимог [2]. Інтерактивні графічні засоби дають змогу студентам (учням) наочно вивчати будь-який технологічний процес в рівних умовах, особливо це важливо в умовах пандемії COVID-19.

Ливарні технології входять в цикл професійної підготовки спеціалістів напряму «металургія», тому застосування віртуальних графічних імітаторів ли-

варних технологій є важливим питанням при підготовці студентів та перепідготовці та підвищенні кваліфікації робочим кадрам. Дивесифікація наочних засобів навчання дасть можливість ознайомити спеціалістів з новими ливарними технологіями, реалізація яких в лабораторних умовах вкрай ускладнена, або зовсім не можлива.

В роботі розглядається процедура розробки сценарію взаємодії графічного ігрового оточення з гравцем та реалізації графічного інтерактивного ігрового додатку, що демонструє технологію газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі [3].

**Аналіз стану питання.** На сучасному етапі розвитку інформаційного суспільства на ринок освіти активно виходять ігрові освітні технології. Перспективність застосування освітніх комп'ютерних ігор обумовлена наступними факторами: освітня гра, як платформа для активного навчання; стимулювання і підтримка інтересу до навчання; ситуаційне багатство освітніх ігор. У теперішній час в Україні ігровий підхід отримав значне поширення в рамках шкільної освіти, проте застосування ігрових освітніх технологій у закладах вищої освіти та професійних навчальних закладах не набуло широкого розповсюдження.

Виклики сьогодення потребують розширення мультимедійних засобів навчання, це пов'язано з поширенням пандемії COVID-19 та вимушеним переходом до онлайн простору понад 80% навчального процесу у закладах вищої освіти та професійних навчальних закладах України. Світовий досвід демонструє значне зростання кількості мультимедійного контенту в освітньому процесі, особливо в напрямках набуття практичних навичок при проведенні, зокрема, лабораторних занять. Аналіз літератури дозволив зробити висновок, що застосування ігрового підходу має значне поширення в гуманітарній сфері, прикладом цього можуть служити такі проекти як AXMA Story Maker.

В даний час відбувається перехід від e-Learning до SMART e-Learning і Smart Education. Концепція SMART-освіти – гнучкість, що передбачає наявність великої кількості джерел, максимальної різноманітності мультимедіа, здатність швидко і просто налаштовується під рівень і потреби слухача.

Підготовка бакалаврів і магістрів спеціальності 136-Металургія за наявними освітньо-професійними програмами підготовки потребує значної кількості лабораторних та практичних занять, що формують компетенції по освітніх програмах. Крім того, дисципліни фахової підготовки потребують ознайомлення та вивчення нових профільних технологічних процесів, до яких відноситься, зокрема, технологія газодинамічного впливу на розплав в ливарній фо-

рмі [3]. Проте, питання впровадження сучасних графічних ігрових технологій в навчальний процес освітньо-професійних програм підготовки зазначеної спеціальності, як і багатьох інших, на теперішній час ще не набули істотного поширення у вишах України.

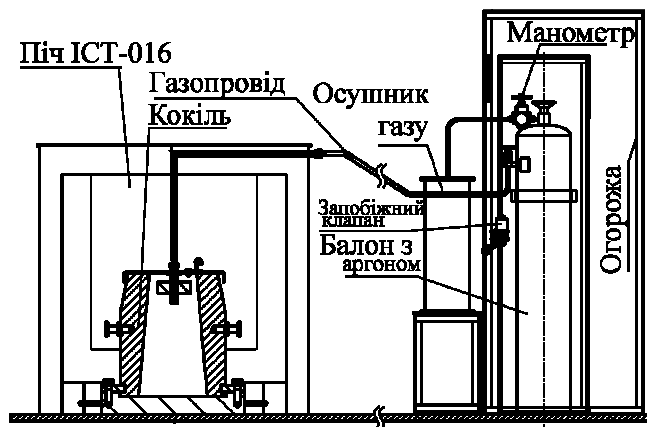
**Метою роботи** є розробити сценарії взаємодії графічного ігрового оточення з гравцем та реалізувати графічний інтерактивний ігровий додаток, що демонструє технологію газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі, що може привести до підвищення якості підготовки та перепідготовки інженерних кадрів шляхом залучення до навчального процесу графічних інтерактивних ігрових додатків для ознайомлення з новітніми технологіями.

**Основний матеріал.** Відомо, що у загальному випадку, початок процесу кристалізації співпадає з появою нових поверхонь розділу: центри кристалізації – рідина і зростанням їх площі. Збільшення переохолодження і тиску, що прикладається, призводить до зменшення роботи утворення зародків і, відповідно, до збільшення кількості центрів кристалізації.

Проведений аналіз існуючих технологічних схем лиття з використанням тиску показав, що при їх реалізації тиск прикладається до загального об'єму металу вилівка і ливарної форми. Прискорене твердіння зовнішньої частини вилівка суттєво обмежує тривалість дії тиску безпосередньо на рідку фазу, або реалізується лише вузький діапазон ефективного тиску, що діє наприкінці процесу затвердіння. Особливістю технології газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі є герметизація системи вилівок-пристрій для введення газу за рахунок формування шару твердого металу необхідної міцності на поверхні вилівка. Тільки після цього здійснюється регульований газодинамічний вплив на рідку фазу усередині вилівка і передача тиску в двофазну зону протягом всього періоду твердіння. Технологія газодинамічного впливу (ГДВ) на розплав в ливарній формі розроблена на кафедрі ливарного виробництва Національної металургійної академії України. Загальна ідея ГДВ полягає в забезпеченні регульованого газового тиску на розплав, що герметизований у системі вилівок, система подачі газу.

Базовий варіант застосування ГДВ передбачає занурення на поверхню рідкого металу в надливну частину ливарної форми (вилівниці) крізь шар теплоізоляційної засипки пристрою для регульованої подачі газу. На рисунку 1 представлена схема пристрою з цільнометалевим холодильником у формі диска. Після заливки форми занурюють герметизуючий холодильник під рівень розплаву, проводять витримку протягом часу, необхідного для герметизації системи

виливоч-пристрій для введення газу. Потім подають газ і одночасно відстежують по манометру динаміку збільшення тиску в системі. Необхідно відзначити, що однією з переваг використання зовнішнього джерела газу, на відміну від технологічних схем, що передбачають фіксовану кількість газоутворюючої речовини, є можливість здійснення процесу навіть у разі часткової розгерметизації системи в процесі твердіння виливку.



а



б



в

Рисунок 1 – Схема установки (а) та етапи здійснення технологічного процесу: прогрів кокілю і герметизуючого холодильника (б), герметизація системи виливок-пристрій для введення газу (в)

Комбінована технологія продувки, вакуумування та впливу газовим тиском на розплав в процесі затвердіння в ливарній формі заснована на тому, що протягом усього процесу від початку твердіння на рідкий метал здійснюється вплив за рахунок створення регульованого газового тиску в герметизованій системі виливок-пристрої для введення газу. Даний процес передбачає як необхідну умову здійснення наявність на поверхні ЛС та робочої порожнини ливарної форми шару затверділого металу до моменту подачі газу в систему виливок-пристрої для подачі газу. Товщина цього шару, що збільшується в часі, повинна забезпечувати за своїми міцнісними характеристиками герметич-

ність системи виливок-пристрої для введення газу, що знаходиться під тиском, аж до повного затвердіння виливка. Технологія може застосовуватися для злитків та виливків, що використовують для заливки сифонну ЛС, і включає дві основні складові.

Реалізація другої складової процесу пов'язана з використанням технології газодинамічного впливу на розплав (ГДВ), що знаходиться в робочій порожнині ливарної форми (виливниці) за допомогою відповідних пристроїв різних конструкцій. В цілому, ці пристрої представляють собою металеві холодильники корпусного типу, що забезпечують функції герметизації виливка (злитка) від навколишнього середовища та подачу стисненого газу від зовнішнього джерела або відвід газу вакуумною системою. Один з варіантів конструкції такого пристрою для здійснення ГДВ (рисунок 2, а, б) складається з металевого корпусу 1, вставки з вогнетривкого матеріалу 2, що розташована в цьому корпусі, газопроводу, поєднаного з системою зовнішнього забезпечення газом високого тиску або вакуумною системою (на рисунку не показано). Металевий корпус обладнаний осьовим газопостачальним патрубком 3 з наскрізними отворами 4, що розташовані безпосередньо під внутрішньою поверхнею верхньої стінки металевого корпусу, а кінцівка та отвори газопостачального патрубку перекриті газопроникливою пробкою 5.

За одним з варіантів реалізації технологічного процесу після завершення продувки на поверхню рідкого металу в надливну частину ливарної форми (виливниці) крізь шар теплоізоляційної засипки опускають пристрій, при чому, бічна поверхня металевого корпусу, що опиняється зануреною у розплав, герметизує злиток або виливок (рисунок 2, в).

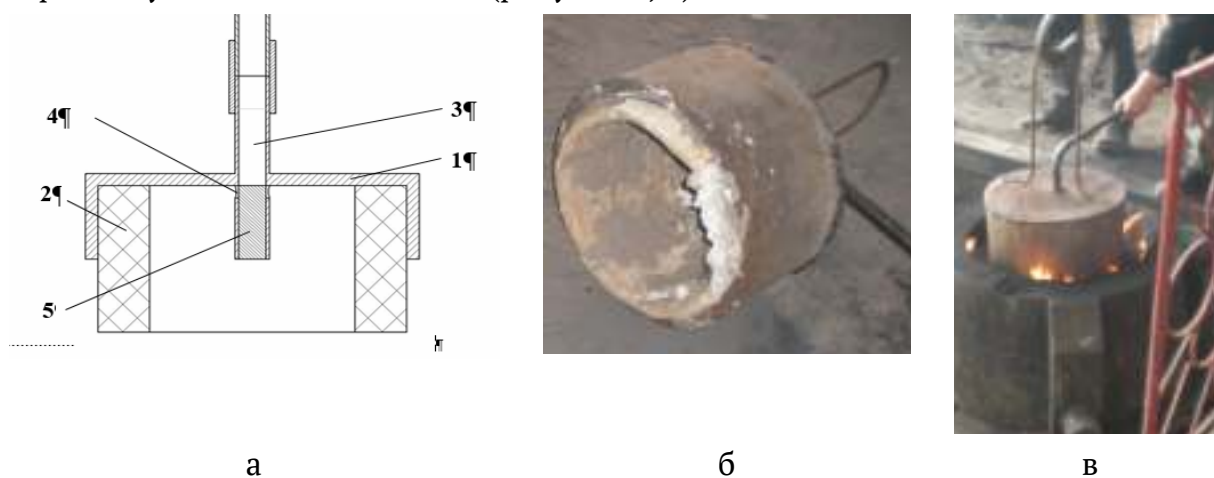


Рисунок 2 – Схема конструкції (а) та загальний вигляд (б) пристрою для реалізації ГДВ, а також фрагмент занурення його в надливну частину злитка (в)

Розрахунки технологічних режимів здійснення процесів вакуумування та газодинамічного тиску треба проводити в кожному випадку окремо, враховуючи всі необхідні параметри виробництва конкретного виливка або злитка. Треба відзначити, що питання, пов'язані з методологією визначення раціональних режимів внутрішньоформенного вакуумування розплаву в герметизованій системі виливок – пристрій для ГДВ потребують проведення подальших досліджень для отримання відповідних науково обґрунтованих результатів з метою їх використання в якості вихідних даних для створення ефективних розрахункових схем, алгоритмів та відповідного програмного забезпечення.

**Особливості процесу розробки графічного інтерактивного ігрового додатку.** Процес розробки графічного інтерактивного ігрового додатку для ознайомлення з технологією газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі є багатоетапним процесом. Причому послідовність етапів процесу розробки та його складові частини відповідають ігровому «пайплайну», показаному на рисунку 3, – універсальному алгоритму, який використовують при створенні графічних ігор та 3D моделей.



Рисунок 3 – Послідовність розробки ігрового «пайплайну»

Відносно 3D (тривимірної) комп'ютерної графіки пайплайн – це ланцюжок процесів перетворення сценарію (вихідних даних) в 2D (двомірну) або 3D (стереоскопічну) картинку або в послідовність картинок (відео). Розглянемо процедуру дій, що передують отриманню інтерактивного ігрового додатку.

**Реалізація ігрового «пайплайну» інтерактивного ігрового додатку для ознайомлення з технологією газодинамічного впливу на розплави в ливарній формі.** В роботі пайплайн включає послідовне застосування набору програмного забезпечення (рисунок 4), що включає Autodesk 3ds Max, Marmoset Toolbag 3, Substance Painter, Unity Engine, Adobe Photoshop.



Рисунок 4 – Стек інформаційних технологій

Розглянемо особливості реалізації графічного інтерактивного ігрового додатку для ознайомлення з технологією газодинамічного впливу на розплави в ливарній формі.

**Розробка графічної 3D моделі ігрового оточення.** Етап розробки графічної 3D моделі ігрового оточення починається з визначення ключових та другорядних об'єктів, які необхідно буде змоделювати. Ключовими об'єктами графічного інтерактивного ігрового додатку є: приміщення ливарного цеху, розливний ківш, платформа для сифонного розливання металу, обладнання для газодинамічного впливу на вилівок. Навколо та відносно них формується вся сцена та розташовуються другорядні об'єкти. До другорядних об'єктів відносяться: сталеплавильна піч; обладнання цеху, матеріали, додаткові елементи споруди тощо; предмети декору сцени.

Наступним етапом є визначення бажаного зовнішнього вигляду моделей та розмітки їх розмірів, форм та розташування. Для цього спочатку формується набір «референсів» (концептуальних зображень, на основі яких виконується моделювання об'єктів) для кожного об'єкту, наприклад, рисунки 1 і 2.

Основними референсами є зображення, що документували експериментальні плавки з використання газодинамічного впливу на розплави в ливарній

формі в умовах ККЦ ПАТ «Дніпровський металургійний завод» (завод ім. Г.І. Петровського).

Графічне моделювання простору цеху (рисунок 5) виконано шляхом блокінгу стандартних примітивів в Autodesk 3ds Max.

Далі, застосовуючи інструменти полігонального моделювання, форма моделі вдосконалюється та якомога більше наближується до бажаного результату. На рисунку 6 показаний зовнішній та внутрішній вигляд приміщення цеху представленого у вигляді графічної 3D моделі. Таким чином отримується так звана «лоуполі»(low-poly) модель, тобто модель з низькою кількістю полігонів.

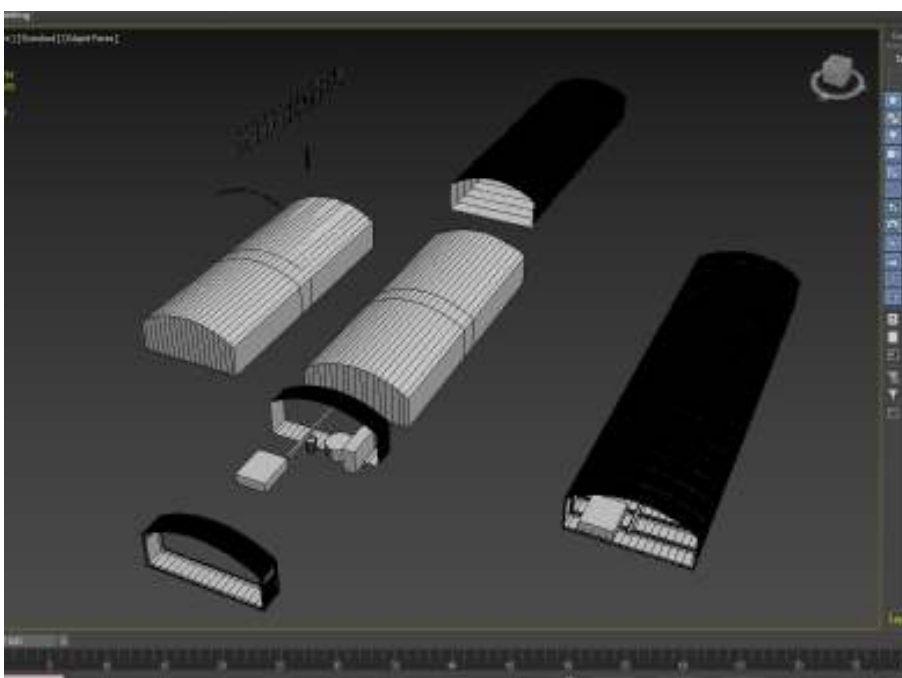


Рисунок 5 – Початковий блокінг та розмітка приміщення цеху

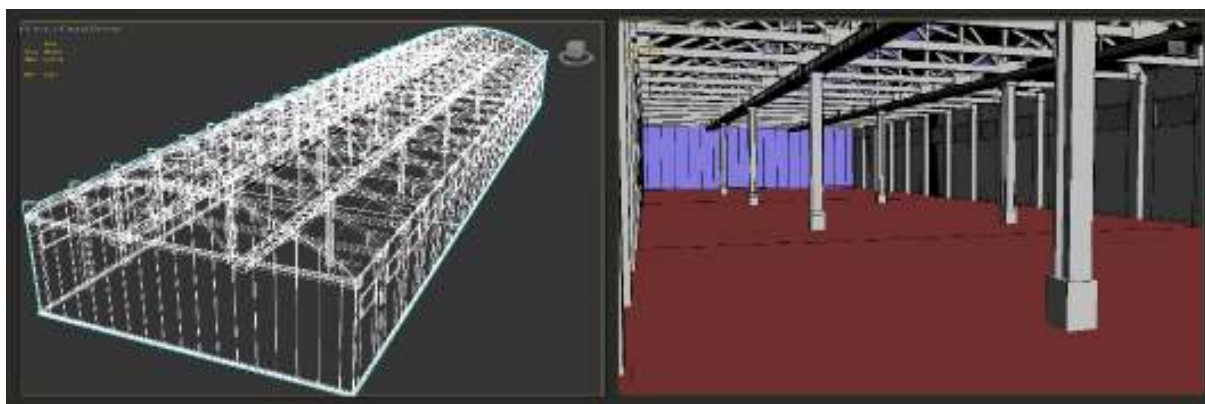


Рисунок 6 – Вигляд готової графічної 3D моделі приміщення цеху ззовні та зсередини

Далі за пайплайном створюються високополігональні моделі. Хайполі моделі створюються на базі низькополігональних шляхом допрацювання деталей та згладжування форм(робляться фаски на жорстких ребрах). Також на хайполі модель за необхідністю додаються невеликі деталі, фактурні елементи, пошкодження тощо. В результаті отримується деталізована модель, яка гарно виглядає та не має різких гострих кутів. На рисунках 7, 8, 9 представлені зображення розроблених графічних 3D моделей основних об'єктів графічного інтерактивного ігрового додатку для ознайомлення з технологією газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі.



Рисунок 7 – Лоуполі та хайполі модель розливної ковша

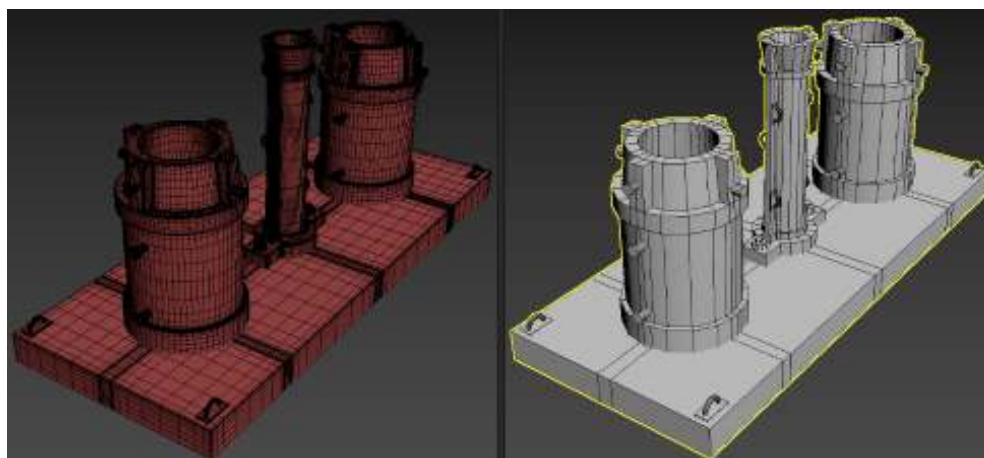


Рисунок 8 – Лоуполі та хайполі модель платформи з виливками та стояком

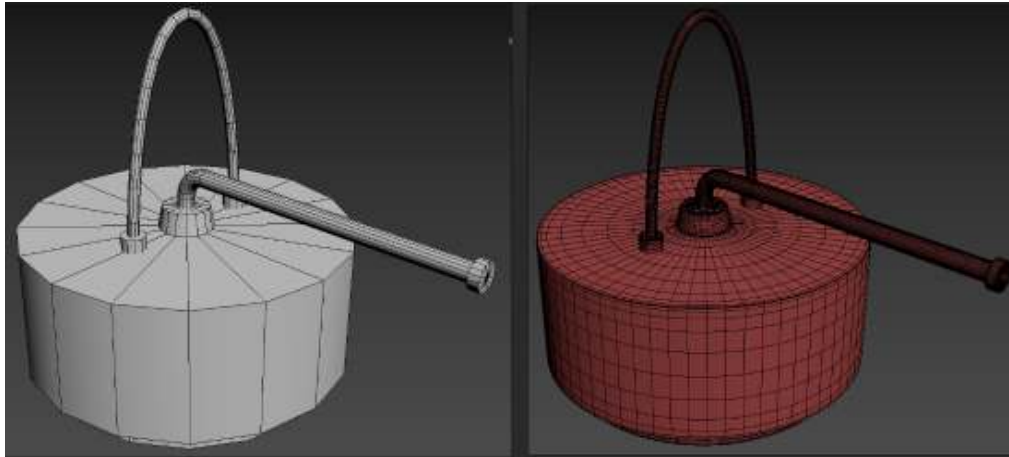


Рисунок 9 – Лоуполі та хайполі модель кришки – пристрою для реалізації газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі

Бачимо, що хайполі моделі виглядають значно привабливіше, але в той самий час звернемо увагу на щільність їх полігональної сітки. Хайполі модель має дуже велику кількість полігонів, про що й каже назва «хайполі».

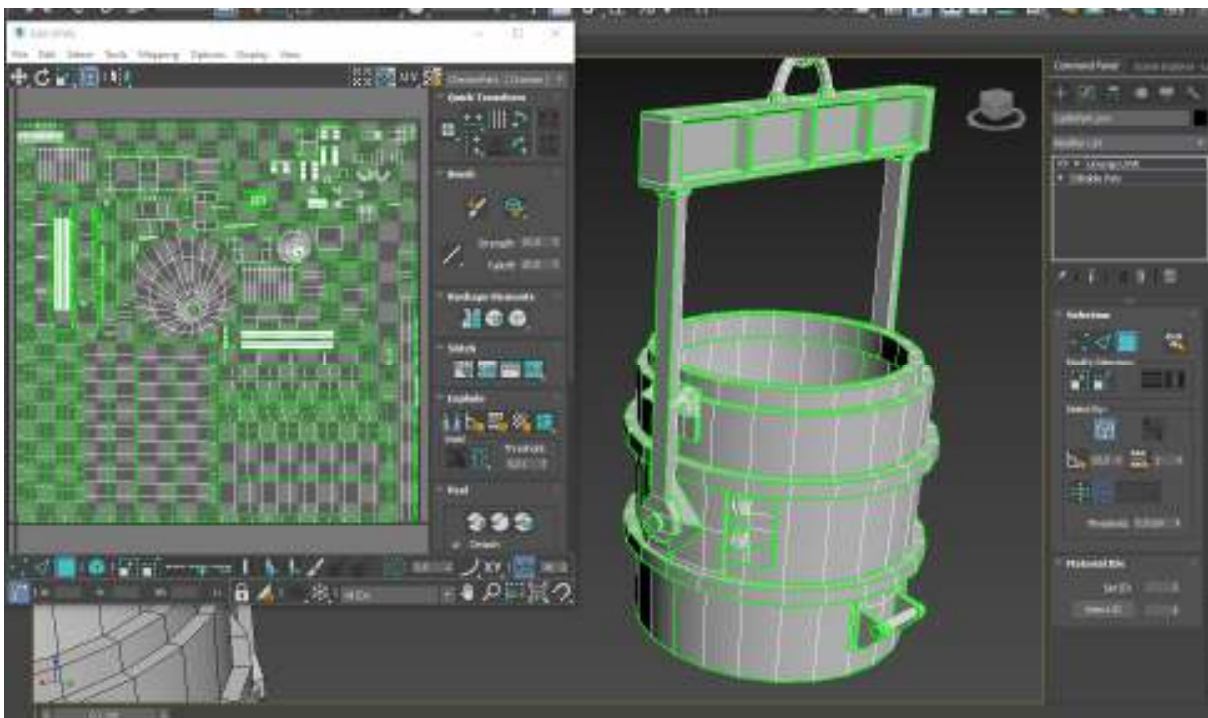


Рисунок 10 – UV-розгортка моделі ковша

Розгортка моделей може виконуватись, коли створена фінальна низькополігональна версія. Сама по собі UV-розгортка це перенесення поверхні тривимірного об'єкту на площину задля подальшого текстурування. Також при виконанні розгортки поверхні моделі виконується розмітка простору, на яко-

му будуть розташовуватися частини поверхонь моделі. Приклад готової розгортки розливного ковша приведений на рисунку 10.

Якісна розгортка повинна виконуватись з якомога меншою кількістю розрізів (швів) та з якомога меншими деформаціями. В місцях де є розрізи може бути помітно розрив текстури, але якщо ці місця вдало приховати та замаскувати при текстуруванні, їх буде майже не помітно. Після виконання розгортки на моделі можна переходити до запікання карт.

**Запікання карт графічної 3D моделі ігрового оточення.** Кількість полігонів в об'єктах на сцені прямо впливає на оптимізацію кінцевого програмного продукту. Чим з більшої кількості полігонів складається об'єкт, тим більше розрахунків необхідно робити комп'ютеру, щоб відобразити цей об'єкт та зокрема поведінку світла та тіней на ньому. Тому чим менше полігонів у об'єктів на сцені, тим краще. Але тут виникає проблема – низькополігональні моделі досить погано виглядають, в них кутасті форми, вони виглядають недопрацьованими. А використання хайполі моделей значно погіршить оптимізацію кінцевого продукту та спричинить надмірне споживання ресурсів комп'ютера. Вирішити цю проблему покликана технологія запікання карт. Ця технологія дозволяє перенести інформацію про геометрію високополігональної моделі на низькополігональний варіант. В результаті лоуполі модель виглядає так, нібито це хайполі, але ресурси комп'ютера на прорахування зайвої геометрії не витрачаються, бо такий ефект досягається тільки текстурами, накладеними на поверхню моделі – виходить своєрідний обман зору.

Запікання карт може виконуватися в будь-якому програмному пакеті, який має призначений для цього функціонал. В рамках цієї роботи для запікання карт був використаний пакет Marmoset Toolbag 3.

Найважливішими картами, які змінюють відображення та сприйняття геометрії текстурованої моделі є карти Normals та Ambient Occlusion. Окрім карти нормалей та Ambient Occlusion запікалися карти Position, Curvature та Normals (Object). Ці карти не мають прямого впливу на зовнішній вигляд моделі, але вони несуть в собі інформацію, необхідну для якісного текстурування в пакеті Substance Painter.

**Текстурування графічної 3D моделі ігрового оточення.** Карти, отримані в результаті запікання, будуть використовуватись при текстуруванні в програмному забезпеченні Substance Painter. У проекті Substance Painter відкривається імпортована модель та на неї накладаються запечені карти. Почи-

нається текстурування. Substance Painter має величезний інструментарій, за допомогою якого можна робити дуже якісні текстури.

Результат текстурування моделі платформи з литником та виливницею показаний на рисунку 11, а набір текстур, отриманий в результаті етапу текстурування.



Рисунок 11 – Текстурована графічна 3D модель платформи з розміщеними на ній стояком та виливком

**Розробка сценарію взаємодії графічного ігрового оточення з гравцем.** Важливим етапом розробки стратегічної рольової екшен гри є розробка сценарію взаємодії гравця з ігровим оточенням.

На рисунку 12 показані напрямки взаємодій гравця з тривимірними моделями цеху, ливарної форми і стояка, ковша та двовимірній моделі перерізу виливка.



Рисунок 12 – Сценарій взаємодії гравця з ігровим оточенням

Користувач графічного інтерактивного ігрового додатку для ознайомлення з технологією газодинамічного впливу на розплави в ливарній формі взаємодії з ігровим оточенням екшен гри шляхом:

- вільного пересування в просторі цеху;
- управління розливним ковшем – ківш наближається до стояка, починається розливка розплаву;
- управління обладнанням для здійснення газодинамічного впливу на розплави в ливарній формі – обладнання розміщується на поверхні розплаву;
- перехід в двовимірний режим – демонстрація динаміки твердіння розплаву в ливарній формі та утворення усадкової раковини.

**Збірка додатку в ігровому рушії Unity.** Після завершення етапу моделювання та текстурювання ключових об'єктів починається етап створення та налаштування сцени в Unity. На рисунку 13 показана сцена з імпортованими моделями.

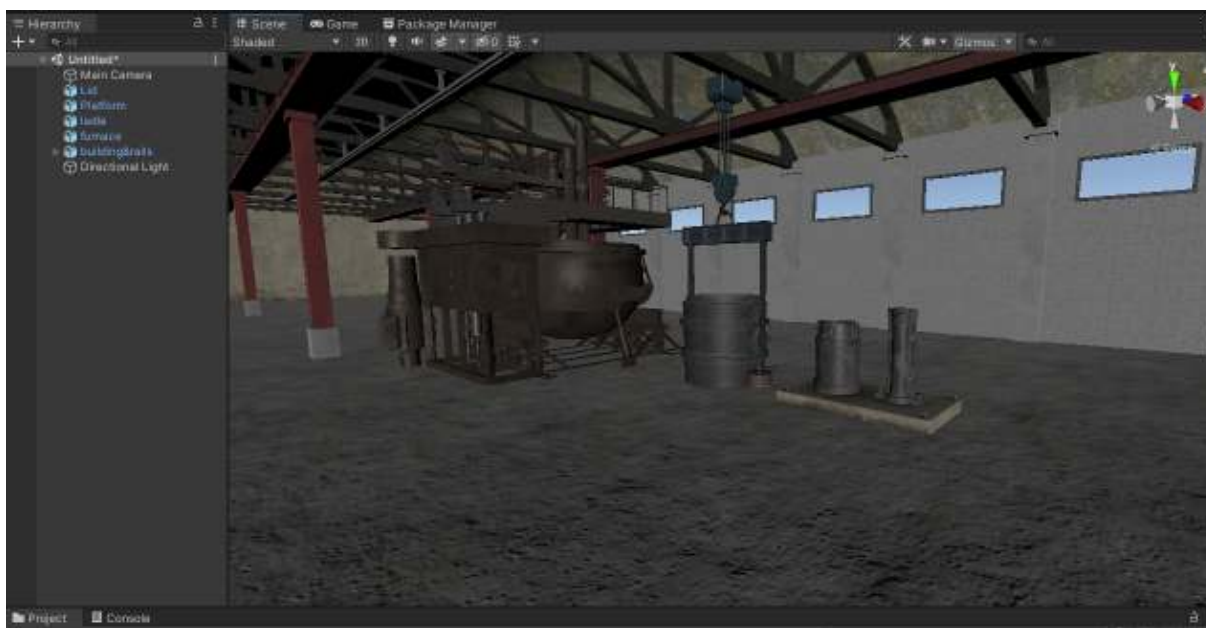


Рисунок 13 – Початкова сцена та імпортовані моделі

Після імпорту моделей та їх текстур в ігровому рушії створюються матеріали для їх подальшого нанесення на моделі. Імпортовані об'єкти розташовуються на сцені згідно з задумкою. Після цього виконується важливий етап налаштування зовнішнього вигляду сцени та елементів освітлення. Дія проходить цілком в будівлі, точніше в її частині, тому вигляд будівлі ззовні не є важливим і сама модель будівлі була сконструйована таким чином, щоб зекономити полігонаж на екстер'єрі.

Усього на сцені три джерела освітлення: два з них типу Spot Light і один Area Light (рисунок 14). Spot Light нагадує настільну лампу – світло виходить із точкового джерела і розповсюджується конусоподібною формою, освітлюючи певний радіус. Area Light може мати прямокутну або круглу форму, при цьому джерелом світла є вся площа фігури. Area Light був використаний для рівномірного освітлення протяжності будівлі, а Spot Light для підсвітлення центральної частини, де розташовані ключові об'єкти.



Рисунок 14 – Джерела освітлення на сцені

Важливою частиною візуалізації сцени є запікання глобального освітлення безпосередньо на самій сцені та на об'єктах, розташованих на ній. Принцип дії схожий на запікання карт на моделях. В даному випадку запікання світла виконується задля покращення оптимізації проекту, бо після процесу запікання інформація про освітленість записується до спеціальних карт і джерела освітлення можуть бути вимкнені, що зменшить необхідні розрахунки для комп'ютера.

Окрім запікання для покращення візуалу сцени було використано так звану Post Processing – постобробку. Цей інструмент надає змогу налаштувати та корегувати візуальний стиль сцени, освітлення та гамму. В даному випадку Post Processing було використано задля підкреслення затінення та корекції кольорів. Також корисним елементом на сцені є Light Probe Group. Цей елемент потрібен для розрахунку напряму світла у просторі задля покращення освітленості об'єктів (рисунок 15).

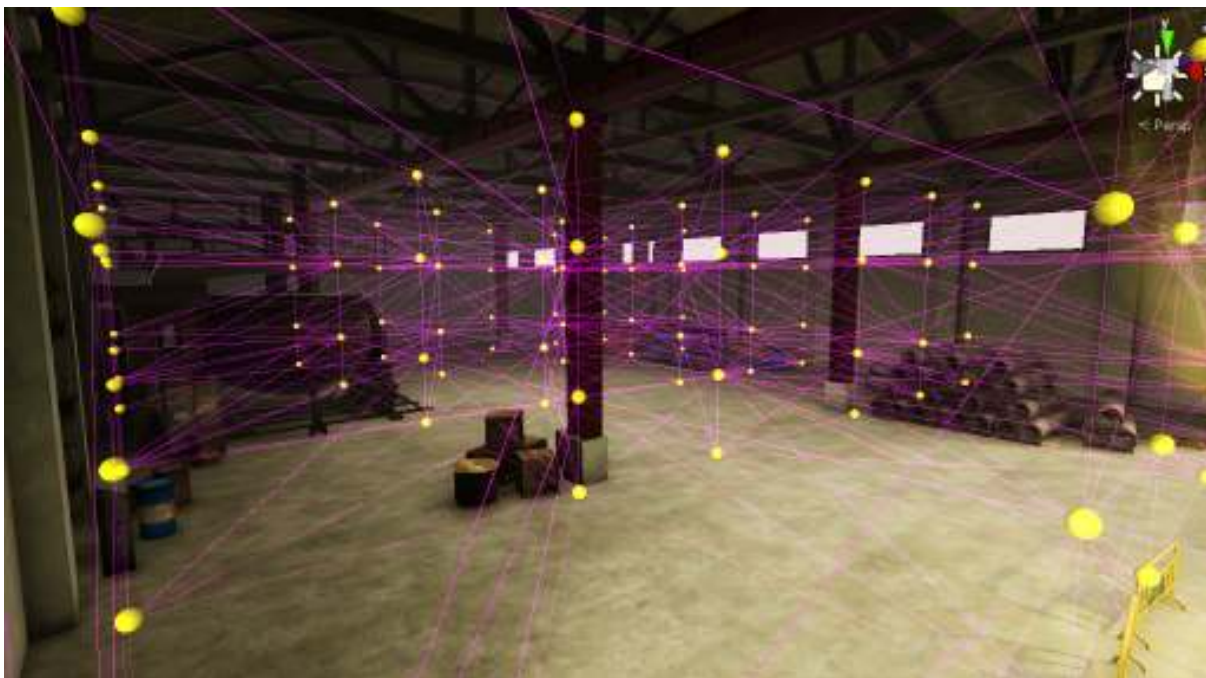


Рисунок 15 – Елемент Light Probe Group

Для того, щоб модель техпроцесу була схожа на реальний виробничий процес, необхідно створити відповідні ефекти: такі як іскри, сяйво від розплавленого металу, пар та дим. Unity має функціональні та зручні інструменти для створення подібних ефектів: для них існує спеціальний тип об'єктів із гнучкими налаштуваннями – Particle System. Засобами Particle System створені системи частинок для реалізації ефектів диму з ковша та сяйва з іскрами в точці розливу металу.

За задумкою користувач програмного продукту повинен мати змогу вільно пересуватися на робочій ділянці сцени та мати змогу спостерігати за процесом з різних сторін та ракурсів.

Ігровий персонаж має основні необхідні компоненти – камеру, прикріплену до нього, щоб через неї бачити сцену, та Capsule Collider – елемент колізії. Колізія необхідна для того, щоб персонаж мав певну фізичну оболонку, яка взаємодіяла б з навколишніми об'єктами. Без колізії персонаж банально провалювався би через підлогу. Але для взаємодії з об'єктами мало однієї колізії на персонажі, необхідна також колізія на навколишніх об'єктах. Створення зон колізії на сцені допомагає обмежувати та контролювати зону переміщення персонажу. Контролер персонажа існує у вигляді скриптів – файлів з програмним кодом, який реалізує певну логіку. Скрипти можна редагувати та компілювати за допомогою інтегрованої середовища розробки Microsoft Visual Studio, яка пов'язана з Unity та може відкриватися прямо через ігровий рушій.

Скрипти персонажа містять в собі логіку про управління переміщення персонажа та управління камерою. Вид від персонажа представлений на рисунку 16.



Рисунок 16 – Вид від персонажа

Кінцевим компонентом додатку є створення та налаштування інтерфейсу користувача. Створення інтерфейсу користувача показано на рисунку 17. Інтерфейс слугує для зручності взаємодії з навколишнім середовищем та задля контролювання процесу гри. На інтерфейсі розташовані кнопки управління додатком та виходу з нього.

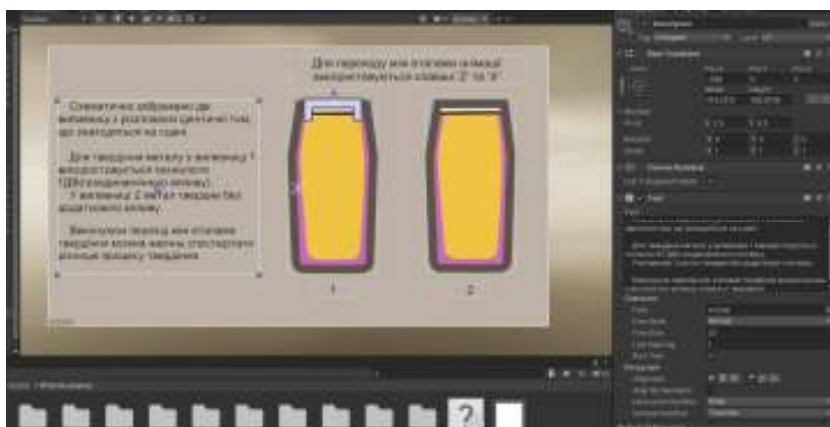


Рисунок 17 – Створення інтерфейсу користувача



Рисунок 18 – Кадр 2D-анімації

Інтерфейс користувача включає в себе 2D-анімації процесу твердіння двох виливків та утворення усадкової раковини при застосуванні класичної технології та ГДВ, та переходи між ними. 2D-анімація містить шість послідов-

них кадрів (рисунок 18), які відображають динаміку утворення ливарних дефектів, відмінності технологічних процесів і як наслідок, переваги застосування нової ливарної технології газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі.

Таким чином, середовище Unity, яке відносять до розряду ігрових движків (game engine), має великі перспективи для створення графічних симуляторів складних технологічних процесів, зокрема нової ливарної технології газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі.

**Визначення доцільності застосування графічного інтерактивного ігрового додатку для ознайомлення з технологією газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі.** В даній роботі проводилися дослідження щодо доцільності використання сучасних засобів і технологій, які застосовуються в ігровій індустрії, з метою моделювання процесу та створення графічного інтерактивного додатку, що візуалізує технологію газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі.

В таблиці представлений аналіз певних аспектів застосування розробленого графічного інтерактивного ігрового додатку для ознайомлення з технологією газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі в навчальному процесі у порівнянні з натурним лабораторним експериментом.

Таблиця 1

Оцінка критеріїв застосування навчальних підходів технології при ознайомленні з технологією газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі

Критерій	Графічний інтерактивний ігровий додаток	Натурний експеримент
Відтворюваність	Не обмежена.	Обмежена технічними та матеріальними ресурсами.
Мобільність	Не обмежена.	Обмежена доступом до лабораторії або цеху.
Вартість	Обмежена витратами на розробку графічного додатку.	Лабораторні експерименти потребують наявності матеріалів та обладнання.
Якість	Обмежено технічним завданням на розробку.	В лабораторних умовах технологічний процес демонструється з високим рівнем сприйняття.

Результати порівняння двох освітніх технологій показують привабливість розробки графічного інтерактивного ігрового додатку для ознайомлення з технологією газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі, проте не виключають необхідності застосування елементів натурального експерименту. В роботі продемонстровано механізм розробки графічного інтерактивного ігрового додатку на прикладі нової ливарної технології.

**Висновки.** В роботі, що присвячена реалізації графічного інтерактивного ігрового додатку для ознайомлення з технологією газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі, були вирішені наступні задачі:

1) Проведений аналіз світової практики застосування графічних інтерактивних ігрових додатків в навчальному процесі, в тому числі закладів вищої освіти, зроблений висновок про перспективність заміни лабораторних досліджень віртуальними графічними імітаторами, особливо під час пандемії COVID-19.

2) вперше створений сценарій взаємодії графічного ігрового оточення з гравцем для реалізації графічного інтерактивного ігрового додатку для ознайомлення з технологією газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі.

3) вперше створений графічний інтерактивний ігровий додаток для ознайомлення з технологією газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі.

#### **ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE**

1. Soboleva, E. V., Sokolova, A. N., Isupova, N. I., & Suvorova, T. N. (2017). Use of training programs based on gaming platforms for improving the effectiveness of education. *Novosibirsk State Pedagogical University Bulletin*, 7(4), 7-25. doi:10.15293/2226-3365.1704.01
2. Zulkefli, N. A. M., Hashim, H., & Syahrin, S. (2020). Evaluating e-learning google classroom tools for computer science subjects during covid-19 pandemic. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(4), 6251-6258. doi:10.30534/ijatcse/2020/304942020
3. Селиверстов В.Ю. Технология газодинамического воздействия на расплав в литейной форме – один из перспективных способов повышения качества металла отливок // *Сучасні проблеми металургії. Наукові праці*. 2007. – Том 10. – С. 25 – 35.

#### **REFERENCES**

1. Soboleva, E. V., Sokolova, A. N., Isupova, N. I., & Suvorova, T. N. (2017). Use of training programs based on gaming platforms for improving the effectiveness of education. *Novosibirsk State Pedagogical University Bulletin*, 7(4), 7-25. doi:10.15293/2226-3365.1704.01
2. Zulkefli, N. A. M., Hashim, H., & Syahrin, S. (2020). Evaluating e-learning google classroom tools for computer science subjects during covid-19 pandemic.

3. Seliverstov V.Yu. The technology of gas-dynamic impact on the melt in a casting mold is one of the promising ways to improve the quality of the metal of castings // Suchasni Problems of Metallurgy. Naukovi pratsi. 2007. - Volume 10. - S. 25 - 35.

Received 04.01.2021.

Accepted 11.01.2021.

**Особливості реалізації графічного інтерактивного ігрового додатку для ознайомлення з технологією газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі**

Стаття присвячена розробці інтерактивного графічного ігрового додатку для ознайомлення з особливостями нових ливарних технологій, що базується на регульованому газодинамічному впливу на розплав в ливарній формі під час твердіння. Особливості навчального процесу при підготовці спеціалістів в галузі металургії, в тому числі ливарників, передбачає наявність ґрунтовної не тільки теоретичної і практичної підготовки, яка здійснюється в рамках ливарної лабораторії. Оснащення сучасної ливарної лабораторії вимагає суттєвих вкладень в обладнання, матеріали, крім того деякі ливарні технології не можуть бути адаптовані до навчального простору, це стосується і технології газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі. Крім того, застосування графічного інтерактивного ігрового імітатора ливарної технології газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі має незаперечні перспективи в рамках навчального процесу, особливо в умовах пандемії COVID-19. Тому розробка графічного інтерактивного ігрового додатку для ознайомлення з особливостями нової ливарної технології є актуальною задачею.

**Features of the graphical interactive implementation game application for acquaintance with the technology of gas-dynamic impact on the melt in casting mold**

The article is devoted to the development of an interactive graphical game application for acquaintance with the features of new foundry technologies based on controlled gas-dynamic effect on the melt in the mold during solidification. The peculiarities of the educational process in the preparation of specialists in the field of metallurgy, including foundry workers, presupposes the presence of a solid, not only theoretical and practical training, which is carried out within the framework of the foundry laboratory. Equipping a modern foundry laboratory requires significant investments in equipment and materials, in addition, some foundry technologies cannot be adapted to the educational space, this also applies to the technology of gas-dynamic influence on the melt in the mold. In addition, the use of a graphical interactive game simulator of the casting technology of gas-dynamic impact on the melt in a casting mold has undeniable prospects in the educational process, especially in the context of the COVID-19 pandemic. Therefore, the development of a graphical interactive game application to familiarize with the features of the new foundry technology is an urgent task.

The aim of the work is to improve the quality of training and retraining of engineering personnel by involving graphic interactive game applications in the educational process to familiarize themselves with the latest technologies.

The task of the work is to develop scenarios for the interaction of a graphical game environment with a player and to implement a graphical interactive game application that demonstrates the technology of gas-dynamic impact on the melt in a casting mold.

*The work uses research methods based on a critical analysis of scientific and methodological literature, experimental studies of the technology of gas-dynamic impact on the melt in a casting mold, practical experience in using the game approach in teaching, the use of engineering graphics methods to create three-dimensional models of technical objects, system analysis methods for describing interaction of the graphical gaming environment with the player.*

*A literary review of the world practice of using graphical interactive game applications in the educational process, including those of higher educational institutions, is presented.*

*The theoretical aspects are described and the analysis of important technical and technological features of the implementation of the technology of gas-dynamic influence on the melt in the casting mold is carried out.*

*The procedure for developing a scenario for the interaction of a graphical game environment with a player and a graphical interactive game application for acquaintance with the technology of gas-dynamic influence on the melt in a casting mold is described, an analysis of the advantages of using the proposed technology in comparison with a full-scale experiment is carried out.*

**Селиверстова Татьяна Витальевна** - к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України, ORCID 0000-0002-2470-6986.

**Селиверстов Вадим Юрьевич** - д.т.н., професор, кафедра литейного виробництва, Національна металургійна академія України, ORCID 0000-0002-1916-625X.

**Чернов Александр Дмитриевич** - магістр кафедри інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України.

**Селівьорова Тетяна Віталіївна** - к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України, ORCID 0000-0002-2470-6986.

**Селівьоров Вадим Юрійович** - д.т.н., професор, кафедра ливарного виробництва, Національна металургійна академія України, ORCID 0000-0002-1916-625X.

**Чернов Олександр Дмитрович** - магістр кафедри інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України.

**Selivyorstova Tatjana** - candidate of technical science, assistant professor, Department of information technology and systems, The National Metallurgical Academy of Ukraine, ORCID 0000-0002-2470-6986

**Selivyorstov Vadim** - doctor of engineering's sciences, professor, Department of casting production, The National Metallurgical Academy of Ukraine, ORCID 0000-0002-1916-625X

**Alexander Chernov** - Master of Information Technologies and Systems, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

## ЧИСЕЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ НА МАТЕМАТИЧНІЙ МОДЕЛІ СПІНЕННЯ З ІНЖЕКЦІЄЮ ГАЗУ

*Анотація. Кисневі конвертори часто використовуються у виробництві сталі для вида-лення вуглецю з чавуну за допомогою продувки киснем та для розплавлення металобрух-ту. Шлак на поверхні розплаву всередині конвертора уповільнює газові бульбашки, що утворює велику кількість емульсії або піни. Іноді рівень піни може перевищувати висоту конверторної ванни. Щоб запобігти цьому, металургам потрібно прогнозувати подібні ситуації та відповідно зменшувати вдування газу в небезпечні періоди. Після багатьох років використання кисневих перетворювачів металурги отримали досвід і знають без-печні режими цього процесу. Однак ці режими можна вдосконалити за допомогою мате-матичного моделювання, яке користується популярністю в наші дні, оскільки воно має менші витрати, ніж реальні експерименти на заводі чи в лабораторії. Гідродинамічні процеси в конверторі складні, тому математична модель повинна уникати надмірного спрощення та враховувати важливі деталі про них. У попередній роботі представлена модель з детальним описом рівнянь (Нав'є-Стокса) та граничних умов. Чисельне рішення простіше отримати, ніж аналітичне для такої складної моделі. Для перевірки адекват-ності моделі використовуються такі припущення: загальна кількість газу повинна бути збережена у випадку закритого об'єму, а також поле тиску повинно збільшуватися від-повідно до отриманої кількості газу; у разі переміщення вільної поверхні рівень піни по-винен змінюватися відповідно до приходу газу і повертатися до початкового значення після того, як весь газ піде з рідини.*

*Представлені малюнки ілюструють зміну рівня піни у випадку, коли газ надходить у роз-плав протягом перших 20 секунд з лінійним зниженням до нуля через 20 секунд. Обчислю-вальна область має 72x144 комірок. Ефективність обчислень знижується, коли рівень пі-ни зростає, оскільки в розрахунку бере участь більше клітин. На інших рисунках показано газове поле (кольором) і поле швидкості (стрілками) для двох випадків: коли об'єм за-критий і коли поверхня розплаву рухається. У закритому об'ємі зазначені вище припу-щення перевірено та подано графік залежності кількості газу. На основі цього зроблено висновок про якісну адекватність моделі. 2D-візуалізація здійснюється у комп'ютерній програмі, розробленої на популярній мові.*

*Ключові слова: обчислювальна динаміка рідини, вільна поверхня, перетворювач кисню, газошлакова піна.*

**Постановка проблеми.** Кисневі конвертори широко використовуються на металургійних комбінатах, зокрема для видалення киснем вуглецю з чавуну та для розплавлення металобрухту як крок на шляху до виробництва сталі. Шлак на поверхні розплаву уповільнює газові бульбашки, які утворюють емульсію або піну. Рівень піни може перевищувати висоту конверторної ванни. Щоб запобігти цьому, металургам потрібно прогнозувати подібні ситуації та відповідно зменшувати вдування газу в небезпечні періоди.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останні десятиліття дослідники конверторів приділяють увагу моделюванню гідродинамічних та теплофізичних процесів у конверторній ванні. Так у роботі [1] автори провели експеримент по визначенню максимальної висоти піни за допомогою спеціальної труби і двох проволочок для підведення електроенергії. Знайдено залежність індексу спінення від основності та температури. У статті [2] автори моделюють спінення за допомогою силіконових масел. Одержано залежність динамічної в'язкості від відсотка парафінових частинок. Подано фотографії прозорої труби з піною в різних умовах. При цьому діаметр бульбашок піни збільшується починаючи від дна до поверхні у 3-4 рази. У роботі [3] розглянуто математичну модель спінення з використання Ейлерового методу для врахування фаз рідина-газ. Враховано формування і зникнення бульбашок. Стаття [4] присвячена моделюванню спінення за допомогою індукційного підігріву. Встановлено не Н'ютонівську поведінку піни. У дисертації [5] автор досліджував поведінку піни в різних умовах, а також швидкість падіння силіконової частинки в піні. Порівняння підтверджують адекватність розрахунку швидкості.

**Формулювання мети дослідження.** Необхідно виконати чисельне дослідження математичної моделі спінення в різних умовах, перевірити її якісну адекватність і визначити залежність рівня спінення від часу.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Математичне підґрунтя для моделювання багатоскладових середовищ (далі використовується газорідинне) викладено у роботі [6]. Основні припущення щодо геометрії ковша і обчислювальної області, а також стисливого середовища і властивостей рідини викладено у попередній статті [7]. В статті [7] математична модель ґрунтується на рівняннях Нав'є-Стокса для стисливого середовища з припущенням про сталість об'ємної в'язкості.

Чисельний експеримент виконувався виходячи з наступних параметрів:

1) Область розрахунку має висоту 2 м, а радіус – 1 м. Кількість комірок по радіусу – 72, а по висоті – 144.

2) Крок за часом – 0,001 с.

3) Максимальний об'єм газу подається у першій чверті радіусу області на початку досліду і лінійно з часом зменшується до нуля на 20 секунді.

4) Швидкість газу відносно рідини прийнято сталою величиною, яка визначається окремо – 0,1 м/с.

5) Початковий рівень розплаву складає півметра.

На рисунку 1 кольором зображено поле газу (синій – майже нульова об'ємна частка, червоний – приблизно третина комірки зайнято газом). Стрілками позначено поле швидкості розплаву – у верхній частині рисунка знаходиться рівень поверхні, який майже у два рази перевищив початкову глибину розплаву.

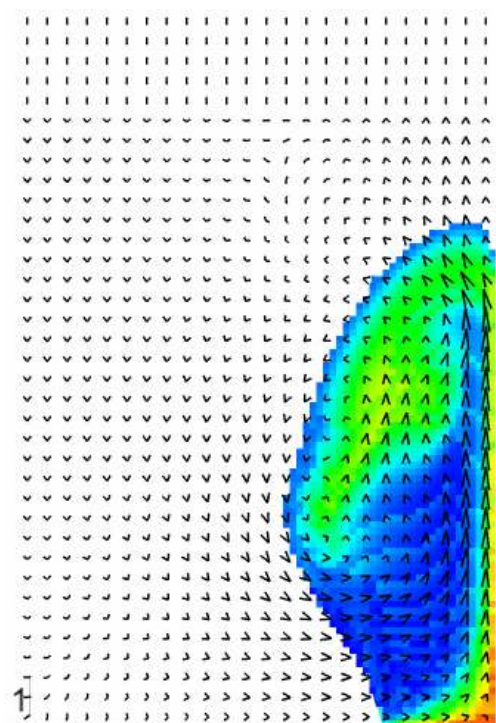


Рисунок 1 – 4-та секунда модельного часу у випадку вільної плоскої поверхні середовища рідина-газ.

Поле газу рухається вгору, прискорюючи розплав і наздоганяючи поверхневий рівень розплаву, який підвищився першим. Очевидно, чим менша швидкість газу відносно розплаву, тим вище буде підійматися рівень.

Рисунок 2 відображає зміну глибини розплаву у часі. На початку він зростає через газове насичення розплаву. Після 5-ї секунди газ досягає поверхні і вилітає з розплаву, чим різко зменшує глибину, хоч і не повністю. Залишки газу все ще є всередині розплаву, який уніс їх з собою в глибину, тому бачимо повільне зменшення рівня після 9-ї секунди.

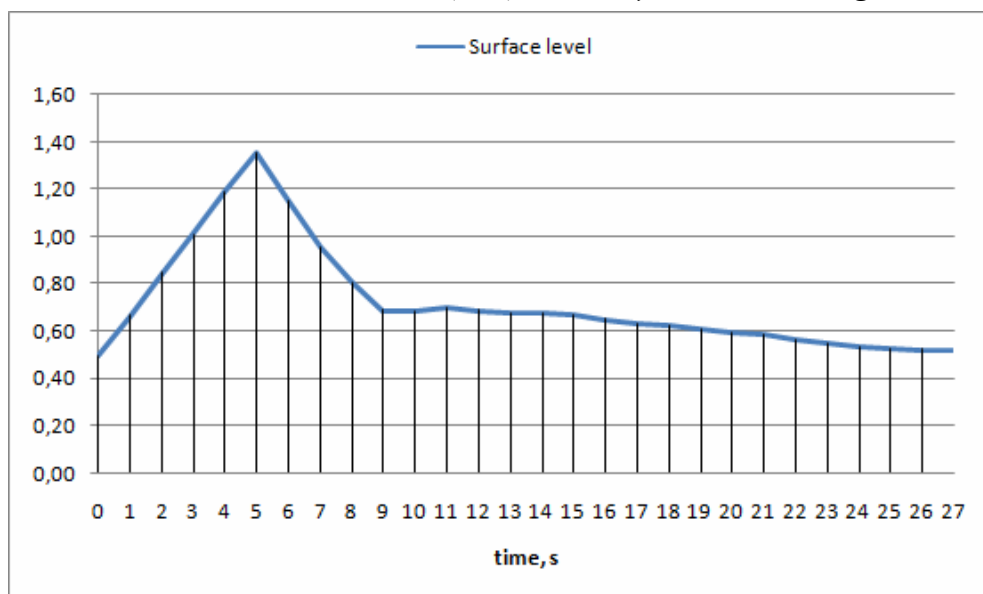


Рисунок 2 – Залежність глибини розплаву від часу у випадку спінення – руху вільної плоскої поверхні середовища рідина-газ

Для перевірки збереження кількості газу в розплаві математичної моделі був виконаний дослід у замкненому просторі – із зміною граничних умов на такі, які відповідають твердій поверхні:

- 1) Швидкість поверхні розплаву дорівнює нулю.
- 2) Градієнт тиску на поверхні також дорівнює нулю.
- 3) Газ не залишає розплав – нульовий градієнт на поверхні.

Результат моделювання показано на рисунку 3. Поле газу поступово заповнює замкнений простір, починаючи з верхньої частини. Вихори розплаву, прискорюючись полем газу, переміщуються зліва направо та навпаки. На рисунках кожен вектор відображає напрямок і величину, усереднені поміж дев'яти векторів розрахованого поля швидкості.

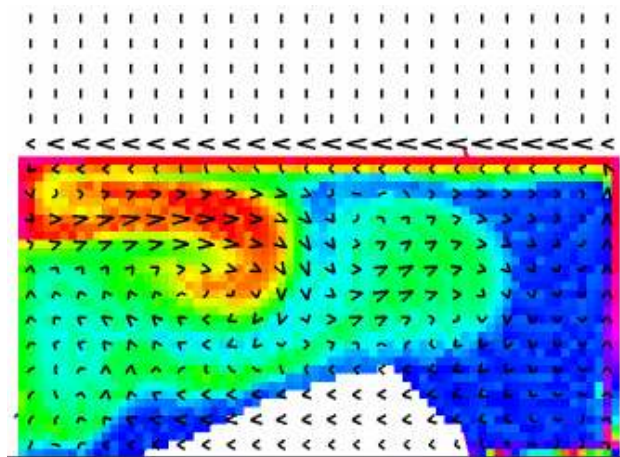


Рисунок 3 – 10-та секунда модельного часу у випадку замкненого простору

Залежність сумарної кількості газу від часу показано на рисунку 4. З першої секунди надходять великі об'єми газу, поступово зменшуючись з часом, тому графік має нелінійний ріст до 20-ї секунди. Після 20-ї секунди вдування газу закінчується і його кількість стає сталою передбачуваною величиною – несуттєві її коливання не видно на графіку. Невеликі (у межах 1-3%) коливання зумовлені чисельним розв'язком і можуть бути знехтувані у масштабі всієї розрахункової області. Як видно на рисунку тиск також збільшується відповідно до надходжень газу і залишається сталим після 20-ї секунди. Узгодженість у графіках тиску і газу зрозуміла з точки зору фізики: чим більше газу подавати у замкнених простір тим більший тиск буде всередині. Звичайно мається на увазі ідеальний газ. У моделі, що розглядається, не враховано зміну температури. Хоча у порожнині конвертора розплав має суттєвий градієнт температур, особливо коли йде інтенсивне горіння вуглецю, а металевий брухт тільки починає прогріватися.

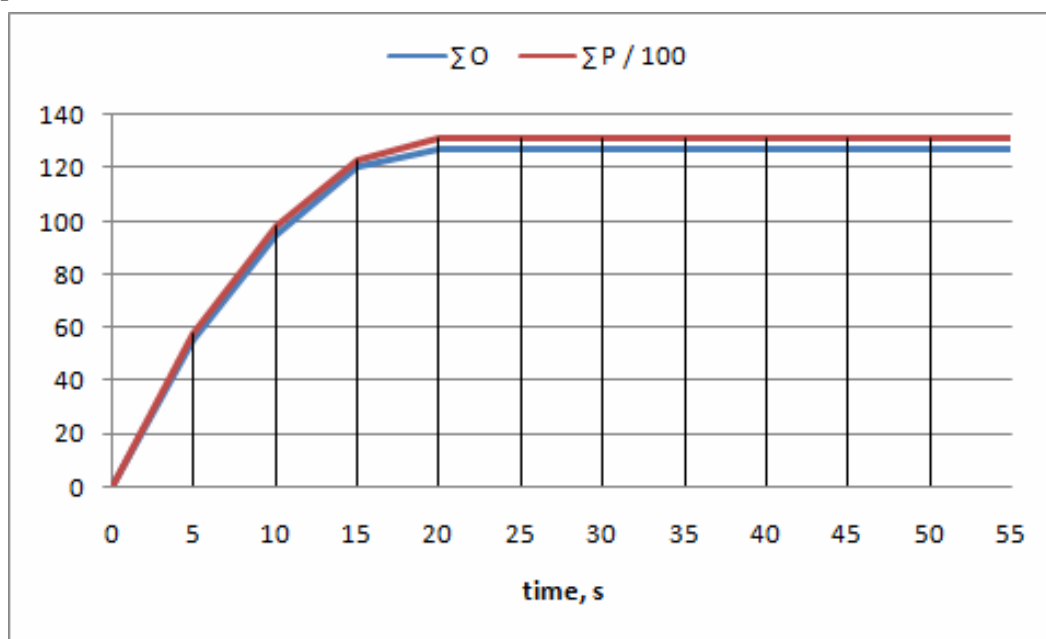


Рисунок 4 – Зміна кількості газу та тиску у випадку замкнутого простору

**Висновки.** Виконано ряд чисельних дослідів на запропонованій раніше математичній моделі. Одержані розв'язки модельних задач підтверджують якісну адекватність моделі: зокрема досліджено консервативність поля газу; зміна рівня розплаву відбувається у відповідь на подачу газу в розплав і узгоджується з його виходом з розплаву. Вищесказане є підґрунтям до рекомендації використовувати модель на практиці.

**ЛИТЕРАТУРА / ЛІТЕРАТУРА**

1. Stadler S.A.C., Eksteen J.J., Aldrich C. An experimental investigation of foaming in acidic, high FexO slags. – 2007, № 20, pp. 1121-1128.
2. Wu L. S., Albertsson G. J., Sichen D. Modelling of slag foaming // Ironmaking & Steelmaking. – 2010, Vol. 37, № 8, pp. 612-619.
3. Sattar M.A., Naser J., Brooks G. Numerical simulation of slag foaming in high temperature molten metal with population balance modeling // Proceedings of 5th BSME International Conference on Thermal Engineering. – 2013, № 56, pp. 421 – 428.
4. Martinsson J., Glaser B., Sichen D. Study on Apparent Viscosity and Structure of Foaming Slag // Metallurgical and materials transactions. – 2016, Vol. 47B, pp. 2710-2713
5. Martinsson J. A Study of the Behavior of Foaming Slag in Steelmaking // Doctoral Thesis, Stockholm, 2018. 65p.
6. Огурцов А.П., Самохвалов С.Е., Надрыгайло Т.Ж. Методы расщепления в задачах гидродинамики и тепломассопереноса. – Днепропетровск: Системные технологии, 2003. – 260 с.
7. Красніков К.С., Лижов М.В. Математичний опис інтенсивності шлакового піноутворення в конверторі під час продування газом // Системні технології. – 2019, № 5 (124), с. 116-123.

**REFERENCES**

1. Stadler S.A.C., Eksteen J.J., Aldrich C. An experimental investigation of foaming in acidic, high FexO slags. – 2007, № 20, pp. 1121-1128.
2. Wu L. S., Albertsson G. J., Sichen D. Modelling of slag foaming // Ironmaking & Steelmaking. – 2010, Vol. 37, № 8, pp. 612-619.
3. Sattar M.A., Naser J., Brooks G. Numerical simulation of slag foaming in high temperature molten metal with population balance modeling // Proceedings of 5th BSME International Conference on Thermal Engineering. – 2013, № 56, pp. 421 – 428.
4. Martinsson J., Glaser B., Sichen D. Study on Apparent Viscosity and Structure of Foaming Slag // Metallurgical and materials transactions. – 2016, Vol. 47B, pp. 2710-2713
5. Martinsson J. A Study of the Behavior of Foaming Slag in Steelmaking // Doctoral Thesis, Stockholm, 2018. 65p.
6. Ogurtsov A.P., Samokhvalov S.E., Nadrygailo T.G. Splitting methods in problems of hydrodynamics and thermomasstransfer. – Dnipro: System technologies, 2003, – 260p.

7. Krasnikov K.S., Lyzhov M.V. Mathematical description of slag foaming intensity in convertor during gas blowing // System technologies. – 2019, № 5 (124), с. 116-123.

Received 04.01.2021.

Accepted 11.01.2021.

#### **Численные исследования на математической модели вспенивания с инъекцией газа**

*Шлак на поверхности расплава внутри конвертера замедляет образование пузырьков газа, что приводит к образованию аварийного количества эмульсии или пены. Для проверки адекватности математической модели данного процесса используются следующие допущения: общее количество газа должно сохраняться в случае замкнутого объема, а поле давления должно увеличиваться соответственно полученному количеству газа; в случае движения свободной поверхности уровень пены должен изменяться в соответствии с поступлением газа и возвращаться к исходному значению после того, как газ покинет жидкость.*

*Проведенные исследования и показанные иллюстрации дают основание сделать вывод о качественной адекватности модели.*

#### **Numerical experiments on mathematical model of foaming with gas injection**

*Oxygen converters are often used in steelmaking to remove carbon from pig iron by oxygen blowing and to melt metal scrap as step on the way for producing steel. Slag on the surface of melt inside convertor slows down gas bubbles, which makes great amount of emulsion or foam. Sometime the level of foam can exceed the height of converter bath. To prevent this, metallurgists need to predict such situations and decrease gas blowing accordingly at dangerous periods of converting. After many years of using oxygen converters metallurgists get good experience and know safe modes of this process. However these modes can be improved by mathematical modeling, which takes popularity in our days because it has lower costs than real experiments in a plant or laboratory. Hydrodynamic processes in converter are complex so mathematical model needs to avoid oversimplification and to take into account important details about them. In previous work model is presented with details about equations (Navier-Stokes) and boundary conditions. Numerical solution is simpler to get than analytical one for such complex model. To check adequacy of the model the following assumptions are used: total amount of gas must be conserved in a case of closed volume as well as field of pressure must increase correspondingly to received amount of gas; in case of moving free surface a level of foam must change accordingly to gas income and return to an initial value after all gas are gone from fluid.*

*Presented figure illustrate change of foam level in a case when gas comes to the melt during the first 20 seconds with linear decrease to zero at 20 second. Computational domain is represented by 72x144 cells. Computation performance decreases when level of foam grows, because more cells take part in solving. Other figures show gas field (quantity is represented by color gradient) and speed field (drew by arrows with related length) for two cases: when volume is closed and when surface of melt is moving. In closed volume the mentioned above assumptions are checked and correspondent chart with gas and pressure is presented. Thus a conclusion is made about qualitative adequacy of model. 2D visualization is made by computer program developed using popular language.*

**Красніков Кирило Сергійович** – к.т.н., старший викладач кафедри програмного забезпечення Дніпровського державного технічного університету.

**Лижов Микита Володимирович** – аспірант кафедри прикладної математики Дніпровського державного технічного університету.

**Красников Кирилл Сергеевич** – к.т.н., старший преподаватель кафедры программного обеспечения Днепропетровского государственного технического университета.

**Лыжов Никита Владимирович** – аспирант кафедры прикладной математики Днепропетровского государственного технического университета.

**Krasnikov Kyrylo Serhiiiovych** – PhD, senior lecturer at Systems software department of Dniprovskiy state technical university.

**Lyzhov Mykyta Volodymyrovych** – PhD graduate at Applied mathematics department of Dniprovskiy state technical university.

Є.С. Сулема, М.В. Онай, А.І. Дичка

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ БАГАТОКОЛІРНИХ ШТРИХКODOВИХ ЗНАКІВ НА ОСНОВІ ПОЛЯ $GF(p^m)$

*Анотація. Розроблено методу синтезу символік багатоколірних високонадійних штрихових кодів для систем автоматичної ідентифікації. Запропоновано дворівневу систему забезпечення завадостійкості багатоколірних штрихових зображень, у якій на нижньому структурному рівні (рівні штрихових знаків) застосовуються многозначні неповні коди Хемінга, а на верхньому (рівні штрихової позначки) – коди Ріда-Соломона. Виконано оцінювання коректувальних можливостей многозначних неповних кодів Хемінга при їх використанні у штриховому кодуванні даних. Розглянуто особливості виконання операцій у скінчених полях виду  $GF(p^m)$  при реалізації процедур кодування-декодування даних в системах автоматичної ідентифікації на основі багатоколірних штрихових кодів.*

*Ключові слова: багатоколірний штриховий код, многозначні коди Хемінга, автоматична ідентифікація, операції у скінчених полях.*

**Вступ.** Використання штрихових кодів є одним з найпопулярніших способів швидкого введення даних у комп'ютерну систему [1, 2]. З часу винайдення перших штрихових кодів минуло декілька десятиліть, однак інтерес до штрихової технології автоматичної ідентифікації не знижується.

Останніми роками спостерігається стійка тенденція до використання багатоколірних штрихових кодів [3-5]. Причина очевидна: прагнення підвищити інформаційну щільність – на одиниці площі носія без зміни геометричних розмірів елементів штрихового зображення подавати більшу кількість інформації, ніж це дозволяють традиційні чорно-білі штрихові коди [6, 7].

Однак, при цьому ускладнюються процеси розпізнавання та декодування штрихових зображень [8, 9]. Серед причин: особливості зчеплення барвників (фарб) з поверхнею носія (згортання або розпливання фарби); змішування кольорів на межі сусідніх елементів з різним забарвленням; спотворення геометричних розмірів елементів штрихового зображення під час зчитування внаслідок певних оптичних ефектів тощо [4, 7].

Тому, для надійного зчитування з об'єкта багатоколірних штрихових кодів необхідно забезпечувати завадостійкість штрихкодових зображень. Оскільки структурно штрихкодова позначка складається зі штрихкодових знаків (ШК-знаків), то для досягнення належного рівня надійності зчитування даних слід створювати багатоколірні штрихкодові зображення так, щоб властивість завадостійкості забезпечувалась не лише на рівні усієї штрихкодової позначки, а й на рівні ШК-знаків – мінімальних структурних одиниць.

Для забезпечення завадостійкості на рівні усієї штрихкодової позначки зазвичай застосовують коректувальні коди, що здатні виправляти багатократні помилки – код Боуза-Чоудхурі-Хоквінгема (БЧХ) або код Ріда-Соломона [10]. У цьому дослідженні пропонується застосовувати многозначний (недвійковий) код Хемінга для забезпечення завадостійкості на рівні ШК-знаків.

У випадку застосування многозначних коректувальних кодів для реалізації процесів кодування-декодування даних використовують математичний апарат скінченних полів (полів Галуа) [11, 12].

Розрізняють два види скінченних полів: поля виду  $GF(p)$  – коли кількість ( $p$ ) елементів поля є простим числом, тоді операції виконують за модулем  $p$ ; поля виду  $GF(p^m)$  – коли кількість ( $p^m$ ) елементів поля є степенем простого числа, тоді операції виконують за модулем незвідного многочлена степеня  $m$  [13].

Розглянемо застосування многозначних ( $q$ -кових) кодів Хемінга ( $q > 2$ ) для забезпечення завадостійкості багатоколірних ШК-знаків коли  $q$ -кількість використовуваних кольорів для розфарбовування знаків, є степенем простого числа, тобто, коли  $q = p^m$ , де  $p \geq 2$ ,  $m \geq 2$  (випадок  $q = p$  є предметом іншого дослідження).

**Постановка задачі.** Штриховий код має свій набір ШК-знаків, кожен з яких позначає один символ комп'ютерного алфавіту. Цей набір ШК-знаків називають символікою штрихового коду [3, 4].

Нехай необхідно створити символіку завадостійкого багатоколірного двовимірнього (матричного) штрихового коду з параметрами  $q, s$ :  $q$ -кількість використовуваних кольорів для розфарбовування елементів ШК-знака, причому  $q$  є степенем простого числа;  $s$ -кількість елементів (чарунок) у ШК-знаках (рис. 1).

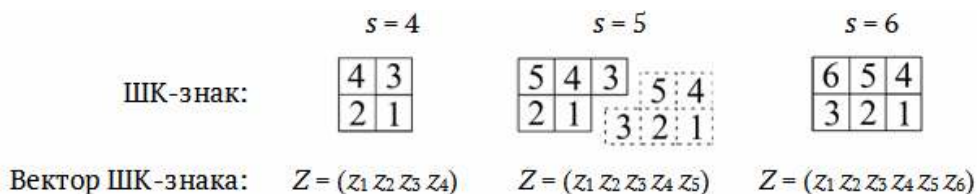


Рисунок 1 - Приклади структур ШК-знаків при  $s = 4, 5, 6$

Кожен елемент ШК-знака може бути розфарбований будь-яким з  $q$  кольорів, які позначатимемо цифрами:  $0, 1, 2, \dots, q - 1$ . ШК-знаку, що складається з  $s$  елементів, поставимо у відповідність цифровий еквівалент – вектор ШК-знака  $Z = (z_1 z_2 \dots z_s)$ .

Оскільки  $z_i \in \{0, 1, 2, \dots, q - 1\}$ , то розряди слова  $Z$  слід розглядати як многозначні (недвійкові) символи. Для того, щоб ШК-знак був завадостійким, його цифровий вектор  $Z$  має бути кодовим словом коректувального коду, здатного виправляти та/або виявляти помилки.

Якщо таким коректувальним кодом обрати  $q$ -ковий код Хемінга,  $q > 2$ , і на його основі будувати символіку штрихового коду, то в ШК-знаках під час їх зчитування з носія гарантовано виправлятимуться однократні помилки. Для виявлення двократних помилок, а також помилок більшої кратності в ШК-знаках слід використовувати неповні многозначні коди Хемінга.

Таким чином, необхідно вирішити задачу синтезу символік багатоколірних штрихових кодів з можливістю виправлення однократних та виявлення багатократних помилок у зчитуваних ШК-знаках коли кількість  $q$  кольорів, використовуваних для розфарбовування штрихкодів елементів, є степенем простого числа.

**Синтез символіки багатоколірного завадостійкого штрихового коду на основі  $q$ -кового коду Хемінга.** Структурно ШК-знак (рис. 1), до складу якого входять  $s$  елементів, має складатися з  $u$  інформаційних елементів (розрядів), які утворюють інформаційне слово  $B = (b_1 b_2 \dots b_u)$  та  $v$  контрольних елементів (розрядів), які утворюють контрольне слово  $T = (t_1 t_2 \dots t_v)$ , де  $u + v = s$ , а кодове слово  $Z$ , яке є вектором ШК-знака, формують як  $Z := B \dot{ : } T$ .

Побудову символіки завадостійкого штрихового коду виконаємо на основі перевірної матриці  $H$  коду Хемінга.

У загальному випадку перевірна матриця  $q$ -кового  $(s, u)$ -коду Хемінга має вигляд:

$$H_{(s,u)}^{*q} = \left\| \begin{array}{cccccccc} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1u} & 1 & 0 & \dots & 0 \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2u} & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ h_{v1} & h_{v2} & \dots & h_{vu} & 0 & 0 & \dots & 1 \end{array} \right\| = \left\| H_{v \times u} \mid I_v \right\|, \quad (1)$$

де  $h_{ij} \in \{0, 1, 2, \dots, q - 1\}$ .

Стовпці матриці  $H_{(s,u)}^{*q}$ , максимальна кількість яких становить  $(q^v - 1) / (q - 1)$ , є ненульовими  $v$ -розрядними послідовностями, у яких перша

ненульова компонента дорівнює одиниці. Ця умова забезпечує попарну лінійну незалежність стовпців [11, 12], а параметри  $u$  і  $v$  пов'язані між собою співвідношенням

$$u \leq \frac{q^v - 1}{q - 1} - v. \quad (2)$$

Многозначний  $(s, u)$ -код Хемінга називають повним, якщо у співвідношенні (2) виконується рівність. Якщо ж у підматриці  $H_{v \times u}$  (див. (1)) викреслити один або декілька стовпців, то код Хемінга стане неповним.

Якщо виконати перебір всіх можливих значень вектора  $B$  – від  $(0 \ 0 \ \dots \ 0)$  до  $(q - 1 \ q - 1 \ \dots \ q - 1)$ , де  $q = p^m$ , то на основі матриці  $H_{(s,u)}^q$  можна згенерувати всі можливі кодові слова  $Z = (z_1 z_2 \dots z_s)$   $q$ -кового  $(s, u)$ -коду Хемінга, кожне з яких отримують як

$$Z := B : (B \cdot H_{v \times u}^T).$$

Кількість можливих кодових слів  $Z$  становить  $q^u$ , а величина  $q^u$  є потужністю символіки багатокольорного штрихового коду.

Кожному  $Z$  необхідно поставити у відповідність ШК-знак, розфарбувавши його елементи відповідними кольорами. При цьому кожен ШК-знак буде завадостійким. Якщо вектори  $Z$  згенерувати на основі перевірної матриці повного коду Хемінга, то під час зчитування штрихкової позначки у межах кожного ШК-знака можливе виправлення однократної помилки (корекція одного елемента). Якщо вектори  $Z$  згенерувати на основі неповного коду Хемінга, то у межах кожного ШК-знака можливе або виправлення однократної помилки (спотворення одного елемента), або виявлення значної кількості багатократних спотворень.

У табл. 1 наведено деякі повні  $(s, u)$ -коди Хемінга, на основі яких можна синтезувати символіки завадостійких штрихових кодів при використанні для розфарбовування елементів 4-х, 8-ми та 9-ти кольорів.

Таблиця 1

Деякі повні  $q$ -кові  $(s, u)$ -коди Хемінга  
коли  $q$  є степенем простого числа

Кількість використовуваних кольорів		
$q = 4$	$q = 8$	$q = 9$
Вид скінченного поля		
$GF(2^2)$	$GF(2^3)$	$GF(3^2)$
(5, 3)- (21, 18)-	(9, 7)- (73, 70)-	(10, 8)- (91, 88)-

Розглянемо випадок побудови символіки 4-колірного завадостійкого штрихового коду. Для цієї мети скористаємось четвірковими кодами Хемінга.

Спочатку візьмемо четвірковий повний (5, 3)-код Хемінга (див. табл. 1), якому відповідає перевірна матриця

$$H_{(5,3)}^{*4} = \begin{vmatrix} & b_1 & b_2 & b_3 & t_1 & t_2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 3 & 0 & 1 & 1 \end{vmatrix}. \quad (3)$$

Такий код дозволяє побудувати  $N = 4^3 = 64$  різні чотириколірні ШК-знаки з можливістю виправлення однократних помилок у ШК-знаках під час їх зчитування з носія.

Операції кодування-декодування в цьому випадку виконують у полі  $GF(2^2)$  за модулем двійкового незвідного многочлена степеня два. Існує єдиний незвідний многочлен степеня два – це  $p_2^{(2)}(x) = x^2 + x + 1$  [13].

Для побудови поля спочатку слід взяти  $GF(2)$ , а потім на основі  $p_2^{(2)}(x)$  сформулювати його розширення  $GF(2^2)$  (табл. 2).

Таблиця 2

Подання елементів поля  $GF(2^2)$  за модулем незвідного многочлена  $p_2^{(2)}(x) = x^2 + x + 1$

У вигляді невід'ємного показника степеня $\alpha$	У вигляді від'ємного показника степеня $\alpha$	У вигляді многочлена від $\alpha$	У двійковому вигляді	У десятковому вигляді
0	0	0	00	0
$\alpha^0$	$\alpha^{-3}$	1	01	1
$\alpha^1$	$\alpha^{-2}$	$\alpha$	10	2
$\alpha^2$	$\alpha^{-1}$	$\alpha + 1$	11	3

У табл. 2  $\alpha$  – примітивний елемент поля  $GF(2^2)$ . У полі  $GF(2^2)$   $\alpha^3 = \alpha^0 = \alpha^{-3} = 1$ .

Приклади виконання операцій у  $GF(2^2)$ :

додавання:  $2 + 3 = \alpha + (\alpha + 1) = 2\alpha + 1 = 1$ ,

множення:  $2 \cdot 3 = \alpha^1 \cdot \alpha^2 = \alpha^3 = \alpha^0 = 1$ ,

ділення:  $2 : 3 = \alpha^1 : \alpha^2 = \alpha^1 \cdot \alpha^{-2} = \alpha^{-1} = 3$ .

Для зручності можна користуватись табличним способом виконання операцій (рис. 2).

У полі  $GF(2^2)$  для кожного ненульового елемента  $b$  існує протилежний (адитивно обернений) елемент  $-b$  такий, що  $b + (-b) = 0$ . З таблиці додавання на рис. 2 видно, що протилежний до елемента 1 є елемент 1, протилежним до

елемента 2 є елемент 2, а протилежним до елемента 3 є елемент 3. Це означає, що в алгебраїчних виразах у полі  $GF(2^2)$  знак – (мінус) можна замінити на знак + (плюс). Дійсно, таблиці додавання та віднімання елементів поля співпадають (див. рис. 2). Крім того, додавання елементів поля  $GF(2^2)$  можна виконувати як порозрядне додавання двійкових кодів цих елементів.

+	0	1	2	3	-	0	1	2	3	·	0	1	2	3	:	0	1	2	3
0	0	1	2	3	0	0	1	2	3	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0
1	1	0	3	2	1	1	0	3	2	1	0	1	2	3	1	-	1	3	2
2	2	3	0	1	2	2	3	0	1	2	0	2	3	1	2	-	2	1	3
3	3	2	1	0	3	3	2	1	0	3	0	3	1	2	3	-	3	2	1

Рисунок 2 - Виконання операцій в полі  $GF(2^2)$

На основі матриці  $H_{(5,3)}^{4*}$  (див. (3)) побудуємо символіку 4-колірного завадостійкого штрихового коду з можливістю корекції однократних помилок у ШК-знаках.

ШК-знаки складаються з 5-ти елементів (рис. 3), кожен елемент може бути розфарбований одним з чотирьох кольорів. ШК-знаку відповідає вектор  $Z$  ШК-знака  $Z = (z_1 z_2 z_3 z_4 z_5)$ , у якому  $(z_1 z_2 z_3) := (b_1 b_2 b_3)$ ,  $(z_4 z_5) := (t_1 t_2)$ .

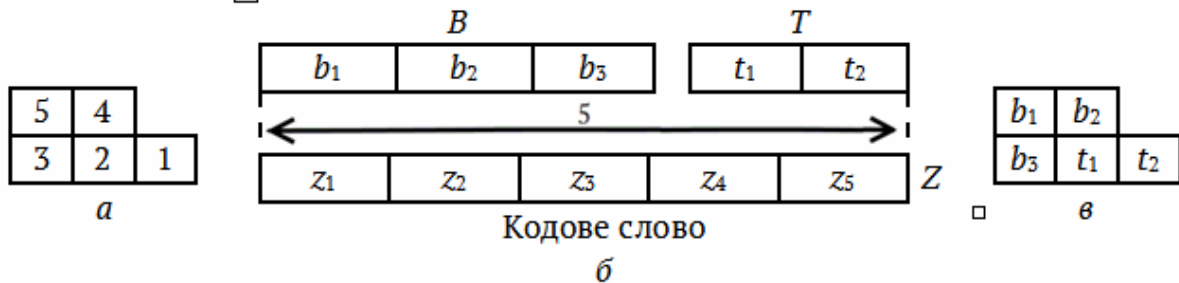


Рисунок 3 - Формування ШК-знаків чотириколірного завадостійкого штрихового коду: *a* – структура ШК-знака; *b* – вектор ШК-знака; *v* – порядок заповнення ШК-знака

Контрольні розряди обчислимо на основі матриці (3):

$$\begin{cases} t_1 = (b_1 + b_2 + b_3) \bmod p_2^{(2)}(x), \\ t_2 = (b_1 + 2b_2 + 3b_3) \bmod p_2^{(2)}(x). \end{cases}$$

Нехай  $B = (3 \ 0 \ 1)$ . Тоді

$$\begin{cases} t_1 = (3 + 0 + 1) \bmod p_2^{(2)}(x) = 2, \\ t_2 = (3 + 2 \cdot 0 + 3 \cdot 1) \bmod p_2^{(2)}(x) = 0. \end{cases}$$

Отже, вектор ШК-знака дорівнює  $Z = (3\ 0\ 1\ 2\ 0)$ , він є кодовим словом 4-кового (5, 3)-коду Хемінга, і йому відповідає 4-колірний завадостійкий ШК-знак (рис. 4).

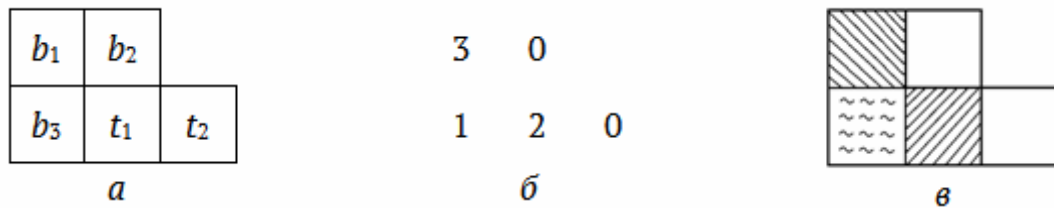


Рисунок 4 - Приклад створення 4-колірного завадостійкого ШК-знака: *a* – порядок заповнення ШК-знака; *б* – вектор ШК-знака; *в* – розфарбовування ШК-знака

Для отримання символіки потужності 64 ШК-знаки завадостійкого чотириколірного штрихового коду, в якому в ШК-знаках можливе виправлення однократних помилок, необхідно взяти всі можливі значення вектора  $B$  – від 0 0 0 до 3 3 3, та застосувати до кожного слова процедуру кодування.

Процес синтезу символіки можна задати узагальненим алгоритмом:

for  $B = 000$  to  $333$  do

$Z[1..3] := B$

$$t_1 = \left( \sum_{j=1}^3 b_j \right) \bmod p_2^{(2)}(x)$$

$$t_2 = \left( \sum_{j=1}^3 j \cdot b_j \right) \bmod p_2^{(2)}(x)$$

$Z[4] := t_1$ ;  $Z[5] := t_2$

$Z[1..5] \Rightarrow \text{barcode\_pattern}(B)$ ,

де  $\text{barcode\_pattern}(B)$  – програмна процедура перетворення цифрового вектора  $Z$  ШК-знака в 4-колірне зображення ШК-знака (рис. 4в).

Отриманій символіці можна поставити у відповідність числову множину  $\Omega = \{0, 1, 2, \dots, 63\}$  (табл. 3).

Під час створення штрихкодowego зображення вхідну алфавітно-цифрову послідовність (символи *ASCII*) перетворюють у числову послідовність, до складу якої входять числа з діапазону 0-63, а потім кожному числу ставлять у відповідність ШК-знак з табл. 3.

Таблиця 3

Структура символіки завадостійкого чотириколірного штрихового коду

Порядковий номер ШК-знака	ШК-знак	Вектор ШК-знака
0		0 0 0 0
1		0 0 1 1 3
2		0 0 2 2 1
...	...	...
63		3 3 3 3 0

Для синтезу восьмиколірних завадостійких ШК-знаків слід використовувати вісімкові коди Хемінга. При цьому операції кодування-декодування виконують у полі  $GF(2^3)$  за модулем незвідного многочлена степеня три. Існують два такі многочлени:  $x^3 + x + 1$  та  $x^3 + x^2 + 1$ ; будь-який з них можна обрати для побудови поля (табл. 4).

У полі  $GF(2^3)$   $\alpha^7 = \alpha^0 = \alpha^{-7} = 1$ , а додавання та віднімання елементів поля можна виконувати як порозрядне додавання двійкових кодів цих елементів.

Для синтезу дев'ятиколірних завадостійких ШК-знаків необхідно використовувати дев'яткові коди Хемінга. При цьому операції кодування-декодування виконують у полі  $GF(3^2)$  за модулем трійкового многочлена степеня два.

Для побудови поля  $GF(3^2)$  необхідно взяти поле  $GF(3)$ , елементами якого є 0, 1, 2, та незвідний трійковий многочлен  $p_3^{(2)}(x)$  степеня два, коефіцієнти якого є елементами поля  $GF(3)$ . Таким многочленом оберемо, наприклад,  $p_3^{(2)}(x) = x^2 + x + 2$ , він дозволяє отримати розширення  $GF(3^2)$  поля (табл. 5). Операції над коефіцієнтами виконують за модулем три.

Таблиця 4

Подання елементів поля  $GF(2^3)$  за модулем незвідного  
многочлена  $p_2^{(3)}(x) = x^3 + x + 1$

У вигляді невід'ємного показника степеня $\alpha$	У вигляді від'ємного показника степеня $\alpha$	У вигляді многочлена від $\alpha$	У двійковому вигляді	У десятковому вигляді
0	0	0	0 0 0	0
$\alpha^0$	$\alpha^{-7}$	1	0 0 1	1
$\alpha^1$	$\alpha^{-6}$	$\alpha$	0 1 0	2
$\alpha^2$	$\alpha^{-5}$	$\alpha^2$	1 0 0	4
$\alpha^3$	$\alpha^{-4}$	$\alpha + 1$	0 1 1	3
$\alpha^4$	$\alpha^{-3}$	$\alpha^2 + \alpha$	1 1 0	6
$\alpha^5$	$\alpha^{-2}$	$\alpha^2 + \alpha + 1$	1 1 1	7
$\alpha^6$	$\alpha^{-1}$	$\alpha^2 + 1$	1 0 1	5

Таблиця 5

Подання елементів поля  $GF(3^2)$  за модулем незвідного  
многочлена  $p_3^{(2)}(x) = x^2 + x + 2$

У вигляді невід'ємного показника степеня $\alpha$	У вигляді від'ємного показника степеня $\alpha$	У вигляді многочлена від $\alpha$	У трійковому вигляді	У десятковому вигляді
0	0	0	0 0	0
$\alpha^0$	$\alpha^{-8}$	1	0 1	1
$\alpha^1$	$\alpha^{-7}$	$\alpha$	1 0	3
$\alpha^2$	$\alpha^{-6}$	$2\alpha + 1$	2 1	7
$\alpha^3$	$\alpha^{-5}$	$2\alpha + 2$	2 2	8
$\alpha^4$	$\alpha^{-4}$	2	0 2	2
$\alpha^5$	$\alpha^{-3}$	$2\alpha$	2 0	6
$\alpha^6$	$\alpha^{-2}$	$\alpha + 2$	1 2	5
$\alpha^7$	$\alpha^{-1}$	$\alpha + 1$	1 1	4

**Декодування багатоколірних завадостійких ШК-знаків.** Під час зчитування з носія штрихкодowego зображення послідовно виокремлюють ШК-знаки, кожному з яких ставлять у відповідність  $q$ -ковий  $s$ -розрядний вектор ШК-знака  $Z' = (z'_1 z'_2 \dots z'_s)$ , який декодують за правилами  $q$ -кового  $(s, u)$ -коду Хемінга.

Наприклад, під час зчитування чотириколірного штрихового коду, символіка якого побудована на основі 4-кового  $(5, 3)$ -коду Хемінга, кожному ШК-знаку ставлять у відповідність 5-розрядний вектор ШК-знака  $Z' = (z'_1 z'_2 z'_3 z'_4 z'_5)$ . Декодування кожного вектора  $Z'$  виконують за правилами четвіркового  $(5, 3)$ -коду Хемінга.

На основі матриці (3) обчислимо синдром помилки  $S = (S_1 S_2)$ :

$$\begin{cases} S_1 = (z'_1 + z'_2 + z'_3 - z'_4) \bmod p_2^{(2)}(x), \\ S_2 = (z'_1 + 2z'_2 + 3z'_3 - z'_5) \bmod p_2^{(2)}(x). \end{cases} \quad (4)$$

У системі (4) знак мінус можна замінити на знак плюс.

Корекцію прийнятого вектора  $Z'$  (зчитаного ШК-знака) виконують наступним чином.

Якщо  $S = 0$ , то вважають, що вектор  $Z'$  є кодовим словом ( $Z = Z'$ ), і зчитаний ШК-знак не містить спотворених елементів.

Нехай зчитано ШК-знак, вектор якого дорівнює  $Z' = (3 \ 0 \ 1 \ 2 \ 0)$ .

Обчислимо синдром помилки на основі системи (4):

$$\begin{cases} S_1 = (3 + 0 + 1 + 2) \bmod p_2^{(2)}(x) = 0, \\ S_2 = (3 + 2 \cdot 0 + 3 \cdot 1 + 0) \bmod p_2^{(2)}(x) = 0. \end{cases}$$

Оскільки  $S = 0$ , то прийнятий вектор  $Z'$  є кодовим словом (5, 3)-коду Хемінга, і, отже, відповідний зчитаний ШК-знак не містить спотворень.

Нехай зчитано ШК-знак, вектор якого дорівнює  $Z' = (3 \ \underline{2} \ 1 \ 2 \ 0)$ .

Обчислимо синдром помилки на основі (4):

$$\begin{cases} S_1 = (3 + 2 + 1 + 2) \bmod p_2^{(2)}(x) = 2, \\ S_2 = (3 + 2 \cdot 2 + 1 \cdot 3 + 0) \bmod p_2^{(2)}(x) = 3. \end{cases}$$

Оскільки  $S_1 = 2$ , то величина  $e$  помилки дорівнює 2 ( $e = S_1 = 2$ ). Великою помилки є перша ненульова компонента синдрому.

Компоненти синдрому поділимо на величину помилки (на 2), щоб визначити локатор помилки:  $(2 \ 3) / e = (2 / 2 \ 3 / 2) \bmod p_2^{(2)}(x) = (1 \ 2)$ .

Оскільки локатор (1 2) збігається з другим стовпцем матриці  $H_{(5,3)}^{*4}$  (див. (3)), то вектор  $Z'$  містить помилку в розряді  $z'_2$ .

Виправимо помилку в 2-му розряді вектора  $Z'$ :

$$z_2 = (z'_2 - e) \bmod p_2^{(2)}(x) = (z'_2 + e) \bmod p_2^{(2)}(x) = (2 + 2) \bmod p_2^{(2)}(x) = 0.$$

Правильним вектором зчитаного ШК-знака є  $Z = (3 \ 0 \ 1 \ 2 \ 0)$ .

Четвірковий (5, 3)-код Хемінга гарантовано забезпечує виправлення однократних помилок у ШК-знаках, однак він не виявляє двократні помилки, а також помилки більшої кратності, оскільки є повним кодом.

Будь-який неоднозначний повний код Хемінга не забезпечує виявлення двократної помилки. Але якщо застосовувати неоднозначні неповні коди Хемінга, то можна виявляти частину двократних помилок, а також помилок більшої кратності.

**Синтез символік багатоколірних завадостійких штрихових кодів на основі неоднозначних неповних кодів Хемінга.** Неповний код Хемінга можна отримати шляхом викреслювання відповідної кількості стовпців у підматриці  $H_{v \times u}$  перевірної матриці  $H_{(s,u)}^{*q}$  повного коду Хемінга (див. (1)).


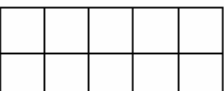
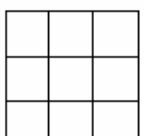
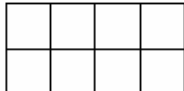
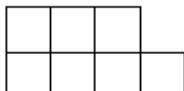
Наприклад, на основі четвіркового повного (5, 3)-коду Хемінга, який задають перевіркою матрицею  $H_{(5,3)}^{4*}$  (див. (3)), можна утворити неповний (4, 2)-код Хемінга – якщо викреслити стовпець  $b_3$  у перевірній матриці  $H_{(5,3)}^{4*}$ . На основі неповного (4, 2)-коду можна отримати символіку потужності 16 штрихового коду (табл. 6).

Неповні четвіркові коди Хемінга можна отримати також, виходячи з повного (21, 18)-коду (див. табл. 1).

Наприклад, якщо в підматриці  $H_{3 \times 18}$  перевірної матриці  $H_{(21,18)}^{4*}$  повного коду викреслити 13 стовпців, то отримаємо четвірковий неповний (8, 5)-код Хемінга, на основі якого можна синтезувати символіку потужності 1024 ШК-знаки завадостійкого 4-колірного штрихового коду (табл. 6).

Таблиця 6

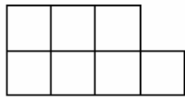
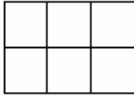
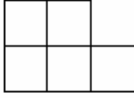

Параметри символік чотириколірних завадостійких штрихових кодів на основі неповних четвіркових (s, u)-кодів Хемінга

(s, u)-код Хемінга	$q^u$	Потужність символіки ШК-знаків	Надлишковість ШК-знаків	Структура ШК-знаків	Кількість елементів у ШК-знаку
На основі повного (5, 3)-коду Хемінга					
(4, 2)-	$4^2$	16	$2/4 = 0.50$		4
На основі повного (21, 18)-коду Хемінга					
(10, 7)-	$4^7$	16384	$3/10 = 0.30$		10
(9, 6)-	$4^6$	4096	$3/9 = 0.33$		9
(8, 5)-	$4^5$	1024	$3/8 = 0.38$		8
(7, 4)-	$4^4$	256	$3/7 = 0.43$		7

Неповні вісімкові коди Хемінга можна отримати, виходячи з повного (9, 7)-коду (табл. 1). Для синтезу символік восьмиколірних завадостійких штрихових кодів на основі повного (9, 7)-коду можна отримати чотири вісімкові неповні коди (табл. 7).

Таблиця 7

Параметри символік восьмиколірних завадостійких штрихових кодів на основі вісімкових (s, u)-кодів Хемінга

(s, u)-код Хемінга	$q^u$	Потужність символіки ШК-знаків	Надлишковість ШК-знаків	Структура ШК-знаків	Кількість елементів у ШК-знаку
На основі повного (9, 7)-коду Хемінга					
(7, 5)-	$8^5$	32768	$2/7 = 0.29$		7
(6, 4)-	$8^4$	4096	$2/6 = 0.33$		6
(5, 3)-	$8^3$	512	$2/5 = 0.40$		5
(4, 2)-	$8^2$	64	$2/4 = 0.50$		4

Для того, щоб синтезувати символіки дев'ятиколірних завадостійких штрихових кодів слід розглядати дев'яткові коди Хемінга.

Розглянемо повний дев'ятковий (10, 8)-код Хемінга (табл. 1), якому відповідає перевірна матриця

$$H_{(10,8)}^{*9} = \left\| \begin{array}{cccccccc|cc} b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 & b_6 & b_7 & b_8 & t_1 & t_2 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 0 & 1 \end{array} \right\| = \left\| H_{2 \times 8} \mid I_2 \right\|.$$

На основі цього повного коду отримаємо чотири дев'яткові неповні коди, які можна використати для синтезу символік дев'ятиколірних завадостійких штрихових кодів. Їх отримують викреслюванням відповідної кількості стовпців у підматриці  $H_{2 \times 8}$  повного коду. Це такі неповні дев'яткові коди Хемінга: (7, 5); (6, 4)-; (5, 3)- та (4, 2)-код.

Наприклад, викресливши стовпці  $b_4 - b_8$  отримаємо перевірну матрицю дев'яткового неповного  $(5, 3)$ -коду Хемінга:

$$H_{(5,3)}^{*9} = \begin{matrix} & b_1 & b_2 & b_3 & t_1 & t_2 \\ \begin{matrix} 1 \\ 1 \end{matrix} & \begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 3 & 0 & 1 \end{vmatrix} \end{matrix}. \quad (5)$$

Дослідимо здатність виявляти двократні помилки цим кодом.

Нехай на носій було нанесено ШК-знак, вектор якого дорівнював  $Z = (5 \ 1 \ 8 \ 2 \ 3)$ , а внаслідок ушкоджень штрихкодowego зображення з носія зчитано ШК-знак, вектор якого дорівнює  $(5 \ \underline{4} \ \underline{6} \ 2 \ 3)$ .

Обчислимо синдром помилки на основі матриці (5):

$$\begin{cases} S_1 = (5 + 4 + 6 - 2) \bmod p_3^{(2)}(x) = 4, \\ S_2 = (5 \cdot 1 + 4 \cdot 2 + 6 \cdot 3 - 3) \bmod p_3^{(2)}(x) = 0. \end{cases}$$

Оскільки  $S_1 = 4$ , то величина помилки дорівнює 4.

Для визначення локатора помилки компоненти синдрому поділимо на величину помилки:

$$(4 \ 0) / e = (4 / 4 \ 0 / 4) \bmod p_3^{(2)}(x) = (1 \ 0).$$

Локатор  $(1 \ 0)$  збігається зі стовпцем  $t_1$  матриці (5), вказуючи на те, що помилка міститься в розряді  $z'_4$  прийнятого слова. Однак це помилкове рішення, оскільки ушкодженими є розряди  $z'_2$  та  $z'_3$ .

Тому таку двократну помилку виявлено не буде.

Розглянемо інший приклад.

Нехай зчитано ШК-знак, вектор якого дорівнює  $Z' = (\underline{4} \ \underline{3} \ 8 \ 2 \ 3)$ ; ; він містить дві помилки – у 1-му та 2-му розрядах.

На основі матриці (5) обчислимо компоненти синдрому:

$$\begin{cases} S_1 = (4 + 3 + 8 - 2) \bmod p_3^{(2)}(x) = 4, \\ S_2 = (4 \cdot 1 + 3 \cdot 2 + 8 \cdot 3 - 3) \bmod p_3^{(2)}(x) = 6. \end{cases}$$

Величина помилки дорівнює 4 ( $e = S_1 = 4$ ).

Обчислимо локатор помилки:

$$(4 / 4 \ 6 / 4) \bmod p_3^{(2)}(x) = (1 \ 5).$$

Оскільки локатор (1 5) не збігається з жодним зі стовпців матриці (5), то це означає, що прийнятий вектор  $Z'$  містить двократну помилку; помилку виявлено.

За допомогою комп'ютерного моделювання процесів декодування прийнятих векторів ШК-знаків, що містять помилки, з'ясуємо, що в значній частині випадків багатократні помилки виявляються.

Так, у ШК-знаках, синтезованих на основі четвіркового неповного (8, 5)-коду Хемінга виявляються 50% двократних помилок (рис. 5), а також велика кількість помилок більшої кратності (табл. 8).

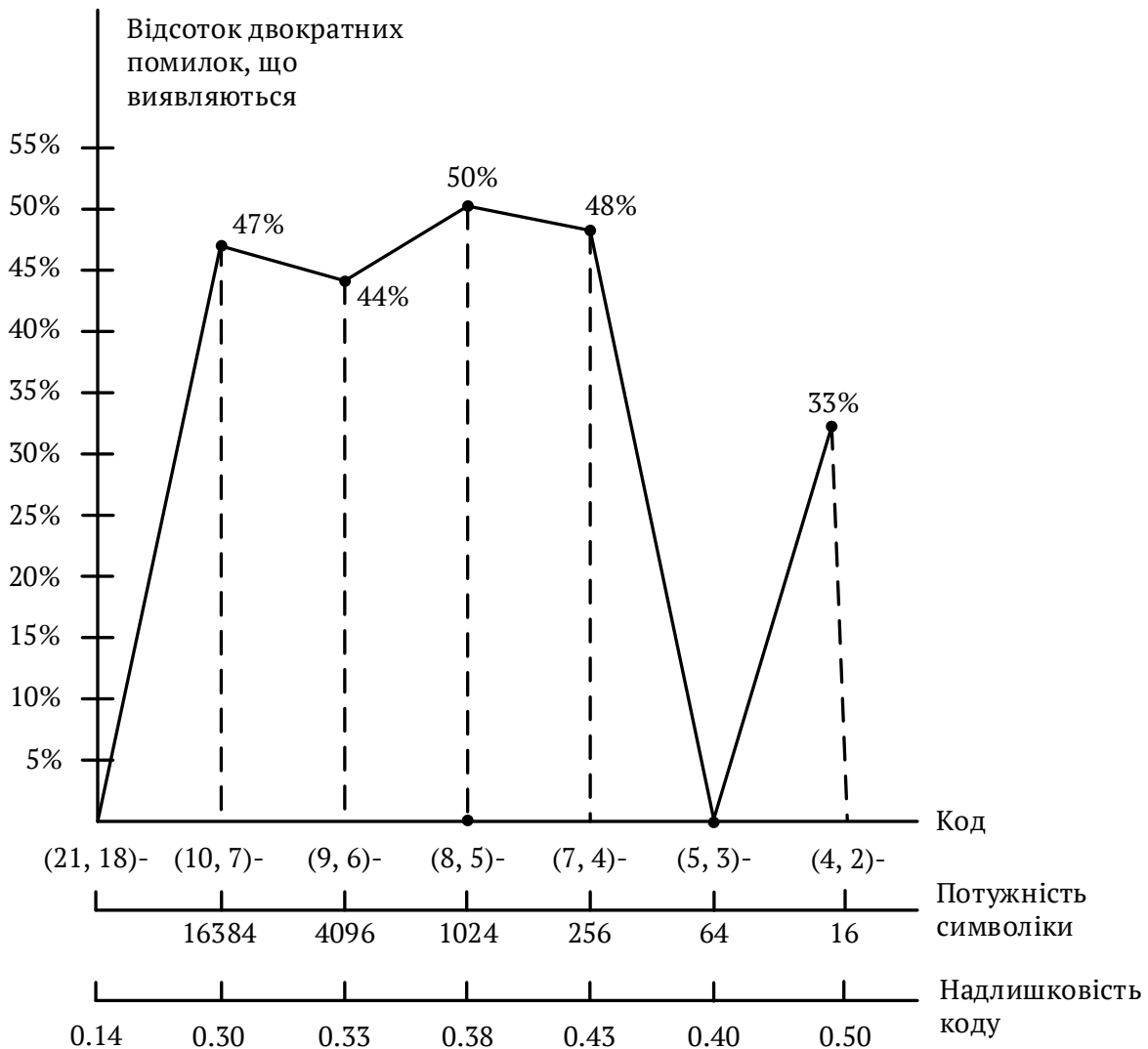


Рисунок 5 - Ступінь виявлення двократних помилок у чотириколірних ШК-знаках, синтезованих на основі деяких четвіркових неповних кодів Хемінга

Виявлення багатократних помилок у ШК-знаках  
чотириколірних штрихових кодів, символіки яких  
синтезовано на основі четвіркових  
неповних кодів Хемінга

	Четвірковий неповний ( <i>s, u</i> )-код Хемінга					
	На основі повного (21, 18)-коду				На основі повного (5, 3)-коду	
	(10, 7)-	(9, 6)-	(8, 5)-	(7, 4)-	(5, 3)-	(4, 2)-
Потужність символіки, ШК-знаків	15625	3125	1024	256	64	16
Надлишковість ШК-знаків	0.30	0.33	0.38	0.43	0.40	0.50
Відсоток багатократних помилок, що виявляються						
2-кратних	47%	44%	50%	48%	0%	33%
3-кратних	54%	57%	62%	62%	0%	11%
4-кратних	52%	58%	62%	64%	0%	22%
5-кратних	52%	57%	63%	71%	0%	–
6-кратних	51%	55%	60%	66%	–	–

Моделюванням можливих випадків спотворення елементів у ШК-знаках можна дослідити завадостійкість ШК-знаків штрихових кодів, символіки яких синтезовано на основі деяких неповних 8-кових та 9-кових кодів Хемінга, зокрема здатність виявляти двократні помилки у ШК-знаках 8-колірних та 9-колірних штрихових кодів (рис. 6). У квадратних дужках вказано потужність символіки, яку породжує відповідний неповний код Хемінга.

**Висновки.** При використанні багатоколірних штрихових кодів у системах автоматичної ідентифікації для досягнення необхідного рівня надійності зчитуваних даних слід застосовувати дворівневу систему забезпечення завадостійкості.

На нижньому рівні (рівень ШК-знаків) доцільно використовувати багатозначний неповний код Хемінга. При цьому цифрові еквіваленти ШК-знаків (вектори ШК-знаків) мають бути кодовими словами багатозначного коду Хемінга, а мінімальними структурними одиницями, що обробляються, є елементи (чарунки) ШК-знака.

На верхньому рівні забезпечення завадостійкості (рівень штрихкової позначки) доцільно використовувати багатозначний коректувальний код (наприклад, код Ріда-Соломона), який виправляє багатократні спотворення двох видів – помилки та стирання. При цьому мінімальними структурними одини-

цями, що обробляються, є ШК-знаки, а штрихкодова позначка сприймається як многозначне слово, розрядами якого є ШК-знаки. Помилка – це випадок (ситуація), коли невідоме ні місцезнаходження спотвореного ШК-знака у зчитаному слові, ані величина спотворення. Стирнання – це випадок (ситуація), коли місцезнаходження спотвореного ШК-знака відоме, а невідомим є лише величина спотворення (стирнання є математичним, а не фізичним поняттям).

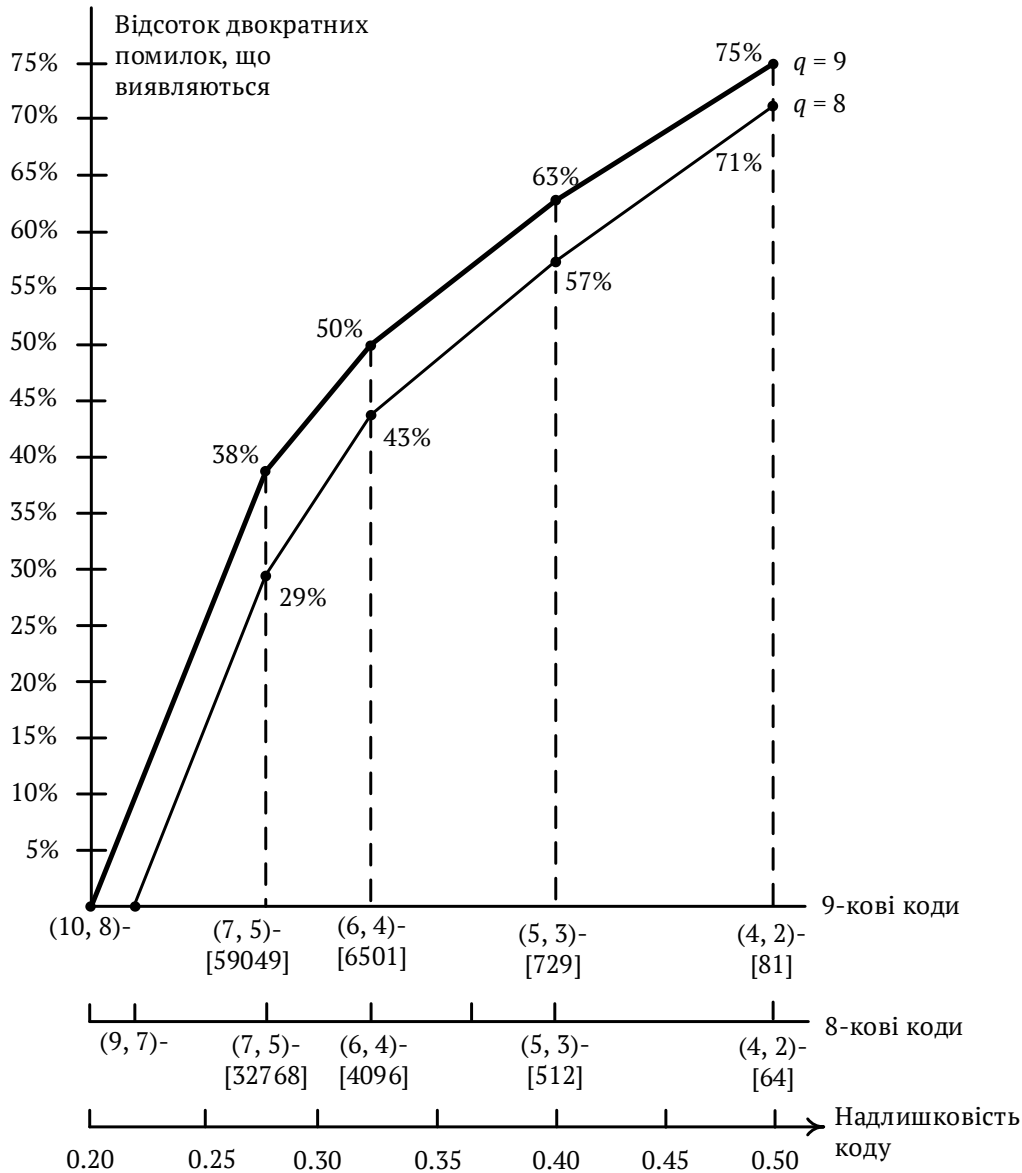


Рисунок 6 -Здатність виявляти двократні помилки у восьмиколірних ( $q = 8$ ) та дев'ятиколірних ( $q = 9$ ) ШК-знаках, синтезованих на основі неповних кодів Хемінга

Під час оброблення штрихкової позначки функціонують два програмні декодери: декодер многозначного коду Хемінга – у межах кожного ШК-знака

(внутрішній декодер); декодер коду Ріда-Соломона – у межах зчитаної штрих-кової позначки в цілому (зовнішній декодер).

Результатом внутрішнього декодування є три висновки: «неушкоджений ШК-знак», «виправлений ШК-знак», «стертий ШК-знак». Якщо синдром помилки дорівнює нулю, то приймається рішення про те, що ШК-знак не містить спотворень. Якщо в ШК-знаку ушкоджено лише один елемент, то багатозначний код Хемінга виправить таке спотворення. Якщо в ШК-знаку буде ушкоджено два або більше елементів, то таке багатократне ушкодження буде або виявлене кодом Хемінга (таке має місце в (29-75)% випадків), і декодер ідентифікує такий ШК-знак як «стертий»; або буде сприйняте декодером як однократну помилку, і, отже, буде виправлене неправильно, але на верхній рівень забезпечення завадостійкості воно надійде як «помилка».

Оскільки для виправлення кожної помилки витрачаються два контрольні розряди (символи) коду Ріда-Соломона, а для виправлення кожного стирання – один контрольний розряд, то за рахунок передачі на верхній рівень ситуацій «стирання» замість ситуацій «помилка» коректувальні можливості коду Ріда-Соломона будуть підсилені в середньому на (14,5 – 37,5)%.

Таким чином, застосування багатозначного неповного коду Хемінга (самого неповного, оскільки лише неповні коди дозволяють виявляти частину багатократних ушкоджень елементів ШК-знаків) у парі з багатозначним кодом Ріда-Соломона у дворівневій системі забезпечення завадостійкості істотно поліпшить надійність зчитування багатокольорових штрихових кодів.

#### **ЛИТЕРАТУРА / LITERATURE**

1. Sun H.-Y. The application of barcode technology on logistics and warehouse management / Hong-Ying Sun // First International Workshop on Education Technology and Computer Science, 7–8 March 2009 : proceedings. Wuhan, IEEE, 2009, Vol. 3.
2. Kaminsky M.A. Barcode scanning device / M.A. Kaminsky, J. Choi, S. Lim, M.C. Palmer // U.S. Patent USD710362S1, applicant Motorola Solutions Inc. №US29/458,380; appdate 19.06.2013 ; pubdate 05.08.2014.
3. Bagherinia H. A theory of color barcodes / H. Bagherinia, R. Manduchi // In IEEE Int. Conf. Comp. Vision Workshops, 2011, Nov. 6-13, P. 806-813. DOI: 10.1109/ICCVW.2011.6130335.
4. Grillo A. High capacity colored two dimensional codes / A. Grillo, A. Lentini, M. Querini, G. Italiano // In Proc. Int. Multiconf on Comp. Science Inf. Tech., pp. 709-716, 2010.

5. Wang F. Color-constant information embedding / F. Wang, R. Manduchi // In Proc. IEEE Workshop on Color and Reflectance in Imaging and Computer Vision, 2010.
6. Cattrone P. Two-dimensional color barcode and method of generating and decoding the same / P. Cattrone // U.S. Patent 7 478 746, Jan. 20, 2009.
7. Parikh D. Localization and segmentation of a 2D high capacity color barcode / D. Parikh, G. Jancke // In IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, 2008, Jan.7.
8. Miller E. Color eigenflows: Statistical modeling of joint color changes / E. Miller, K. Tieu // In Proc. of Int. Conf. on Comp. Vision (ICCV), vol.1, P. 607-614, 2001.
9. Querini M. 2D Color Barcodes for Mobile Phones / M. Querini et.al. // International Journal of Computer Science and Applications, vol. 8.N.1, P. 136-155, 2011.
10. Blahut R. Theory and Practice of Error Control Codes / Richard E. Blahut // MA: Addison-Wesley, 1983. – 500 p.
11. Peterson W. Error-Correcting Codes / W. Wesley Peterson, E. J. Weldon, Jr. // – Second Edition : MIT, 1972. – 549 p.
12. Касами Т. Теория кодирования /Т. Касами, Н. Токура, Е. Ивадари, Я. Инагаки. – М.: Мир, 1978. – 576 с.

#### **REFERENCES**

1. Sun H.-Y. The application of barcode technology on logistics and warehouse management / Hong-Ying Sun // First International Workshop on Education Technology and Computer Science, 7–8 March 2009 : proceedings. Wuhan, IEEE, 2009, Vol. 3.
2. Kaminsky M.A. Barcode scanning device / M.A. Kaminsky, J. Choi, S. Lim, M.C. Palmer // U.S. Patent USD710362S1, applicant Motorola Solutions Inc. №US29/458,380; appdate 19.06.2013 ; pubdate 05.08.2014.
3. Bagherinia H. A theory of color barcodes / H. Bagherinia, R. Manduchi // In IEEE Int. Conf. Comp. Vision Workshops, 2011, Nov. 6-13, P. 806-813. DOI: 10.1109/ICCVW.2011.6130335.
4. Grillo A. High capacity colored two dimensional codes / A. Grillo, A. Lentini, M. Querini, G. Italiano // In Proc. Int. Multiconf on Comp. Science Inf. Tech., pp. 709-716, 2010.
5. Wang F. Color-constant information embedding / F. Wang, R. Manduchi // In Proc. IEEE Workshop on Color and Reflectance in Imaging and Computer Vision, 2010.
6. Cattrone P. Two-dimensional color barcode and method of generating and decoding the same / P. Cattrone // U.S. Patent 7 478 746, Jan. 20, 2009.

7. Parikh D. Localization and segmentation of a 2D high capacity color barcode / D. Parikh, G. Jancke // In IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, 2008, Jan.7.
8. Miller E. Color eigenflows: Statistical modeling of joint color changes / E. Miller, K. Tieu // In Proc. of Int. Conf. on Comp. Vision (ICCV), vol.1, P. 607-614, 2001.
9. Querini M. 2D Color Barcodes for Mobile Phones / M. Querini et.al. // International Journal of Computer Science and Applications, vol. 8.N.1, P. 136-155, 2011.
10. Blahut R. Theory and Practice of Error Control Codes / Richard E. Blahut // MA: Addison-Wesley, 1983. – 500 p.
11. Peterson W. Error-Correcting Codes / W. Wesley Peterson, E. J. Weldon, Jr. // – Second Edition : MIT, 1972. – 549 p.
12. T.Kasami, N.Tokura, E.Ivadari, Y.Inagaki Theory Coding – M.: Mir, 1978. – 576 p.

Received 04.01.2021.

Accepted 11.01.2021.

**Обеспечение помехоустойчивости многоцветных штрихкодовых знаков  
на основе поля  $GF(p^m)$**

*Разработана методика синтеза символик многоцветных высоконадежных штриховых кодов для систем автоматической идентификации. Предложена двухуровневая система обеспечения помехоустойчивости многоцветных штрихкодовых изображений, в которой на нижнем структурном уровне (уровне штрихкодовых знаков) применяются многозначных неполные коды Хемминга, а на верхнем (уровне штрихкодового символа) – коды Рида-Соломона. Выполнена оценка корректирующих возможностей многозначных неполных кодов Хемминга при их использовании в штриховом кодировании данных. Рассмотрены особенности выполнения операций в конечных полях вида  $GF(p^m)$  при реализации процедур кодирования-декодирования данных в системах автоматической идентификации на основе многоцветных штриховых кодов.*

**Ensuring Error Detection and Correcting of Multicolored Bar Code Patterns Based on  $GF(p^m)$**

*A method of the synthesis of symbols of multicolor highly reliable bar codes for automatic identification systems has been developed. A two-level noise immunity system for multicolor barcode images is proposed, in which multi-valued incomplete Hamming codes are used at the lower structural level (bar code patterns) and Reed-Solomon codes at the upper level (bar code symbol). The corrective capabilities of multivalued incomplete Hamming codes when used in bar coding of data are evaluated. The peculiarity of performing operations in finite fields of the form  $GF(p^m)$  in the implementation of data encoding-decoding procedures in automatic identification systems based on multicolor barcodes is considered.*

**Сулема Євгенія Станіславівна** – к.т.н., доцент, доцент кафедри програмного забезпечення комп’ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

**Онай Микола Володимирович** – к.т.н., доцент, доцент кафедри програмного забезпечення комп’ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

**Дичка Андрій Іванович** – аспірант кафедри програмного забезпечення комп’ютерних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського».

**Сулема Євгения Станиславовна** – к.т.н., доцент, доцент кафедры программного обеспечения компьютерных систем Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского».

**Онай Николай Владимирович** – к.т.н., доцент, доцент кафедры программного обеспечения компьютерных систем Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского».

**Дичка Андрей Иванович** – аспирант кафедры программного обеспечения компьютерных систем Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт им Игоря Сикорского».

**Yevgeniya Sulema** – PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Computer Systems Software Department of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”.

**Mykola Onai** – PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Computer Systems Software Department of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”.

**Andrii Dychka** – PhD student of the Computer Systems Software Department of the National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”.

## **SIMULATION OF IT INFRASTRUCTURE WITH CONSIDERATION OF CRITICAL ASPECTS FOR QUALITY OF SERVICE MANAGEMENT**

*Annotation. Testing hypotheses about service quality management in IT infrastructure requires large and complex data centers with sufficient resources to explore various possible scenarios of infrastructure operation during the provisioning of IT services. For testing purposes, dozens of solutions already exist, but all of them don't consider critical aspect of IT infrastructure. In order to solve this issue general mathematical model for quality of service management in critical infrastructures was introduced. Based on the proposed model simplest set of tools was developed for creating heavy simulations which can cover criticality during functioning.*

*Keywords: simulation; modelling; IT infrastructure; quality of service management; QoS; critical IT infrastructure.*

**Introduction.** Information technologies have evolved significantly today which made it possible to create ubiquitous and widespread services available literally at the fingertips. Such breakthrough could be possible due to emergence of big clusters of computing units, interconnected with each other into grids, clouds as part of big data centers. Those units can consist not only stationary processing machines but also storage units, network units, and other hardware and software abstractions which are located under the hood, or even can be named as a back-end, where front-end is an IT service itself, available for ordinary user or business unit.

Actually, initial concept of IT service has emerged with introduction of the novel way for developing new software via paradigm of service-oriented computing (SOC) which provides an approach for the development of rapid, low-cost, interoperable, evolvable, and massively distributed applications [1].

With that in mind the field of IT services also introduces a bunch of problems related to quality management. Quite commonly these problems as a phenomenon was addressed in [2]. Furthermore, this work should be considered as a foundation of this research and continuation. It contains basic management model of IT services quality within IT infrastructure. Briefly, it introduces the decomposition-compensation approach to quality management and correspondingly performs a de-

composition of tasks for service level management and compensate a negative impact of different factors by allocation of additional resources to critical applications [2].

In order to perform a research in such broad area it is important to have access to a pool of resources which can provide means for developing some testbed environment for experiments. However, this can be expensive and not effective because of old resources used at the institutions. Moreover, cloud providers propose to use their resources but only with limited capacity which can not afford to conduct any desirable test suit but only small ones. Another way to handle experiment is to create a simulation environment which is not something new but can save a lot of efforts during experiment implementation.

A comprehensive overview regarding available simulators and possible issues which those are solving as for today is given in [3]. This research gives a broader view on the field of cloud simulators which are actually a subclass of IT infrastructures and concludes that most tools focus on energy modelling and performance, but lacks on security aspects, which is crucial for critical IT infrastructure. Also, [3] has comparison results for 33 simulation toolkits each of which covers some peculiarity of system functioning, therefore for complex problems a couple of them should be used together which introduces additional time for learning curve.

This research proposes to consider novel framework, which can cover critical IT infrastructure simulation issues and provide space for improvement of covered features of critical aspects.

**Problem Statement.** As for today, a lot of empirical experiments are being conducted in the area of data center modelling, network modelling and cloud simulations. However, the term IT infrastructure is quite rare in this field due to more widespread and specific technical terms mentioned previously. Also, big part of studies uses some hypothesis testing without providing any general implementation which could be used for further improvements and therefore could reduce the number of projects and researches started from scratch. The main goals for this research are to introduce the term IT infrastructure as a generalization of already known models which are basically a subclasses of IT infrastructure models, investigate known solutions and define a novel way to simulate IT infrastructure. Most of problems related to simulating a data center functioning are related to optimization of resources consolidation, reducing energy footprint of a data center and comply with service level agreements during simulation. However, those studies concern only some specific aspects of the IT infrastructure performance. Another objective of this

research is to take into account real data during the simulation and add the possibility to simulate different scenarios for quality of service maintenance and management alongside critical plane of IT infrastructure. Basic model of IT infrastructure is going to be tested as well in order to show feasibility of application of provided simulation framework.

**Overview of Critical Infrastructure Simulation Definitions.** The majority of complex actual system requires quite expensive analytical models to be created and therefore such models then widely investigated via simulation. Worth mentioning that complexity of many real-world systems involves unaffordable analytical models, and consequently, such systems are commonly studied by means of simulation. However, a simulation term should be clarified before continuing.

In [4, 5] simulation is described as “an experiment to determine characteristics of a system empirically. It is a modeling method that mimics or emulates the behavior of a system over time”. So, for creating a simulation environment it is necessary to design a model of real or hypothetical system, running this model on a computer and consequently analyzing the output with the help of statistical methods. In such circumstances the state of the modelled system is being modified by a simulation program and therefore reproduces the way how actual system is evolving over time.

According to [6] Shannon has formulated a term of simulation as “the process of designing a model of a real system and conducting experiments with this model for the purpose either of understanding the behavior of the system or of evaluating various strategies (within the limits imposed by a criterion or a set of criteria) for the operation of the system”.

Despite the fact that modern IT infrastructures and interconnection inside of them have derived from telecommunication industry it still relevant to use similar approaches for analysis for the first ones. According to [4] three phases of telecom networks design can be distinguished: math analysis with simple models is performed and as a result some numeric data is obtained, simulation phase which in contrast to simple models in math phase results in data closer to the true worlds rather than data returned on analysis and real setup, which gives empirical data.

For assessing the availability, the primal approaches stand on measurement and modelling methods [7]. Approaches which depend on models are rapid and reasonable in contrast to the methods based on measurements. Among the methods for system simulation there are analytical models, discrete-event simulation or combination of two approaches.

For clarity M. Rybnicek et al. [8] has made an overview on approaches for modelling a critical infrastructure, among which are: agent-based, unified modelling language (UML), graphical modelling, etc. The most performable among those is agent-based modelling and simulation approach.

In order to model critical IT infrastructure is to follow similar approach for critical infrastructure, which stand on using agents in model. Shortly, agent is object or subject which can perceive it's surrounding and act upon the circumstances happened in the environment. Worth mentioning that each agent must have sensors and effectors in order to be able to do something depending on the conditions. In [8] authors have used defined attributes for each agent which has made it identifiable, situated, goal-directed, self-directed and autonomous.

The primary goal during critical infrastructure simulation is to investigate dynamic effects introduced from attacks or disruptions. The use of techniques to perform a simulation allows to understand deeply the domino and cascading effects. Because of interconnection of unique services in critical infrastructure and unavailability or malfunctioning of any can lead to significant consequences. Moreover, simulation assists in providing new knowledge about complex systems which allows to advance redundancies planning and development of incident response strategies, which is stated in [8].

Authors of [9] have introduced an approach for enhancing the protection of critical infrastructures which involves a bunch of steps to facilitate the simulation of such infrastructure. They have covered such steps like model development of services, context description, dependency and interdependency identification, probabilistic and deterministic models and final Monte Carlo simulation stage for exploratory analysis. Some of these steps are also important during simulation of critical IT infrastructure, because despite the fact that boundaries of IT infrastructure are bit different but threats are similar.

As a continuation of [9] researches in [10] have introduced the description for the consequences of cyber-attacks on critical infrastructure. In case of attack on power system of infrastructure the impact can be in range from 0 to growing losses of not providing energy to some customers, which can influence on country in general. To address critical aspect authors in [9–11] are referring to interdependencies issues. Among the reasons for dependencies between services there are: functional dependencies like inputs for one service has come from the outputs of other service; analogous components which contain common source of failures; and common envi-

ronment used for different services, which in case of failure will result in failure of all connected services.

Another approach for calculating interdependencies is proposed in [12] which is based on quality of service (QoS) indices, performance indicators and dependence indices. A performance indicator implies a measured value of system requirement which represents some characteristic of a system. Objective function which involves all performance indicators should be also defined because sometime increase in one indicator can lead to decline in other.

On other hand, quality of service is nothing more than objective function for the service of interest from the mathematical point of view and which is also implies function based on a user perspective of a service.

The last one, which [12] contains regarding interdependencies metrics is a dependence index, which is “a numerical measurement of the degree to which an activity (or service) depends on another activity (service), system or physical or human component.”

**IT infrastructure management tasks.** According to [13] there are three generalized areas of management, two of which cover technical side of all management functions in IT infrastructure: operative or automatic quality level maintenance for IT services and reasonable utilization of resources.

Those tasks should be considered in tight connection. For critical IT infrastructures reasonability in resource utilization are not relevant, because reliability indicators are becoming more prevailing. Moreover, allocation of significant amount of resources for reservation aims is not only justified but necessary.

General management task can be defined as follows. Let the state in IT infrastructure be described with a variable  $S$  from the set of possible state  $\mathbf{S}$ . The state of IT infrastructure at some moment in time can depend on control impacts like in (1):

$$U \in U; S = f(U) \quad (1)$$

Supposing that there a functional  $F(U, S)$  which is defined on product set of  $U$  and  $S$ , that defines efficiency of IT infrastructure functioning. By knowing that, efficiency management indicator can be determined by (2):

$$K(U) = F(U, f(U)) \quad (2)$$

Then the objective of IT infrastructure management is reduced to finding such acceptable control impact that maximizes value of management efficiency indicator. But it is true only when reaction of IT infrastructure (1) to control impacts is known:

$$K(U) \rightarrow \max_{U \in U} \quad (3)$$

The most important task of IT infrastructure is delivery of qualified services to the end users. With this in mind the efficiency of management in this case can be estimated by the quality  $Q$  of provided services. With operative management the primary objective is being achieved by maintenance of service quality on specified level with taking into account availability and reliability indicators. Then maximal efficiency of control can be achieved by choosing such control impact that allows to approach agreed level of quality  $Q_{agr}$  and maximal availability.

$$Availability(Q(U) > Q_{agr}) > \max_{U \in \Omega} \quad (4)$$

In turn, quality of all services  $Q$  is determined by the quality of all services:

$$Q_j, j = \overline{1, N}; Q = f(Q_1, \dots, Q_N) \quad (5)$$

Therefore, control impacts must support given level of quality for each service with ensuring maximum level of availability:

$$Availability(Q_j(U) > Q_j^{agr}) > \max_{U \in \Omega}, j = \overline{1, N} \quad (6)$$

From the user's perspective management efficiency criteria for maintenance of the quality of  $j$ -th service can be selection of such control impact which brings minimal time for handling  $i$ -th request to the application  $A_j$ :

$$\min_{U \in \Omega} (T_{R_{i,j}} = (t_{R_{i,j}} - t_{A_{i,j}})) \quad (7)$$

Where  $t_{A_{i,j}}$  is time when a request has been acquired by the system and  $t_{R_{i,j}}$  when the system has handled it and send back to user. As a result, in order to provide reasonable models for IT infrastructure with considering critical indicators it was necessary to define all the values for each part of management process from (1) to (7), which allows to proceed with implementation of simulation models.

**IT Infrastructure Simulation Framework Implementation.** For developing a simulation framework R language was used. Extension package written for R, called *simmer* was used. According to [14], this package introduces discrete-event simulations to R. It is developed as universal process-oriented framework, which utilizes core written with C++. Moreover, it allows to monitor all processing during simulation in automatic manner. It adopts the concept of trajectory which is “a common path in the simulation model for entities of the same type” [14].

For further research it is suggested to use models from [15] to simulate network traffic. Authors have introduced a mathematical procedure to define equations of bimodal traffic distributions. According to them, Uniform distribution is usually considered if there is no a priori information about the packet's attributes. On other hand, when some additional info exists then the Normal and Beta distributions are

considered. As a result, application of new information obtained from this research can cover denial-of-service attacks issues, improve the performance metrics of routers, as well as provide means to application level traffic classification.

A few common entities were developed for simulation framework: IT infrastructure, scheduler, server and request. As for now, request was marked as http but it is very abstract so far, therefore can be considered as any request. Future work in this direction will elaborate peculiarities of http request and extend types of requests supported by IT infrastructure.

In order to produce some simulated events inside the simulation, it is necessary to get some empirical data about say waiting and run times of jobs or requests from real data sets. For this purpose, the AuverGrid [16] dataset from Grid Workload Archives [17] was used. Also, authors in [17] have described the generic structure of all datasets and common properties collected in different systems. The dataset contains info about wait time and run time of each request, a lot of meta information, like user id or group id, queue id, etc. The most interesting for dynamic behavior is the wait and run times. The last one which is also very important is interarrival time, which can be calculated additionally by grouping all requests into hourly intervals, get a sum of all requests in each hour which will refer to as arrival rate according to (8). It shows that arrival rate for the whole dataset is going to be a vector of values.

$$Arrival\ Rate = \sum_1 R_1 \quad \dots \quad \sum_N R_N \quad (8)$$

And then to get interarrival time it is necessary to divide 1 by arrival rate and multiple with 3600 which is seconds equivalent of an hour in order to get time between arrivals in seconds, as shown on (9).

$$Interarrival\ Time = \frac{3600}{Arrival\ Rate} \quad (9)$$

Now, once having all the required parameters to obtain from real data, it is suggested to use empirical cumulative distribution function, which is a relation of cumulative sum of all values from the vector and division by sum of all values which will give a relative scale of cumulative changes of some statistical property. With this in mind it is easy to get wait time probability density and empirical cumulative distribution, which is shown on Fig. 1.

After obtaining data of probability density and cumulative distribution of wait time the next step will be to create a generator function, which can produce values with the same probability as original wait time has. That can be done by calculating probability density, which is a standard function in R and then by means of linear

approximation and cumulative distribution a new random generator can be created. That possible by using reversed cumulative distribution function, which allows to map values in range from zero to one (0; 1) to actual values of some property, in this case wait time. It is obvious that in order to get all values of wait time vector with the same probability the Uniform distribution can be used on the range of (0; 1). But before moving to the application of created generator of random values some validation should be performed to make sure that produced values from created generator fits into original distributions.

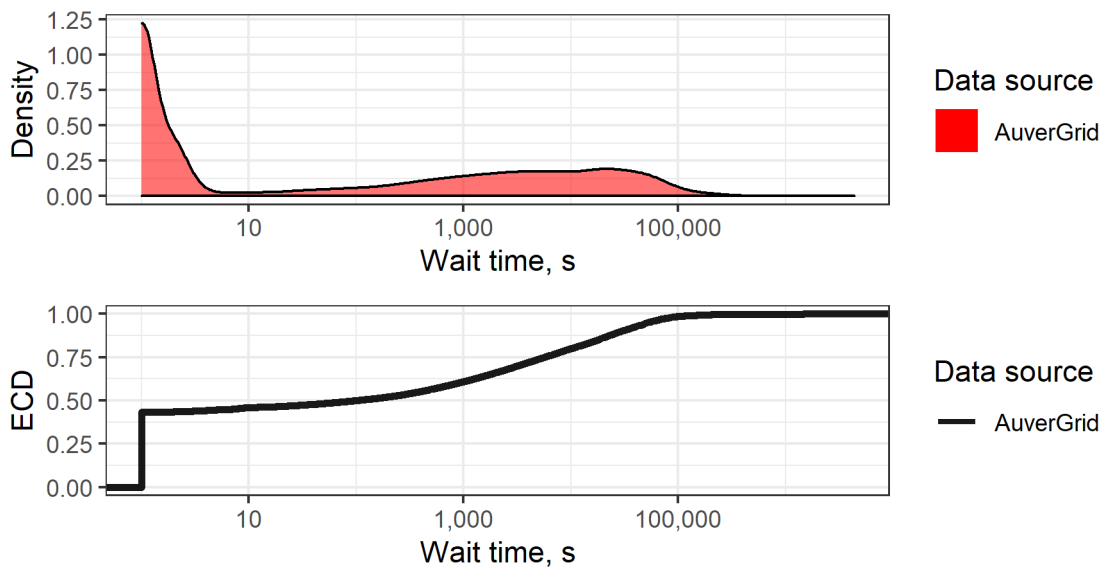


Figure 1 – Density and empirical cumulative distribution for wait time among all requests in the system

Let compare values from both sources, original dataset and random generator based on density functions of original data (Fig. 2). It is important to use almost the same number of values as original dataset contains, as far as convergence of the produced density should follow a law of big numbers.

From the picture can be seen small gap between real data and random data. Due to approximations of course it is possible to lose some values from the sample, but in total cumulative results are showing better picture, which can reflect adequacy of this model of behavior. Next step is to develop appropriate objects for simulation. Simmer contains some basic tools which then can be extended for solving any specific problems. For simulating an IT infrastructure provided entities were extended as follows: initial resource in simulation was wrapped into few entities, like Scheduler, Server, ResultNode and IT infrastructure itself. Those are also described as: IT infrastructure object, which is actually a simmer environment with ad-

ditional class; Scheduler, Server, ResultNode, which are resources with some capacity and queue; and HttpRequest – extended trajectory which is following from Scheduler, through Server and to the ResultNode.

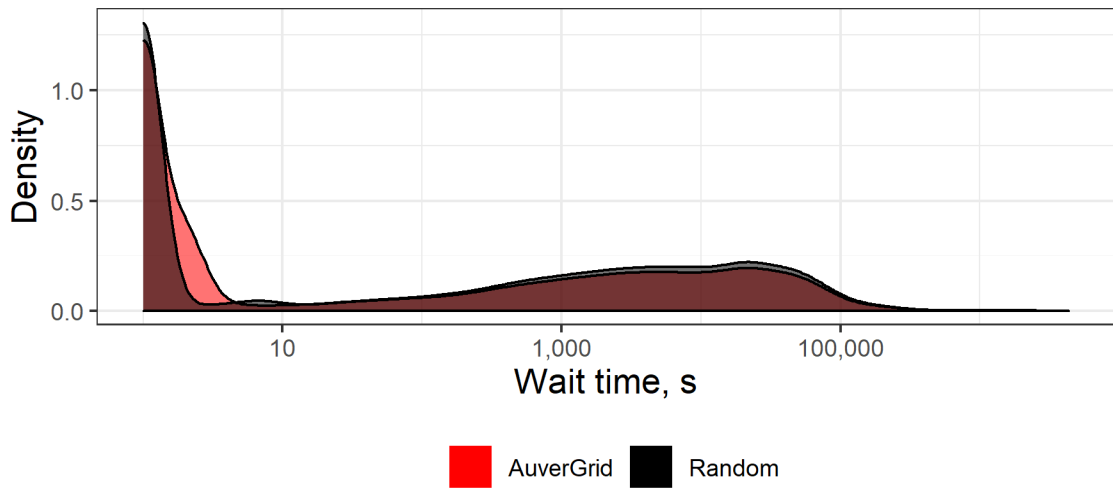


Figure 2 – Fitness of randomly generated values and original data

The final step in after all those investigations is the simple simulation. The research implies usage of three main characteristics obtained from the AuverGrid dataset, which are wait time, run time and interarrival time to run some scenario. After setting up the environment next results were obtained: usage of servers in IT infrastructure (Fig. 3) and utilization of schedulers and servers (Fig. 4).

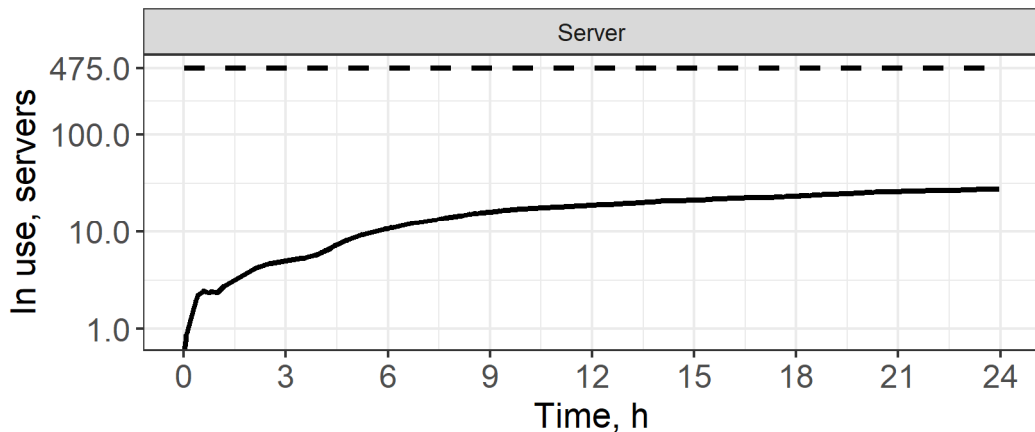


Figure 3 – The usage of servers in simulated environment

From the obtained results with the simulation parameters, related to the dataset very distinct behavior of the system can be observed which allows to make a conclusion that the system is overwhelmed with scheduling resource but not the processing resource.

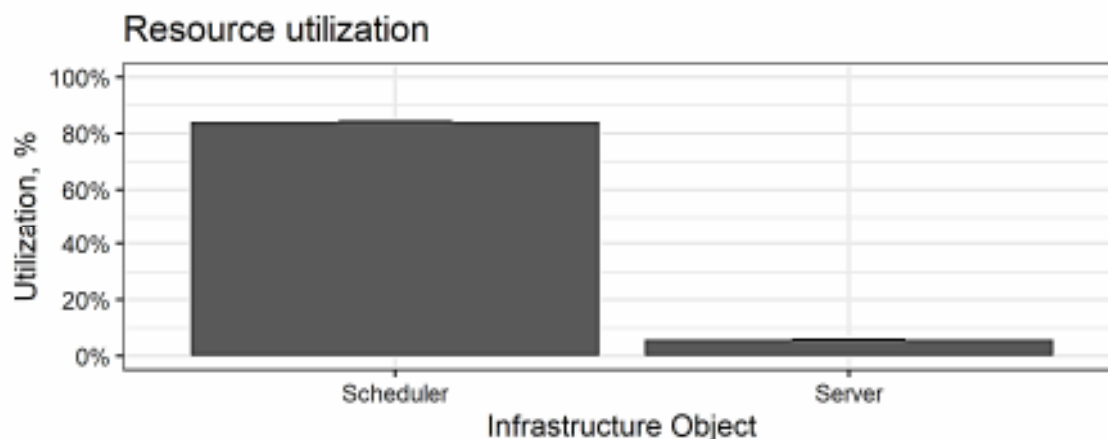


Figure 4 – The utilization of all entities in simulated environment

Original report on AuverGrid also shows that the system's overall utilization during a year period differs between average and maximum values, which are correspondent to 58 and 100 per cents. By knowing this we can make an assumption that the model is adequate for simulating similar to AuverGrid environment and perform some testing of management methods.

**Conclusion.** As a result of this research some models were discovered and connected with each other as an ontological description of some processes in IT infrastructure. Also, overview of common tools for simulating IT infrastructure has been performed.

The main difference from already existing simulation solutions is in putting new restriction on IT infrastructure as a research object which is a criticality aspect. It allows to construct basic scenarios of IT infrastructure functioning with making some blocking and attacking possible in order to replicate similar circumstances to real world.

Further research will focus on details of network functioning, cyber attacks peculiarities, resource management issues and user's perception issues during calculating quality of service values and checking SLA compliances.

#### REFERENCES

1. Papazoglou M. P. Service-Oriented Computing: State of the Art and Research Challenges / M. P. Papazoglou, P. Traverso, S. Dustdar, F. Leymann // Computer, vol. 40, no. 11. – Nov. 2007. – pp. 38-45. doi: 10.1109/MC.2007.400.
2. Rolik O. Decomposition-Compensation Method for IT Service Management / O. Rolik, V. Kolesnik, D. Halushko // Advances in Intelligent Systems and Computing, Advances in Intelligent Systems and Computing, 2017. – pp. 89–107. doi: 10.1007/978-3-319-44260-0\_6

3. Mansouri N. Cloud computing simulators: A comprehensive review, *Simulation Modelling Practice and Theory* / Mansouri, R. Ghafari, B. Mohammad Hasani Zade // *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2020. – Vo. 104. – 102144. ISSN 1569-190X, doi:10.1016/j.simpat.2020.102144.
4. Zola E. Discrete Event Simulation of Wireless Cellular Networks / E. Zola, I. Martin-Escalona, F. Barcelo-Arroyo // *Discrete Event Simulations*. – 2010. doi: 10.5772/9903.
5. Szczerbicka H. Discrete Event Simulation with Application to Computer Communication Systems Performance / H. Szczerbicka, K. Trivedi, P. Choudhary // *Information Technology*, 2004. – pp. 271–304. doi: 10.1007/1-4020-8159-6\_10.
6. Shannon R. Systems Simulation: The Art and Science // R. Shannon, J. Johannes // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 1976. – vol. -6. – no. 10. – pp. 723–724. Available: 10.1109/tsmc.1976.4309432.
7. Nguyen T. Stochastic Reward Net-based Modeling Approach for Availability Quantification of Data Center Systems / T. Nguyen, D. Min, E. Choi // *Dependability Engineering*, 2018. doi: 10.5772/intechopen.74306.
8. Rybnicek M. A Generic Approach to Critical Infrastructure Modeling and Simulation / M. Rybnicek, R. Poisel, M. Ruzicka, S. Tjoa // *2012 International Conference on Cyber Security*, 2012. doi: 10.1109/cybersecurity.2012.25.
9. Popov P. Preliminary Interdependency Analysis (PIA): Method and Tool Support / P. Popov // *Lecture Notes in Computer Science*, 2011. – pp. 1–8, doi: 10.1007/978-3-642-24124-6\_1.
10. Netkachov O. Model-Based Evaluation of the Resilience of Critical Infrastructures Under Cyber Attacks / O. Netkachov, P. Popov and K. Salako // *Critical Information Infrastructures Security*, 2016. – pp. 231–243, doi: 10.1007/978-3-319-31664-2\_24.
11. Bloomfield R. Preliminary interdependency analysis: An approach to support critical-infrastructure risk-assessment / R. Bloomfield, P. Popov, K. Salako, V. Stankovic, D. Wright // *Reliability Engineering & System Safety*, 2017. – vol. 167. – pp. 198–217, doi: 10.1016/j.ress.2017.05.030.
12. De Nicola A. A methodology for modeling and measuring interdependencies of information and communications systems used for public administration and eGovernment services // A. De Nicola, M. Villani, M. Brugnoli and G. D'Agostino // *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 2016. – vol. 14. – pp. 18–27. Available: 10.1016/j.ijcip.2016.06.001.
13. Rolik A. I. Upravlenie korporativnoy IT-infrastrukturoy / A.I. Rolik, S.F. Telenyk, M.V. Yasochka. – Kiev: Naukova dumka, 2018. – 576 p.
14. Ucar I. simmer: Discrete-Event Simulation for R / I. Ucar, B. Smeets, A. Azcorra // *Journal of Statistical Software*, 2019. – vol. 90. – no. 2. doi: 10.18637/jss.v090.i02.

15. Castro E.R.S. Probability Density Functions of the Packet Length for Computer Networks with Bimodal Traffic / E.R.S. Castro, M.S. Alencar, I.E. Fonseca, // International journal of Computer Networks & Communications, 2013. – vol. 5. – no. 3. – pp. 17–31. Available: 10.5121/ijcnc.2013.5302.
16. GWA-T-4 AuverGrid, Gwa.ewi.tudelft.nl, 2021. [Online]. Available: <http://gwa.ewi.tudelft.nl/datasets/gwa-t-4-auvergrid>. [Accessed: 01- Feb- 2021].
17. Iosup A. The Grid Workloads Archive /A. Iosup // Future Generation Computer Systems, 2008.– vol.24. – no.7. –pp. 672-686, Available: 10.1016/j.future.2008.02.003.

Received 12.01.2021.

Accepted 14.01.2021.

### **Симуляція IT-інфраструктури із розглядом аспектів критичності для управління якістю послуг**

*Перевірка гіпотез щодо управління якістю послуг в IT-інфраструктурі вимагає наявність великих і складних центрів обробки даних з достатньою кількістю ресурсів для дослідження різних можливих сценаріїв роботи інфраструктури під час надання IT-послуг. Для спрощення на сьогодні вже існує кілька десятків рішень для симуляції центрів обробки даних, проте більша частина з них зосереджена на продуктивності або на енергетичній складовій, проте не існує рішень, які можуть дозволити накладати додаткові обмеження та дослідити суб'єктивний показник якості послуг.*

*Метою дослідження було виявлення математичних моделей для накладання обмежень на моделі симуляції у вигляді критичності і запропонувати новий засіб для проведення симуляції IT-інфраструктури.*

*У якості методики дослідження виступало визначення існуючих способів моделювання центрів обробки даних та синтез модифікованого способу засобами моделювання та симуляції мовою програмування R.*

*Розроблений інструмент симуляції IT-інфраструктури дозволяє відтворити сценарії, подібні до реального життя, оскільки базуються на використанні значень, згенерованих випадковим чином згідно з щільністю випадкового розподілу значень з даних моніторингу реальної системи. Спрощений сценарій симуляції показав, що протягом симуляції тривалістю 24 умовних годин використання ресурсів планувальника зайняло майже 80 відсотків часу, при цьому обчислювальний ресурс простоював, що може розглядатися як відповідність до звіту використання справжніх даних.*

*У висновку, для моделювання поведінки реальної системи окрім використання аналітичних моделей можна використовувати емпіричні моделі. При цьому, з невеликим похибками можливо отримати чіткий імовірнісний розподіл значень того чи іншого параметру реальної системи. Використання розширення *simmer* в мові програмування R дозволяє розширити ідею використання емпіричних даних для моделювання поведінки.*

### **Simulation of IT infrastructure with consideration of critical aspects for quality of service management**

*Testing hypotheses about service quality management in IT infrastructure requires large and complex data centers with sufficient resources to explore various possible scenarios of infrastructure operation during the provisioning of IT services. To simplify, there are already dozens*

*of solutions for simulating data centers, but most of them focus on performance or the energy component, but there are no solutions that can impose additional constraints and explore the subjective quality of services.*

*The objective of the research is to identify models for constraints on simulation models in the form of criticality and propose a new tool for conducting IT infrastructure simulations.*

*The primary method of the research is to determine of existing methods of modeling data centers and synthesis of a modified method by means of modeling and simulation with R programming language.*

*The developed IT infrastructure simulation tool allows to reproduce real-life scenarios, as they are based on the use of values generated randomly according to the density of random distribution of values from the monitoring data of the real system. The simplified simulation scenario has shown that during the simulation of 24-hour period, the scheduler's resource usage took up almost 80 percent of the time, with the computing resource idle, which can be considered consistent with the report on real data.*

*As a conclusion in addition to the use of analytical models, empirical models can be used to model the behavior of a real system. In this case, with small errors it is possible to obtain a clear probability distribution of the values of a parameter of the real system. The use of the simmer extension in the R programming language allows us to extend the idea of using empirical data to model behavior.*

**Ролік Олександр Іванович** – завідувач кафедри автоматички та управління в технічних системах, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», д.т.н., професор.

**Колеснік Валерій Миколайович** – аспірант кафедри автоматички та управління в технічних системах, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Ролик Александр Иванович** – заведующий кафедрой автоматички и управления в технических системах, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», д.т.н., профессор.

**Колесник Валерий Николаевич** – аспирант кафедры автоматички и управления в технических системах, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского».

**Rolik Oleksandr Ivanovych** – the head of the department of Automatics and Control in Technical systems, National technical university of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Doctor of Science in engineering sciences, full professor.

**Kolesnik Valerii Mykolaiovych** – PhD student at department of Automatics and Control in Technical systems, National technical university of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”.

Н.Л. Дорош, Ю.В. Астіон, Л.М. Петречук

## ДОСЛІДЖЕННЯ УСПІШНОСТІ СТУДЕНТІВ З ПРОБЛЕМАМИ СЛУХУ

*Анотація. Проведено дослідження загальних показників та успішності студентів, які відносяться до Регіонального центру освіти інвалідів Національної Металургійної академії України (РЦОІ). Приймаючи до уваги, що Металургійна академія є єдиним закладом IV рівня акредитації в Україні, у якому здобувають освіту студенти з проблемами слуху, надана робота може бути віднесена до актуальних питань сьогодення.. Проведено збір та обробку інформації з навчання студентів з проблемами слуху з 2007 по 2018 роки. Спроектовано і розроблено базу даних РЦОІ. Проведено дослідження якості успішності студентів з проблемами слуху, які навчалися за спеціальністю «Комп'ютерні науки». Виконано аналіз пріоритетності дисциплін в їх освоєнні. Запропоновано об'єднання дисциплін за 6 категоріями. Доведено, що всі категорії дисциплін засвоюються, але дисципліни гуманітарної та соціальної спрямованості засвоюються легше. Підтверджено ефективність та доцільність отримання вищої освіти студентами з проблемами слуху.*

*Ключові слова: студенти з проблемами слуху, якість освіти, успішність навчання, реляційна база даних, MySQL, обробка інформації, аналіз даних, кореляція.*

**Постановка проблеми.** Національна металургійна академія України з 2002 року створює умови для здобувачів вищої освіти з проблемами слуху та зору. З 2007 року студенти з такими проблемами навчаються за освітньою програмою «Комп'ютерні науки». За цей термін навчання, а він більше ніж десять років, дипломи бакалавра отримали понад 100 студентів з означеними проблемами. За роки роботи зі студентами такої категорії накопичилося багато інформації стосовно навчально-виховних питань. Це дозволяє скласти прогноз та відповісти на наступні питання: чи є доцільним здобуття вищої освіти в області ІТ-технологій студентами з проблемами слуху; якою є якість освіти і як вона змінилася за десятирічний період. Відповіді на ці питання важливі, як з точки зору особливості професійного самовизначення молоді з проблемами слуху, так і для організаторів процесу освіти стосовно питань поліпшення умов її здобуття.

Вдосконалення технічних можливостей подання інформації, наявність відповідного програмного забезпечення, присутність перекладачів-дактилологів – всі ці умови створюють достатню можливість здобуття вищої освіти в НМетАУ для людей з проблемами слуху. Але, чи можливо полегшити і покращити засвоєння інформації у доступному для них вигляді, чи взагалі – є необхідність в здобутті ними вищої освіти, адже це дуже тяжка праця. Наявність питань такого характеру і призвели до необхідності досліджень процесу навчання. Приймаючи до уваги, що Металургійна академія є єдиним закладом IV рівня акредитації в Україні, у якому здобувають освіту студенти з проблемами слуху, надана робота може бути віднесена до актуальних питань сьогодення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Діяльність будь-якого вузу повинна сприяти придбанню затребуваних в соціальному та економічному житті знань та навичок, можливості швидкої адаптації випускників вузів у сучасному середовищі. Якість сучасного навчання в вузах є досить актуальною не тільки в нашій державі, а й за її межами.

Питанням прогнозування успішності студентів на основі методів кластерного аналізу присвячена робота [1], в якій для достовірного прогнозування успішності студентів представлений алгоритм k-середніх МакКіна, котрий передбачає, що шукане число кінцевих кластерів визначає сам користувач. При цьому існує можливість розбиття об'єктів не по одному параметру, а по цілому набору ознак.

У навчально-виховний процес впроваджуються інноваційні освітні методики та технології, розвивається матеріально-технічна база, але успішність навчання пов'язана не тільки з переліченими факторами [2]. Важливу роль у процесі отримання знань безпосередньо відіграє контингент учнів – здатність кожного зарахованого до вузу студента повністю реалізувати свої інтелектуально-психологічні особливості для засвоєння освітньої програми. Доцільним в рішенні цього питання є прогнозування. Можливість створення моделі прогнозування успішності за підсумками поточного навчання розглянуто в джерелі [3], де після аналізу складових навчального процесу і побудовано прогнозу модель підсумків сесії студентів.

**Мета дослідження.** Метою роботи є експериментальне підтвердження ефективності та доцільності отримання вищої освіти студентами з проблемами слуху, прогнозування показників процесу навчання на підставі виконаного дослідження. Задачі, які необхідно вирішити в процесі дослідження, це: аналіз

матеріалів стосовно поточних та заліково-екзаменаційних заходів; аналіз методів та засобів, за допомогою яких студенти отримують інформацію; розгляд принципів роботи з прогнозування успішності та моніторингу отриманої інформації; отримання показників якості успішності студентів з проблемами слуху протягом десятирічного періоду.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Перед викладом основного матеріалу роботи необхідно коротко описати особливості студентів, процес навчання яких було досліджено.

Відсутність мовлення або його значний недорозвиток негативно впливає не лише на формування словесно-логічного мислення, яке безпосередньо з ним пов'язане, а й на розвиток наочно-образного та практично-дійового апарату, на психічні процеси в цілому. Через недостатність усвідомлення інформації про зовнішній світ і його особливості, реакції таких дітей на навколишню дійсність є примітивнішими, безпосереднішими і часто не відповідають соціально прийнятним стандартам. Вузкий діапазон словникового запасу часто створює враження, що дитина має розумову відсталість або значний пробіл у знаннях про навколишній світ. Це ускладнює соціальну адаптацію такої дитини.

Оскільки такі діти мають повноцінну інтелектуальну сферу і усвідомлюють свою аномальність, проблемність, це ще більш негативно впливає на формування навичок соціальної взаємодії. Труднощі мовного спілкування є головною причиною виникнення конфліктних ситуацій, формування порушень емоційно-вольової сфери [4]. Отже, для того, аби студенти могли успішно вчитися, їм потрібно пройти великий шлях і докласти чимало зусиль для сприймання та застосування інформації, яку вони отримують.

Добре відомо, що процес збору і обробки інформації є трудомістким і, як правило, займає більшу частину часу проведення досліджень [5]. Дослідження почалося з аналізу даних про складання залікових заходів студентів кожної з груп протягом навчання в академії. Обробка первинної інформації відбувалася в такій послідовності:

- обрано групи студентів з проблемами слуху, які навчалися за спеціальністю «Комп'ютерні науки» починаючи з 2007 року вступу до академії і по 2018 рік включно;
- всі навчальні дисципліни за своєю специфікою були розподілені на шість категорій;

– дослідження успішності проводилося з урахуванням показників якості навчання як окремо по групах на кожному курсі (з 1-го по 4-й), так і для всіх груп в цілому.

Куратором роботи зі студентами, які мають проблеми слуху, у академії є регіональний центр освіти інвалідів (РЦОІ).

На наступному етапі роботи було спроектовано і розроблено базу даних РЦОІ, використано PHP і MySQL.

Структура бази даних містить особисту інформацію про студента, інформацію про дисципліну, групу і якість навчання кожного студента, а також інформацію співробітників РЦОІ. Логічну модель бази даних центру надано на рисунку 1.

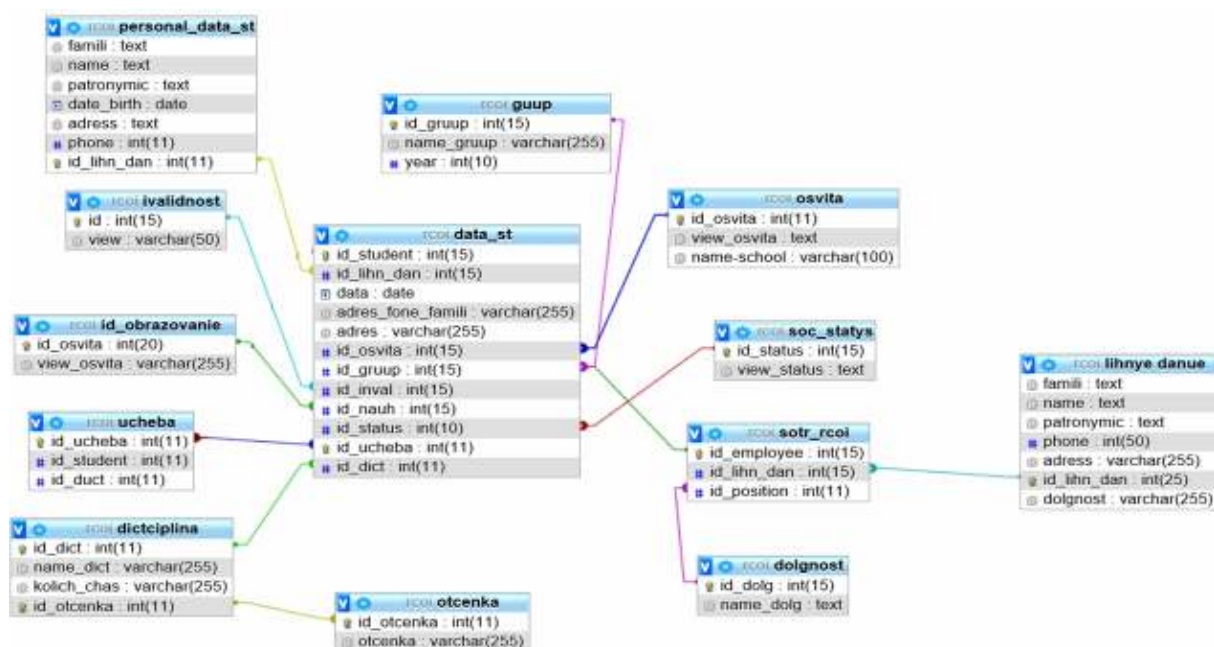


Рисунок 1 – Логічна модель бази даних РЦОІ

Проведено дослідження загальних показників та успішності студентів з проблемами слуху.

Протягом 2007-2015 років щорічний набір студентів стабільно тримав середній показник 10-11 осіб (Рисунок 2). Починаючи з 2016 року цей показник скоротився майже вдвічі. Причин цьому немало: по-перше багато абітурієнтів було з Кримського півострову і на разі вони не мають змоги вступити до академії, по-друге, скоротилась кількість дітей студентського віку, бо на роки з 1992 по 2000 рр. приріст населення був -1% і саме діти народжені у ці роки повинні були скласти загальну кількість абітурієнтів, по-третє зменшилось державне замовлення і скоротили кількість бюджетних місць, а саме діти з про-

блемами слуху посідали і отримували бюджетні місця в академії. Зробили для всіх без винятку однакові умови вступу до вищих навчальних закладів через складання ЗНО, означивши лише декілька видів захворювань, що звільняють від складання іспитів на загальних умовах. Саме через складання ЗНО більшість підлітків з проблемами слуху не можуть конкурувати з підлітками, у яких такі проблеми відсутні.

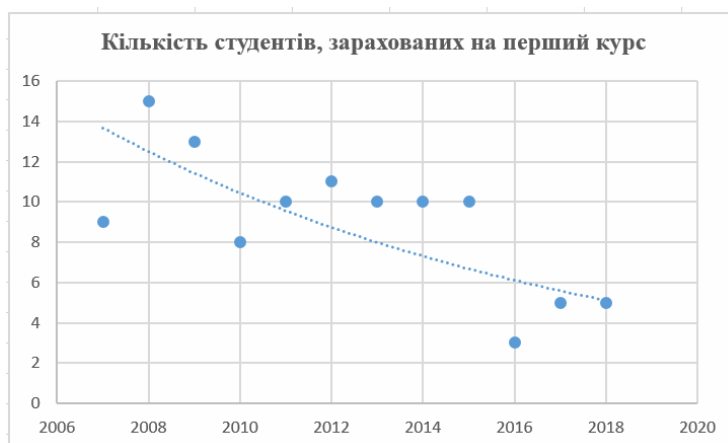


Рисунок 2. – Кількість студентів першокурсників по годах вступу до НМетАУ

Проведено аналіз здатності студентів з проблемами слуху успішно закінчити навчання і отримати диплом бакалавра. Таблиця 1 має інформацію про стан кількості студентів у процесі навчання з першого по четвертий курс.

Таблиця 1

Кількості студентів з першого по четвертий курс

Група		ІТС 07	ІТС 08	КН 09	КН 10	КН 11	КН 12	КН 13	КН 14	КН 15	КН 16	КН 17
Кількість студентів	1-й курс	9	15	13	8	10	11	10	10	10	3	5
	4-й курс	8	13	10	6	10	10	8	10	9	3	5

Отже, впродовж десяти останніх років в середньому один студент не завершує процес навчання (Рисунок 3). Причому, згідно опитування, з них приблизно 35% студентів припиняють навчання за власним бажанням, а решта - за наявності академічної заборгованості. Основні причини, через які студенти припинили навчання за власним бажанням такі: зміна міста проживання, зміна

форми навчання з денної на заочну, а також значна частина студентів вимушена була припинити навчання через військові дії на сході України.



Рисунок 3 – Кількість відрахованих студентів по роках

Кількість відрахованих студентів з проблемами слуху було порівняно з кількістю відрахованих студентів цієї ж спеціальності з нормальним слухом, показники практично однакові – 1.09 та 1.00 відповідно. Наочно процес відрахування студентів впродовж десятирічного періоду надано на рисунку 4 (з проблемами слуху – 1, без проблем – 2).

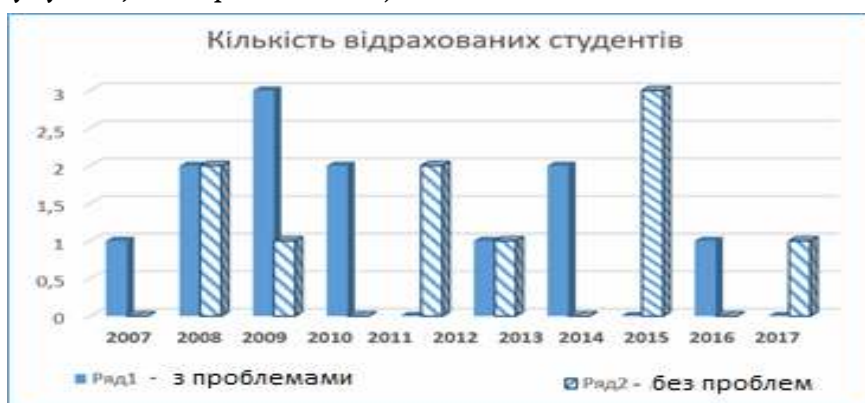


Рисунок 4 – Порівняльна діаграма відрахування студентів

Особливий інтерес у дослідженнях відноситься до прогнозування якості навчання студентів з проблемами слуху.

В даній роботі виконаний аналіз пріоритетності дисциплін в їх освоєнні. Запропоновано розподіл дисциплін за 6 категоріями: мови, точні науки, комп'ютерні науки, технічні науки, економічні науки, соціально політичні.

Для кожного студента згідно певної категорії дисциплін, що вивчаються, був прорахований середній бал (Рисунок 5).

«Системні технології» 1 (132) 2021 «System technologies»

ДОСЛІДЖЕННЯ НАВЧАННЯ СТУДЕНТІВ З ПРОБЛЕМАМИ СЛУХУ \* НМетАУ \*

ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ    ПРІОРИТЕТИ ПО ПРЕДМЕТАХ    ЗВІТИ

Шифр студента	Мови	Точні науки	Комп'ютерні науки	Економічні	Соціально-політич.	Технічні
09_10	7,5	5,88	4,75	7,33	9	6
09_1	9,25	7,75	8,52	9,67	9,67	8,5
09_2	10,25	9,75	8,96	10	9,33	8,5
09_3	9,25	6,88	7,46	8,67	9	7,5
09_4	10,25	8,5	8,97	10	8,67	8,5
09_5	8	5,25	7,58	6,33	6,33	6
09_6	9,75	8,13	8,35	9	7,67	7,5
09_7	9,75	7	7,92	8,33	10	7
09_8	9,5	8,25	8,4	9	10	8,5
09_9	9,75	8,38	8,96	8,33	10	9
10_1	8,75	7,88	7,92	5,67	8	8
10_2	9,25	6,5	6,42	5,67	7,67	4,5
10_3	10	9,25	8,81	9,6	9	8,5
10_4	10,25	7,13	7,65	6,67	8,67	8
10_5	8,5	5,38	5,44	5,7	7,67	5
10_6	9,25	8,25	8,15	6,68	8	7,5
11_2	10	9,1	9	10	8,67	8
11_1	9,5	7,75	8,1	9,3	10	8

Рисунок 5 – Середній бал кожного студента для певної категорії дисциплін

Аналіз, який проведено у наданій роботі передбачає отримання повномірної картини успішності як кожного студента окремо, так і групових показників навчання.

Далі на підставі отриманих результатів визначено середній бал кожної групи для всіх перелічених категорій (Рисунок 6).

ДОСЛІДЖЕННЯ НАВЧАННЯ СТУДЕНТІВ З ПРОБЛЕМАМИ СЛУХУ \* НМетАУ \*

ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ    ПРІОРИТЕТИ ПО ПРЕДМЕТАХ    ЗВІТИ

Група	Мови	Точні науки	Економічні	Комп'ютерні науки	Соціально-політич.	Технічні
КН-09	9,33	7,58	8,67	7,99	8,97	7,7
КН-10	9,2	7,4	6,7	7,4	8,17	6,92
КН-11	9,47	7,54	8,2	8,33	8,78	7,94
КН-12	9,36	7,83	7,88	8	8,96	6,85
КН-13	9,54	8,34	7,67	7,76	8	7,4
КН-14	9,98	5,98	7,45	7,7	7,55	7,2
КН-15	9,3	6,02	7,66	6,94	7,75	7,02

Рисунок 6 – Середній бал групи для певної категорії дисциплін

На рисунку 7 показані графічні результати розрахунку середнього балу навчання. Як видно з графіків, дисципліни гуманітарної та соціальної спрямованості засвоюються легше.

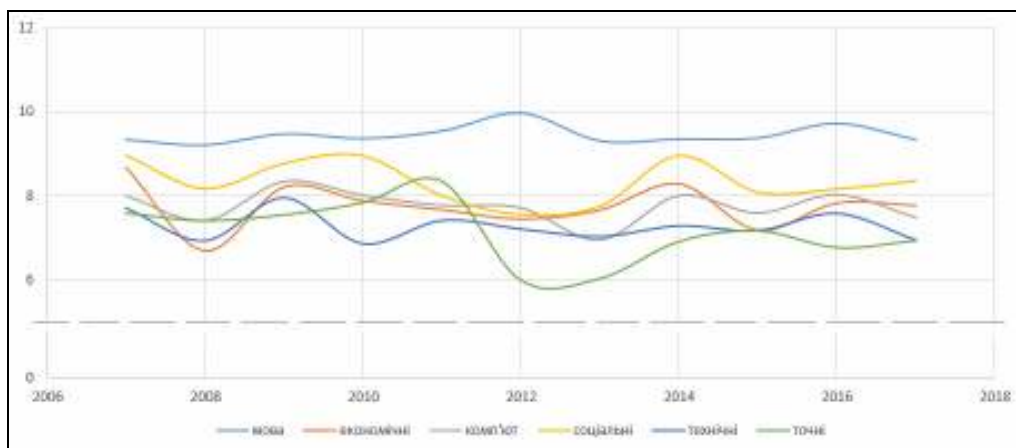


Рисунок 7 – Середній бал кожного студента для певної категорії дисциплін

Аналіз кривих успішності (Рисунок 7) свідчить, що всі дисципліни, які вивчаються, студентами з проблемами слуху засвоюються прийнятно.

Як приклад, наведені дані успішності з дисциплін «Організація баз даних та знань» (спеціальна дисципліна) і «Філософія» (соціальна, або гуманітарна) у розрізі «Кількість студентів» - «Оцінка». Згідно за 12-тибальною системою оцінювання знань студентів, представлені оцінки за групами «задовільно» (4-6 балів.), «добре» (7-9 балів), «відмінно» (10-12 балів). На Рисунку 8 надано графічне зображення розподілу кількості студентів за оцінками по 12-тибальній шкалі (вісь абсцис – оцінка, вісь ординат – кількість студентів). Кількість студентів з оцінкою «8 – добре» є максимальною для дисципліни «Філософія», а кількість студентів з оцінкою «6 – задовільно» є максимальною для дисципліни «Організація баз даних та знань» за весь період дослідження.

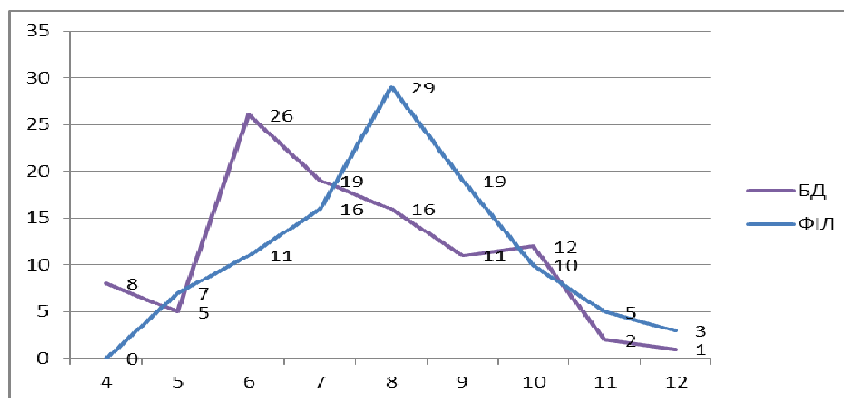


Рисунок 8 – Розподіл кількості студентів за оцінками

Таким чином продемонстровано, що навчання з гуманітарної дисципліни трохи легше, ніж спеціальної, але не суттєво.

В роботі було розглянуто питання засвоювання спеціальної дисципліни студентами різних курсів. Включно до 2013 року дисципліна «Організація та

ведення баз даних» викладалася студентам 4-го курсу. У зв'язку із змінами у структурі навчального процесу її навчання перенесено на 2-й курс. Аналіз показав, що на четвертому курсі студентам легше опанувати цю дисципліну, ніж на другому, середній бал становить 7.53 та 6,72 бали відповідно.

Було висунуто припущення, що кількість студентів в групі і якість освіти за дисциплінами пов'язані між собою. Однак це припущення не підтвердилося, що показав коефіцієнт кореляції, який дорівнює 0,4.

Уявляє інтерес прогнозування якості освіти упродовж часу. На рисунку 9 показано лінію тренду, яка може характеризувати якість освіти протягом часу.

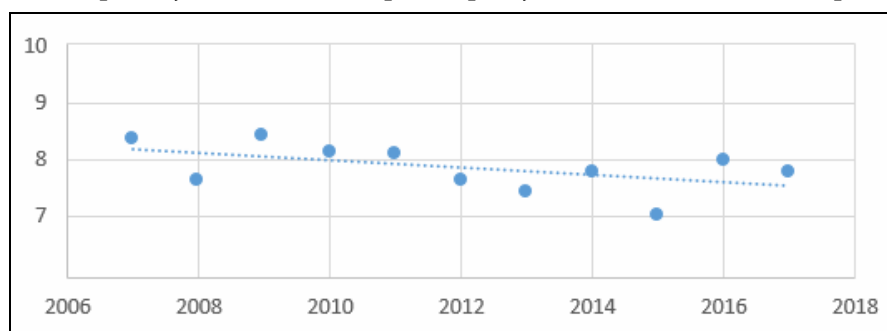


Рисунок 9 – Тенденція якості успішності

Для груп, надходження яких лежить в інтервалі 2007-2015рр., простежується незначна тенденція в зниженні якості засвоєння матеріалу, що наочно демонструє лінія тренду. Це можна пояснити різними факторами: зниженням рівня знань у випускників середніх шкіл, відсутністю стабільності в повсякденному житті, спробами поєднати навчання і вимушений підробіток студентів.

**Висновки.** Проведено дослідження якості успішності студентів з проблемами слуху, які навчалися за спеціальністю «Комп'ютерні науки». Було оброблено інформацію десятирічного періоду. Отримано ряд показників, які дозволяють сформулювати ряд припущень стосовно доцільності навчання у вузах студентів з означеними вадами, а саме:

- навчання даної категорії студентів у вузі й отримання ними вищої освіти цілком можливе, про що свідчать показники оцінок, отриманих студентами в процесі навчання протягом більш ніж десятирічного терміну;
- дисципліни гуманітарної та соціологічної спрямованості засвоюються студентами легше, ніж предмети точного, комп'ютерного та технічного напрямків;
- якість навчання практично не залежить від кількості студентів, якщо мова йде про кількість від 5 до 15 учнів у групі.

Аналіз даних, який проведено, підтвердив ефективність та доцільність отримання вищої освіти студентами з проблемами слуху.

В подальших дослідженнях має сенс оцінити також і вплив соціальних і особистих факторів на якість навчання здобувачів освіти означеної категорії.

#### **ЛІТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА**

1. Шевченко В.О. Прогнозирование успеваемости студентов на основе методов кластерного анализа //Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2015. – Вып. 68. – С.15-18
2. Махмутова Л.Р. Факторы влияния на успеваемость студентов в вузе// Организация работы с молодежью. – 2018. – № 1;  
URL: <http://ovv.esrae.ru/282-1208>
3. Прогнозная модель для оценки успеваемости студентов университета по итогам текущего обучения: магистерская диссертация / П.А.Зяблецев; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Инженерная школа информационных технологий и робототехники (ИШИТР), Отделение информационных технологий (ОИТ); науч. рук. Е. И. Губин Е. И. - Томск, 2020; URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/61074>
4. Нейман Л. В. Анатомия, физиология органов слуха и речи : учебник для студентов высших учебных заведений / Л. В. Нейман, М. Р. Богомильский ; под ред. В. И. Селиверстова. — М. : Владос, 2001. — 224 с.
5. Suad A. Alasadi and Wesam S. Bhaya, 2017. Review of Data Preprocessing Techniques in Data Mining. Journal of Engineering and Applied Sciences, 12: 4102 — 4107. DOI: 10.36478 / jeasci.2017.4102.4107  
URL: <https://medwelljournals.com/abstract/?doi=jeasci.2017.4102.4107>

#### **REFERENCES**

1. Shevchenko V.O. Prognozirovanie uspevaemosti studentov na osnove metodov klaster'nogo analiza //Vestnik KHNADU: sb. науч. тр. – 2015. – Вып. 68. – С.15-18
2. Makhmutova L.R. Faktory vliyaniya na uspevaemost' studentov v vuze// Organizaciya raboty s molodezh'yu. – 2018. – № 1;  
URL: <http://ovv.esrae.ru/282-1208>
3. Prognoznaya model' dlya ocenki uspevaemosti studentov universiteta po itogam tekushchego obucheniya: masterskaya dissertatsiya / P.A.Zyablecev; Nacional'nyy issledovatel'skij Tomskij politekhnicheskij universitet (TPU), Inzhener'naya shkola informacionnykh tekhnologij i robototekhniki (ISHITR), Otdelenie informacionnykh tekhnologij (OIT); науч. ruk. E.I. Gubin E.I. - Tomsk, 2020;  
URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/61074>

4. Nejman L.V. Anatomiya, fiziologiya organov slukhu i rechi : uchebnik dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedenij / L. V. Nejman, M. P. Bogomil's'kij ; pod red. V. I. Seliverstova. — M. : Vldos, 2001. — 224 c.

5. Suad A. Alasadi and Wesam S. Bhaya, 2017. Review of Data Preprocessing Techniques in Data Mining. Journal of Engineering and Applied Sciences, 12: 4102 — 4107. DOI: 10.36478 / jeasci.2017.4102.4107

URL: <https://medwelljournals.com/abstract/?doi=jeasci.2017.4102.4107>

Received 11.01.2021.

Accepted 15.01.2021.

### **Исследование успеваемости студентов с проблемами слуха**

*Приведены результаты исследования общих показателей и успеваемости студентов с проблемами слуха. Проведены сбор и обработка информации по обучению студентов в Национальной Металлургической академии Украины по специальности «Компьютерные науки» за десять лет. Выполнен анализ приоритетности дисциплин в их освоении. Подтверждена эффективность и целесообразность получения высшего образования студентами с проблемами слуха.*

### **Research on student performance with hearing problems**

*The aim of the work is to experimentally confirm the effectiveness and expediency of obtaining higher education by hearing problems students, to predict the indicators of the learning process.*

*Research of general indicators and student performance of the Regional Center for Education of Disabled People of the National Metallurgical Academy of Ukraine was carried out. This is the only educational institution of the IV level of accreditation in Ukraine, where students with hearing problems receive education, so the work is relevant.*

*A study student performance of students with hearing problems in the specialty "Computer Science" was carried out. The collection and processing of information on teaching students with hearing problems for 2007-2018 was carried out. Designed and developed a relational database based on PHP and MySQL.*

*The study of academic performance was carried out taking into account the indicators of the quality of education, both separately for groups in each course, and for all groups in general.*

*The analysis student performance of the priority of disciplines is carried out. The unification of disciplines by 6 categories is proposed: languages, exact sciences, computer science, technical sciences, economic sciences, socio-political. It has been proven that all categories of disciplines are assimilated by hearing problems students, but humanities are easier to assimilate.*

*The results of student performance forecasting over time are presented. It is shown that during the research period during 2007-2018, the level of quality of education slightly decreased.*

*The analysis of the ability of students with hearing problems to successfully complete their studies and receive a bachelor's degree was carried out.*

«Системні технології» 1 (132) 2021 «System technologies»

*The effectiveness and expediency of obtaining higher education for students with hearing problems has been confirmed.*

**Дорош Наталія Леонідівна** - канд. техн. н., доцент, кафедра інформаційних технологій і систем, Національна металургійна академія України.

**Астіон Юлія Володимирівна** - студентка – магістр, кафедра інформаційних технологій і систем, Національна металургійна академія України.

**Петречук Ліна Миколаївна** - старший викладач, кафедра прикладної математики та обчислювальної техніки, Національна металургійна академія України.

**Дорош Наталия Леонидовна** - канд. техн. н., доцент, кафедра информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины.

**Астион Юлия Владимировна** - студентка - магистр, кафедра информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины.

**Петречук Лина Николаевна** - старший преподаватель, кафедра прикладной математики и вычислительной техники, Национальная металлургическая академия Украины.

**Dorosh Nataliia** - associate professor, department of Information Technologies and sSystems, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

**Astion Yuliia** - master, department of Information Technologies and sSystems, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

**Petrechuk Lina** - senior teacher, department of Applied Mathematics and Computing Engineering, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

## ОПТИМІЗАЦІЯ МАРШРУТУ ОБРОБЛЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ЗАГОТОВКИ ЗА КРИТЕРІЄМ ОДНОРІДНОСТІ СТРУКТУРИ МАТЕРІАЛУ

*Анотація. Проаналізовано взаємозв'язки технологічного забезпечення життєвих циклів машинобудівних виробів. Описано методику вибору маршруту оброблення поверхонь деталей машин для об'єктно-орієнтованих технологічних процесів за критерієм розрахункового уточнення. Визначено множину відправних характеристик якості виробу для визначення граничного параметра технологічної операції для його функціональних поверхонь. Відзначено складнощі врахування експлуатаційних характеристик на різних рівнях досліджень при розробленні об'єктно-орієнтованих технологічних процесів. Обґрунтовано доцільність розроблення функціонально-орієнтованих технологій машинобудівного виробництва з позиції технологічного успадковування властивостей деталей машин. Представлено метод LM-твердості, що застосовується для вибору раціонального маршруту оброблення функціональних поверхонь виробу. Описано технологічне забезпечення реалізації експериментальних досліджень. Проаналізовано результати експериментальних досліджень та встановлено раціональний варіант маршруту оброблення плоскої заготовки із алюмінієвого сплаву. Намічено шляхи подальших досліджень.*

*Ключові слова: технологічний маршрут, життєвий цикл виробу, об'єктно-орієнтований технологічний процес, функціонально-орієнтований технологічний процес, технологічне успадковування, пошкоджуваність, заготовка, метод LM-твердості, гомогенність, коефіцієнт гомогенності Вейбулла*

**Постановка проблеми.** Для сучасного машинобудування працездатність механічного оброблення знижується за рахунок максимального наближення форм заготовок до форм деталей, зростання рівня механізації та автоматизації технологічних процесів (ТП), ступеня оснащеності та довговічності технологічного обладнання, інтенсифікації режимів оброблення, проте зростає при жорсткіших вимогах до точності оброблення, мікротопології поверхні виробів, їх експлуатаційних характеристик і показників надійності [1-2].

Фактор часу є універсальною одиницею контролю технологічних параметрів виробів, що визначають їх ресурс [3]. Фактичний ресурс узгоджується з раціональним терміном служби виробу для оптимізації сумар-

них витрат стосовно забезпечення працездатності на важливих етапах і стадіях його життєвого циклу [1-3].

Технологічне забезпечення ресурсу виробу пов'язане із конструкторсько-технологічною підготовкою виробництва (раціональний вибір конструктивних схем і матеріалів, досконалість розрахунків із врахуванням усіх впливів під час експлуатації деталей і машин, оптимізація режимів оброблення на сучасних металорізальних верстатах із застосуванням прогресивного інструменту) та його виготовленням (ретельний контроль матеріалів комплектуючих, високий рівень організації та контролю ТП виготовлення деталей і складання машин, належні випробування окремих елементів, вузлів і агрегатів тощо). Усунення технологічних дефектів при випробуваннях, дотримання термінів технічного обслуговування та ремонтів мінімізують виникнення відмов на стадії експлуатації виробів [3, 4].

Технологічне забезпечення регламентованих параметрів якості машинобудівних виробів потрібно здійснювати для усіх ланок технологічного ланцюжка заготовка-деталь за допомогою критеріїв комплексної оцінки деградації матеріалу виробу [5, 6].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для об'єктно-орієнтованих технологічних процесів раціональна структура маршруту оброблення виконавчої поверхні виробу забезпечується множиною методів оброблення із дотриманням регламентованих вимог до точності та якості поверхневого шару при мінімальній технологічній собівартості. Методи оброблення вибирають з урахуванням способу отримання, габаритних розмірів та точності заготовки, властивостей матеріалу, технічного стану технологічного обладнання тощо. Об'єктно-орієнтований технологічний процес формується із сукупності технологічних маршрутів оброблення виконавчих поверхонь деталі [7].

У практиці машинобудування застосовують два варіанти вибору раціонального маршруту оброблення поверхонь виробу [8].

Перший варіант базується на забезпеченні технічних вимог щодо точності та якості виконавчих поверхонь із використанням типових планів їх обробки. Такий спосіб вибору маршруту оброблення виконавчих поверхонь є укрупненим, вимагає високої кваліфікації технолога та не враховує умови подальшої експлуатації для конкретного виробу [8].

Розрахунковий метод визначення маршруту оброблення поверхонь ґрунтується на обчисленні загального уточнення  $\varepsilon$ . Можливі методи оброблення поверхонь встановлюють за коефіцієнтом уточнення  $\varepsilon_{yi}$  [8]:

$$\varepsilon_{yi} = [TOP_{i-1}] / [TOP_i], \quad (1)$$

де  $[TOP_{i-1}]$ ,  $[TOP_i]$  – значення лімітуючого параметра технологічної операції для визначеної функціональної поверхні виробу відповідно на попередньому та поточному технологічному переході.

Визначена  $i$ -та функціональна поверхня виробу  $FS_i$  визначається множиною параметрів якості: точністю оброблення, геометричними (відхиленнями форми та взаємного розташування поверхонь, хвилястістю, показниками шорсткості та субмікрошорсткості) і фізико-механічними параметрами якості поверхневого шару:

$$FS_i = \left. \begin{array}{l} \{TOP_{i1}^{as} \dots TOP_{in}^{as}\} \rightarrow [TOP_i^{as}] \\ \{TOP_{i1}^{gp\_macro} \dots TOP_{im}^{gp\_macro}\} \rightarrow [TOP_i^{gp\_macro}] \\ \{TOP_{i1}^{gp\_wav} \dots TOP_{ik}^{gp\_wav}\} \rightarrow [TOP_i^{gp\_wav}] \\ \{TOP_{i1}^{gp\_micro} \dots TOP_{il}^{gp\_micro}\} \rightarrow [TOP_i^{gp\_micro}] \\ \{TOP_{i1}^{gp\_submicro} \dots TOP_{ip}^{gp\_submicro}\} \rightarrow [TOP_i^{gp\_submicro}] \\ \{TOP_{i1}^{fp} \dots TOP_{ir}^{fp}\} \rightarrow [TOP_i^{fp}] \end{array} \right\}, \quad (2)$$

де  $\{TOP_{i1}^{as} \dots TOP_{in}^{as}\}$ ,  $\{TOP_{i1}^{gp\_macro} \dots TOP_{im}^{gp\_macro}\}$ ,  
 $\{TOP_{i1}^{gp\_wav} \dots TOP_{ik}^{gp\_wav}\}$ ,  $\{TOP_{i1}^{gp\_micro} \dots TOP_{il}^{gp\_micro}\}$ ,  
 $\{TOP_{i1}^{gp\_submicro} \dots TOP_{ip}^{gp\_submicro}\}$ ,  $\{TOP_{i1}^{fp} \dots TOP_{ir}^{fp}\}$  – сукупність відповідно  $n$  параметрів точності,  $m$  параметрів відхилення форми та взаємного розташування поверхонь,  $k$  параметрів хвилястості,  $l$  параметрів шорсткості,  $p$  параметрів субмікрошорсткості,  $r$  фізико-механічних параметрів якості поверхневого шару, що забезпечуються для  $i$ -тої функціональної поверхні;  $[TOP_i^{as}]$ ,  $[TOP_i^{gp\_macro}]$ ,  $[TOP_i^{gp\_wav}]$ ,  $[TOP_i^{gp\_micro}]$ ,  $[TOP_i^{gp\_submicro}]$ ,  $[TOP_i^{fp}]$  – граничні (лімітуючі) значення відповідно показників точності, відхилення форми та взаємного розташування поверхонь, хвилястості, шорсткості, субмікрошорсткості, фізико-механічних параметрів якості поверхні.

Значення граничного параметра технологічної операції для визначеної функціональної поверхні виробу вибирають із сукупності лімітуючих значень параметрів якості:

$$\left. \begin{array}{l} [TOP_i^{as}], [TOP_i^{gp\_macro}], [TOP_i^{gp\_wav}], [TOP_i^{gp\_micro}], \\ [TOP_i^{gp\_submicro}], [TOP_i^{fp}] \end{array} \right\} \rightarrow [TOP_i] \quad (3)$$

У машинобудівній практиці найчастіше критеріями оцінки розрахункового уточнення є забезпечувана точність оброблення або шорсткість обробленої виконавчої поверхні [8]:

$$\varepsilon_{yi} = T_{i-1}/T_i, \quad (4)$$

$$\varepsilon_{yi} = Ra(Rz)_{i-1}/Ra(Rz)_i, \quad (5)$$

де  $T_{i-1}$ ,  $Ra(Rz)_{i-1}$  – відповідно допуск забезпечуваного розміру та параметри шорсткості поверхні  $Ra$  або  $Rz$  на попередньому технологічному переході;  $T_i$ ,  $Ra(Rz)_i$  – відповідно допуск забезпечуваного розміру та параметри шорсткості поверхні  $Ra$  або  $Rz$  на поточному технологічному переході.

Кількість методів технологічних обробок  $m$  розраховують за формулою [8]:

$$m = \lg(\varepsilon_p)/0.46 \quad (6)$$

де  $\varepsilon_p$  – розрахункове уточнення.

Розрахункове уточнення  $\varepsilon_p$  обчислюють залежно від граничного критерію за формулами [8]:

$$\varepsilon_p = T_{заг.}/T_{дет.}, \quad (7)$$

$$\varepsilon_p = Ra(Rz)_{заг.}/Ra(Rz)_{дет.}, \quad (8)$$

де  $T_{заг.}$ ,  $Ra(Rz)_{заг.}$  – відповідно допуск і шорсткість поверхні заготовки за параметром  $Ra(Rz)$ ;  $T_{дет.}$ ,  $Ra(Rz)_{дет.}$  – відповідно допуск і шорсткість поверхні деталі за параметром  $Ra(Rz)$ .

Проте визначена кількість методів обробки функціональної поверхні виробу раціонально забезпечуватиме регламентовані параметри його якості за умови врахування на важливих етапах його життєвого циклу технологічного успадковування властивостей матеріалу у технологічному маршруті оброблення.

Великим недоліком проектування об'єктно-орієнтованих технологічних процесів виготовлення виробів є складність врахування в них експлуатаційних характеристик на різних рівнях досліджень [6, 7]. На етапі конструкторсько-технологічної підготовки машинобудівного виробництва реалізують множинну почергових взаємопов'язаних етапів структурно-параметричного синтезу на основі алгоритму прототипування [7]. З огляду на функціональні обов'язки конструктора технолог не може ефективно забезпечити необхідні експлуатаційні характеристики деталей зокрема і машин загалом у структурі технологічних процесів механічного оброблення та складання. Традиційні технологічні процеси виготовлення деталей та складання машин забезпечують, як правило, відповідно до технічних умов параметри якості поверхневого шару

та вимоги до точності без їх взаємозв'язку із експлуатаційними властивостями машини загалом або її деталей зокрема. Однак адаптування машини або її деталей до реальних умов експлуатації супроводжується підвищенням виробничих витрат, що суперечить пріоритетним критеріям об'єктно-орієнтованих технологій – технологічній собівартості та максимальній продуктивності [6, 7].

Для певної групи виробів є особливо важливим забезпечення експлуатаційних характеристик їх функціональних поверхонь з огляду на катастрофічні наслідки їх відмов в процесі експлуатації. Тому системний принцип забезпечення життєвого циклу таких деталей і машин вимагає врахування на етапі технологічної підготовки виробництва відповідно до експлуатаційних умов показники зносостійкості, втомної міцності тощо. Неспроможність реалізації потенціалу технолога у розробленні нового продукту та суттєве обмеження функцій конструкторсько-технологічної підготовки виробництва визначається опосередкованістю зв'язку етапів життєвого циклу виробу на підставі граничних умов [5-7].

Тому розроблення функціонально-орієнтованих технологій виготовлення виробів є важливим напрямком розвитку машинобудівного виробництва. Для прогресивних технологій виробничі впливи топологічно точно орієнтовані з необхідними параметрами тільки на функціонально-орієнтовані при експлуатації зони виробів, що забезпечуються на етапах і стадіях життєвих циклів деталей і машин [6, 7]. Поряд з тим [5, 6] технологічне успадковування властивостей матеріалу разом із впливами технологічного середовища необхідно враховувати при формуванні функціональних параметрів виробу відповідно до умов його подальшої експлуатації.

**Мета дослідження.** Метою даного дослідження є розроблення раціональних технологічних маршрутів оброблення функціональних поверхонь виробу з позиції технологічного успадковування його властивостей при проектуванні прогресивних технологій.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Технологічне забезпечення регламентованих параметрів якості машинобудівних виробів вимагає ґрунтовного аналізу причинно-успадкованих зв'язків, що описують еволюцію технологічного ланцюга відправна заготовка-готовий виріб. Необхідні експлуатаційні характеристики та прогнозований ресурс деталей машин залежить в першу чергу від умов формування властивостей їх матеріалу протягом стадії створення життєвих циклів виробів [9].

У машинобудівному виробництві виготовлення виробів здійснюється по черговим обробленням заготовок в умовах технологічних процесів металургійного, механічного, зварювального і механоскладального виробництва та технічного контролю [1-4, 9].

Кожний технологічний перехід, операція тощо вносить певні корективи не лише у формування властивостей матеріалу виробів і забезпечення точності їх оброблення та параметрів поверхневого шару, а й у зародження і розвиток технологічних дефектів, що можуть при несприятливих експлуатаційних умовах перероджуватися у технологічні пошкодження та спричиняти відмову деталей і машин [5, 6].

Відсутність узагальненого підходу до проектування раціональної структури технологічних процесів з урахуванням принципу технологічного успадкування властивостей виробу для забезпечення його експлуатаційних характеристик при дотриманні вимог конструкторсько-технологічної документації вимагає вдосконалення традиційних і розроблення нових технологічних процесів, зокрема функціонально-орієнтованих. Під функціонально-орієнтованою технологією розуміють технологічний процес, спрямований на забезпечення найефективніших експлуатаційних характеристик виробу із дотриманням призначених конструктором параметрів точності та якості поверхневого шару виробу [7]. Вирішення поставленого завдання можливе за рахунок як детального аналізу технологічного ланцюга відправна заготовка – готовий виріб з позиції технологічного успадкування властивостей, так і застосування автоматизованого керування виробничими процесами із використанням SADT-технологій [9]. При впровадженні функціонально-орієнтованих технологій інтенсифікуються роботи конструкторсько-технологічної підготовки виробництва на забезпечення максимального позитивного результату у ланцюгу замовник-виробник [7].

Сформовані на стадії створення виробу дефекти структури у машинобудівних матеріалах при несприятливих експлуатаційних умовах можуть перетворитися у технологічні пошкодження, які можна прогнозувати за допомогою математичного апарату механіки руйнування та механіки пошкодженого середовища [5, 6].

Під пошкоджуваністю розуміють процес різко вираженої та нерівномірної зміни геометричного стану поверхонь тертя, структури і властивостей поверхневих шарів. Пошкодження формується внаслідок результуючого деградуючого впливу пошкоджуваності, що проявляється у зміні структури, властивостей,

макрогеометричних характеристик і напруженого стану поверхневих шарів виробу під час його експлуатації [11].

Для механіки пошкодженого середовища справедлива математична залежність [12]:

$$\tilde{M} = M/(1 - D_M), \quad (9)$$

де  $M$ ,  $\tilde{M}$  – відповідно величини істинної та ефективною властивостей оброблюваного матеріалу виробу;  $D_M$  – кінетика накопичення пошкоджень (пошкоджуваність) для заданої властивості матеріалу деталі.

Встановлено [3, 4], що важливими параметрами вичерпання ресурсу матеріалу є процеси накопичення пошкоджень та деградації його фізико-механічних властивостей для характерних видів руйнування: на відрив –  $E$  та зріз –  $G$ . Параметром для аналізу еволюції деградації матеріалу для визначених умов експлуатації є пошкоджуваність матеріалу при осьовому навантаженні –  $D_\sigma$  та при зсуві –  $D_\tau$  [12]:

$$D_\sigma = 1 - \sqrt{\frac{\tilde{E}_i}{E_0}}, \quad (10)$$

$$D_\tau = 1 - \sqrt{\frac{\tilde{G}_i}{G_0}}. \quad (11)$$

Використання математичних залежностей (10), (11) у машинобудівній практиці вимагає спеціального вартісного обладнання та висококваліфікованого персоналу для забезпечення експериментальних досліджень, тому є складно реалізованим на підприємстві.

Поточний стан технологічної системи залежить від попереднього і визначається процесами успадкування властивостей, що описується диференціальними рівняннями виду [13]:

$$\begin{aligned} & \varphi^{(\gamma)} [O^{(\gamma)}(t), O^{(\gamma)}(t - \tau); \frac{dO^{(\gamma)}(t - \tau)}{dt}, \dots, \\ & \frac{d^i O^{(\gamma)}(t - \tau)}{dt^i}, \dots, \frac{d^n O^{(\gamma)}(t - \tau)}{dt^n}, \dots, \\ & \int_{t_1}^t O^{(\gamma)}(\xi) dG_1^{(\gamma)}(\xi, t), \dots, \int_{t_k}^t O^{(\gamma)}(\xi) dG_k^{(\gamma)}(\xi, t)] \end{aligned} \quad (12)$$

де  $\varphi^{(\gamma)}$ ,  $G_k^{(\gamma)}$  – деякі функції;  $S_F = \{O^{(1)}(t), O^{(2)}(t), \dots, O^{(n)}(t)\}$  – функціональний опис системи;  $O^{(l)} = O^{(l)}(b, c, d, \dots)$  – виходи системи;  $(b, c, d, \dots)$  – її входи.

Загальні закони організації та розвитку систем в межах синергетичного підходу підлягають системному функціонально-морфологічно-інформаційному аналізу, на підставі дослідження взаемозв'язків і взаємовпливів функціонального, морфологічного та інформаційного опису [13, 14].

Функціональні процеси у системі безпосередньо пов'язані із інформаційними, при цьому джерелом інформації для її функціонування є внутрішній ресурс і середовище, а носієм – речовина (морфологічна інформація) та енергія. Внутрішня енергія характеризує еволюцію, цілі та діяльність системи [13, 14].

В рамках синергетичного підходу для опису технологічного успадкування властивостей виробів на етапах і стадіях їх життєвих циклів визначається обмежена кількість алгоритмів їх функціонування для автоматизованого забезпечення експлуатаційних характеристик і регламентованих параметрів якості продукту [9, 15]. Це зумовлює вибір узагальнених критеріїв оцінки деградації властивостей матеріалу для аналізу технологічних параметрів при виготовленні деталей машин.

Моніторинг технічного стану елементів парових турбін за залишковим ресурсом із обов'язковим розрахунком конструкції за допустимими напруженнями здійснено у [16].

Авторами [16] скоректовано відомі постулати та запропоновано простішу та надійну, на їх погляд, методику визначення коефіцієнта запасу за граничним рівнем пошкоджуваності матеріалу. Однак у зв'язку із відсутністю достовірних математичних моделей, що описують кінетику накопичення пошкоджень і їх граничних значень, вони змушені були обмежитися визначенням коефіцієнтів запасу за сумарним граничним пошкодженням при повзучості (за часом до руйнування) і малоцикловій втомі (за кількістю циклів), використовуючи при цьому лінійне сумування пошкоджень.

Відомо, що рівень експлуатаційної напруженості деталей і конструкцій більшості машин обмежується коефіцієнтами безпеки, значення яких жорстко регламентуються. Зокрема значення коефіцієнтів безпеки для апаратури під тиском за границею текучості – 1.5-1.65; за границею міцності – 2.35-4.00. Очевидно, що рівень розрахункових напружень в 1.5 і більше разів нижче границі текучості [17].

Границі зерен, як нерівноважні дефекти, є місцем початку реалізації основних механізмів еволюції процесів деградації матеріалу [16]. Залежно від

відправної структури матеріалу, зокрема, розмірів зерен і умов навантаження, вклад зсувів по поверхні границь зерен, біля граничних і внутрішньо зеренних деформацій може змінюватися від 1 до 90 % повної деформації [17].

Цей факт дозволяє надати параметру пошкоджуваності конкретний фізичний зміст у вигляді відношення суми довжин пошкоджуваних границь зерен до довжини всіх границь у тому ж об'ємі матеріалу, а при одноосному розтягу (стиску) – до одиниці площі поперечного перерізу [18].

Способи оцінки ступеня пошкоджуваності матеріалу в умовах експлуатації за результатами прямих і непрямих вимірювань описано у [19, 20]. До числа найрезультативніших з неруйнівних методів відносять різновиди методу акустичної емісії та метод твердості.

На жаль, інформативні акустичні методи вимагають вартісного спеціального технічного забезпечення і складної процедури опрацювання результатів вимірювань, а метод твердості характеризується недостатньою інформативністю і низькою точністю, оскільки кореляція між значенням твердості матеріалу та його пошкоджуваністю у більшості випадків слабка і не завжди однозначна.

В зв'язку з цим, для обґрунтування вибору раціонального маршруту оброблення функціональних поверхонь виробу доцільно застосувати метод LM-твердості, розроблений під керівництвом академіка А.А. Лебедева [17]. Цей метод фізично обґрунтований і експериментально підтверджений при напрацюваннях в умовах короткотривалого та довготривалого навантаження [5, 6]. Згідно методу LM-твердості, деградаційні процеси у матеріалі в умовах експлуатації можна оцінювати за ступенем розсіювання механічних властивостей матеріалу, зокрема твердості, визначення якої у будь-якому об'ємі випробувань здійснюється без руйнування виробу на стандартному обладнанні [17].

Гомогенність, що оцінюється за коефіцієнтом Вейбулла ( $m$ ), служить параметром для інтегральної характеристики стану матеріалу під час опрацювання результатів вимірювань твердості [5, 6, 17]:

$$m = d(n)/(2.30259 \cdot S(\lg(H))), \quad (13)$$

де  $d(n)$  – параметр, що визначається кількістю вимірювань  $n$ ;

$$S(\lg(H)) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\lg(H_i) - \overline{\lg(H)})^2}, \quad (14)$$

$$\overline{\lg(H)} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \lg(H_i). \quad (15)$$

Оцінку деградації властивостей матеріалу виробу можна здійснювати також за коефіцієнтом варіації [17]:

$$v = (1/\bar{H}) \cdot \left( 1 / \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2} \right), \quad (16)$$

де  $\bar{H}$  – середнє значення твердості.

**Результати роботи та їх обґрунтування.** Для експериментальних досліджень використали заготовку із алюмінієвого сплаву АК21М2.5Н2.5 ГОСТ 1853-93 з габаритними розмірами 165x155x22 мм, відлиту у піщану форму. Із відправної заготовки пилою відрізано зразок для досліджень в розмір 22x155x22 мм. Для базування на координатний кут профрезеровано однократно три взаємно перпендикулярні сторони на вертикально-фрезерному верстаті кінцевою фрезою Ø 30 мм.

Верхню необроблену поверхню заготовки фрезерували по чергово на універсально-фрезерному верстаті мод. 676 кінцевою фрезою Ø 12 мм (z=2) за двома альтернативними технологічними маршрутами: заготовка – чорнове фрезерування – напівчистове фрезерування та заготовка – напівчистове фрезерування – чистове фрезерування. Режими різання: при чорновому фрезеруванні – В=2 мм, t=12 мм, S = 255 мм/хв, n=515 хв<sup>-1</sup>; при напівчистовому та чистовому фрезеруванні – В=2 мм, t=12 мм, S = 13 мм/хв, n=1050 хв<sup>-1</sup>.

Твердість заготовки вимірювали по чергово після кожного оброблення на приладі ТР-5006 ГОСТ 23677-79 по шкалі Н за допомогою кульки Ø 3.175 при навантаженні 588.4 Н і кількістю вимірюваних значень для кожного досліду n=30-35 (рис. 1).



Рисунок 1 - Заготовка після фрезерування та вимірювання твердості контрольованих поверхонь

Статистичне опрацювання результатів експериментальних досліджень здійснювали за формулами (13)-(15) у середовищі Mathcad.

Результати експериментальних даних щодо вибору раціонального маршруту оброблення заготовки-виливка з алюмінієвого сплаву за критерієм пошкоджуваності – коефіцієнтом гомогенності Вейбулла ( $m$ ) для двох серій дослідів приведено на рис. 2 (незаштриховані прямокутники відповідають

перерізам, ближчим до центру заготовки). Великим значенням коефіцієнта гомогенності Вейбулла ( $m$ ) відповідає низький рівень розсіювання характеристик твердості, тобто низький ступінь пошкоджуваності  $D$ ; меншим значенням, навпаки, вищий рівень розсіювання характеристик твердості і вищий ступінь пошкоджуваності  $D$ .

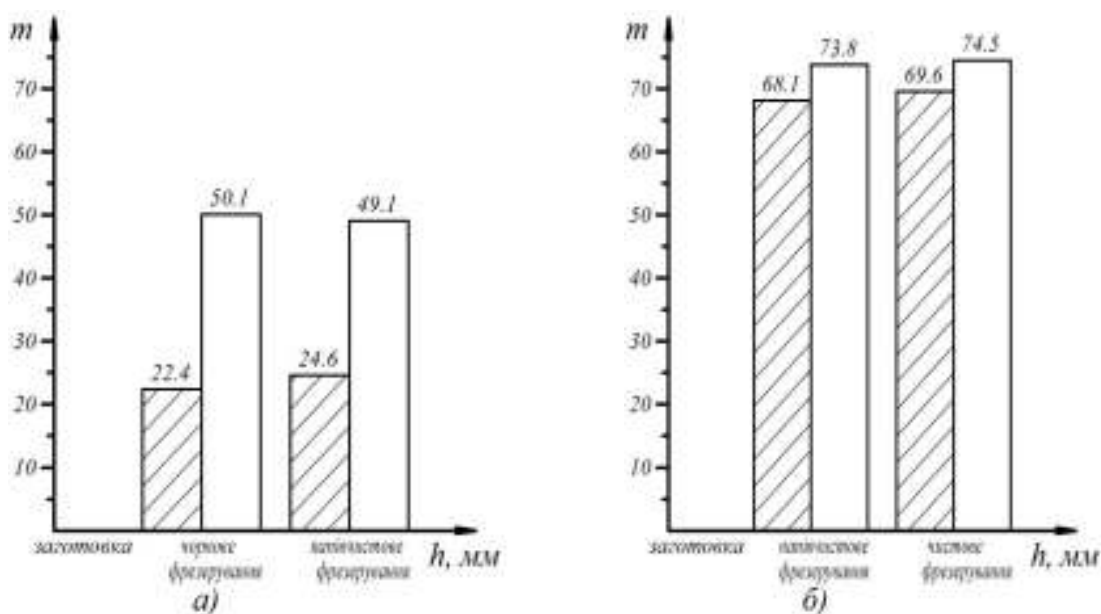


Рисунок 2 - Вибір раціонального маршруту оброблення плоскої поверхні вилівка у землю з алюмінієвого сплаву за коефіцієнтом гомогенності Вейбулла ( $m$ )

Для першого варіанту технологічного маршруту (заготовка – чорнове фрезерування – напівчистове фрезерування) (рис. 2,а) після почергових обробок на глибини  $h_1=2$  мм;  $h_2=4$  мм характерним є високий рівень розсіювання характеристик для двох серій дослідів, що свідчить про більшу схильність до пошкоджуваності матеріалу у деформаційній зоні обробленого шару заготовки внаслідок інтенсифікації процесу різання на чорнових режимах.

Аналіз результатів, отриманих для другого варіанту технологічного маршруту (заготовка – напівчистове фрезерування – чистове фрезерування) (рис. 2,б) після почергового оброблення на глибини  $h_1=2$  мм;  $h_2=4$  мм свідчить про загальну тенденцію до високої впорядкованості структури матеріалу з огляду на вищі значення коефіцієнтів гомогенності та їх незначні відхилення для двох серій дослідів порівняно з першим варіантом, що пов'язано із зменшенням технологічної пошкоджуваності матеріалу в зонах напівчистої і чистої фрезерної обробки.

Інтенсифікація силових навантажень при чорновій механічній обробці сприяє отриманню в заготовках градієнтної структури, підвищенню рівня розсіювання механічних характеристик та зростанню пошкоджуваності поверхневих шарів. Зменшення силових впливів процесу різання на напівчистових і чистових режимах знижує кількість структурних концентраторів напружень, що підвищує рівень однорідності структури та зменшує ступінь пошкоджуваності поверхні.

На підставі аналізу отриманих результатів можна зробити висновок, що технологічний маршрут оброблення площини: заготовка – напівчистове фрезерування – чистове фрезерування буде пріоритетнішим за технологічний маршрут: заготовка – чорнове фрезерування – напівчистове фрезерування з огляду на вищі значення коефіцієнтів гомогенності Вейбулла ( $m$ ) та суттєво менше розсіювання вимірних значень твердості для двох серій дослідів. У той же час продуктивність оброблення згідно другого варіанту є у 19,6 разів нижчою, ніж для першого.

**Висновки.** Розроблено методику раціонального вибору маршруту обробки поверхонь деталей при проектуванні технологічних процесів за ступенем розсіювання вимірювань твердості матеріалу виробів для альтернативних варіантів. Вперше застосовано метод LM-твердості для аналізу ступеня пошкоджуваності матеріалу виробу при формуванні оптимального поєднання методів обробки різанням для забезпечення параметрів якості деталей. Подальші дослідження пов'язані з використанням розробленої методики вибору шляху обробки поверхні машинних виробів для більш широкого асортименту матеріалів та адаптації її для сучасної машинобудівної галузі.

#### ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Проников А.С. Надежность машин – М. : Машиностроение, 1978. – 592 с.
2. Проников А.С. Параметрическая надежность машин / А.С. Проников. – М. : Изд.-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 560 с.
3. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
4. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций / В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
5. Kusiya Ya.M. Investigation of the technological damageability of castings at the stage of design and technological preparation of the machine Life Cycle / Ya.M. Kusiya, A.M. Kuk // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Volume 1426. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1426/1/012034/pdf>. doi:10.1088/1742-6596/1426/1/012034.

6. Kusiya Ya., Stupnytskyi V. Optimization of the Technological Process Based on Analysis of Technological Damageability of Casting / Ya. Kusiya, V. Stupnytskyi // *Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. Proceedings of the 3rd International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2020, June 9-12, 2020, Kharkiv, Ukraine.* – 2020. – Volume 1: *Manufacturing and Materials Engineering.* – P. 276-284.
7. Stupnytskyi V. Features of Functionally-Oriented Engineering Technologies in Concurrent Environment / V. Stupnytskyi // *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT).* / – 2013. – Vol. 2, Issue 9. – P. 1181-1186.
8. Технологія машинобудування: Посібник-довідник для виконання кваліфікаційних робіт: навч. посібник / [Юрчишин І. І., Литвиняк Я. М., Грицай І. Є. та інші]; за ред. І. І. Юрчишина. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009. – 528 с.
9. Технологические основы управления качеством машин / [Васильев А.С., Дальский А. М., Клименко С. А. и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. – 256 с.
10. Кусий Я. М. Технологічне успадкування властивостей при забезпеченні параметрів якості виробу в процесі його виготовлення / Я. М. Кусий // *Системні технології.* – 2019. – Т.5 № 124. – С. 171-184.
11. Закалов О.В. Основы тертя і зношування в машинах: навчальний посібник / О.В. Закалов, І.О. Закалов.–Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пуллюя,2011.– 322с.
12. Murakami S. Continuum Damage Mechanics – A Continuum Mechanics Approach to the Analysis of Damage and Fracture. / S. Murakami – Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 2012. – 402 p.
13. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. Введение в теорию диссипативных структур / В. Эбелинг, пер. с нем. А. С. Доброславского. – М.: Мир, 1979.- 279 с.
14. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Системотехника / В.В. Дружинин, Д.С. Конторов. – М.: Радио и связь, 1985. – 200 с.
15. Технологические и эксплуатационные методы обеспечения качества машин / [Альгин В. Б., Блюменштейн В. Ю., Васильев А. С. и др.]; под. общ. ред. П.А. Витязя. – Минск: Беларус. навука, 2010. – 109 с.
16. Обеспечение надежности и ресурса энергетических турбоагрегатов использованием системы диагностики вибраций и предупреждения нештатных ситуаций / Н.Г.Шульженко, Л.Д. Метелев, Ю.Г. Ефремов [и др.] // *Энергетика и электрификация.* – 2004.– № 5.– С. 41–43.
17. Лебедев А.А. Кинетика накопления рассеянных повреждений в поликристаллических материалах с разным размером зерна при малых деформациях // А.А. Лебедев, В.П. Ламашевский, Н.Р. Музыка [и др.] – *Проблемы прочности.* –

2011.– № 5. – С. 32-44.

18. Арутюнян Р. Проблемы деформационного старения и длительного разрушения в механике материалов – СПб: Изд-во СПб ун-та, 2004. – 252 с.

19. Дрозд М.С. Определение механических свойств металла без разрушения / М.С. Дрозд. – М: Металлургия, 1965. – 171 с.

20. Недосека А.Я. Основы расчета и диагностики сварных конструкций / Под ред. Б.Е. Патона. – К: Изд-во методической литературы и наглядных пособий, 1996. – 140 с.

#### REFERENCES

1. Pronikov A. S. Nadezhnost' mashin – М.: Mashinostroenie, 1978. – 592 p.

2. Pronikov A.S. Parametricheskaya nadezhnost' mashin / A.S. Pronikov. – М. : Izd.-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2002. – 560 s.

3. Bolotin V.V. Prognozirovaniye resursa mashin i konstrukcij / V.V. Bolotin. – М.: Mashinostroenie, 1984. – 312 s.

4. Bolotin V.V. Resurs mashin i konstrukcij – М.: Mashinostroenie, 1990. – 448 s.

5. Kusyi Ya.M. Investigation of the technological damageability of castings at the stage of design and technological preparation of the machine Life Cycle / Ya.M. Kusyi, , A.M. Kuk // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Volume 1426. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1426/1/012034/pdf>.

doi:10.1088/1742-6596/1426/1/012034.

6. Kusyi Ya., Stupnytskyy V. Optimization of the Technological Process Based on Analysis of Technological Damageability of Casting / Ya. Kusyi, V. Stupnytskyy // Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. Proceedings of the 3rd International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2020, June 9-12, 2020, Kharkiv, Ukraine. – 2020. – Volume 1: Manufacturing and Materials Engineering. – P. 276-284.

7. Stupnytskyy V. Features of Functionally-Oriented Engineering Technologies in Concurrent Environment / V. Stupnytskyy // International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). / – 2013. – Vol. 2, Issue 9. – P. 1181-1186.

8. Tekhnolohiia mashynobuduvannia: Posibnyk-dovidnyk dlia vykonannia kvalifikatsiinykh robot: navch. posibnyk / [Iurchyshyn I. I., Lytvyniak Ya. M., Hrytsai I.Ye.ta inshi]; za red. I.I. Yurchyshyna. – Lviv: Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu “Lvivska politekhnikha”, 2009. – 528 s.

9. Tehnologicheskie osnovy upravleniia kachestvom mashin / [Vasil'ev A. S., Dal'skii A. M., Klimenko S. A. et al.]. – М.: Mashinostroenie, 2003. – 256 p.

10. Kusyi Ya. M. Tekhnolohichne uspadkovuvannia vlastyvostei pry zabezpechenni parametriv yakosti vyrobu v protsesi yoho vyhotovlennia / Ya. M. Kusyi // Systemni tekhnolohii. – 2019. – T.5 № 124. – S. 171-184.

11. Zakalov O.V. Osnovy tertia i znoshuvannia v mashynakh: navchalnyi posibnyk /

- O.V. Zakalov, I.O. Zakalov.–Ternopil: Vydavnytstvo TNTU im. I.Puliuia, 2011.–322 s.
12. Murakami S. Continuum Damage Mechanics – A Continuum Mechanics Approach to the Analysis of Damage and Fracture. / S. Murakami – Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 2012. – 402 p.
13. Ebeling V. Obrazovanie struktur pri neobratimyh processah. Vvedenie v teoriyu dissipativnyh struktur / V. Ebeling, per. s nem. A. S. Dobroslavskogo. – M.: Mir, 1979.- 279 s.
14. Druzhinin V.V., Kontorov D.S. Sistemotekhnika / V.V. Druzhinin, D.S. Kontorov. – M.: Radio i svyaz', 1985. – 200 s.
15. Tekhnologicheskie i ekspluatacionnye metody obespecheniya kachestva mashin / [Al'gin V. B., Blyumenshtejn V. YU., Vasil'ev A. S. i dr.]; pod. obshch. red. P.A. Vityazyu. – Minsk: Belarus. navuka, 2010. – 109 s.
16. Obespechenie nadezhnosti i resursa energeticheskikh turboagregatov ispol'zovaniem sistemy diagnostiki vibracij i preduprezhdeniya neshtatnyh situacij / N.G.SHul'zhenko, L.D. Metelev, YU.G. Efremov [i dr.] // Energetika i elektrifikaciya. – 2004.– № 5.– S. 41–43.
17. Lebedev A.A. Kinetika nakopleniya rasseyannyh povrezhdenij v polikristallicheskih materialah s raznym razmerom zerna pri malyh deformacijah // A.A. Lebedev, V.P. Lamashevskij, N.R. Muzyka [i dr.] – Problemy prochnosti. – 2011.– № 5. – S. 32-44.
18. Arutyunyan R. Problemy deformacionnogo stareniya i dlitel'nogo razrusheniya v mekhanike materialov / R. Arutyunyan. – SPb: Izd-vo SPB un-ta, 2004. – 252 s.
19. Drozd M.S. Opredelenie mekhanicheskikh svojstv metalla bez razrusheniya / M.S. Drozd. – M: Metallurgiya, 1965. – 171 s.
20. Nedoseka A.YA. Osnovy rascheta i diagnostiki svarnyh konstrukcij / Pod red. B.E. Patona. – K: Izd-vo metodicheskoy literatury i naglyadnyh posobij, 1996. – 140 s.

Received 18.01.2021.

Accepted 19.01.2021.

***Оптимизация маршрута обработки поверхностей заготовки  
по критерию однородности структуры материала***

*Проанализированы взаимосвязи технологического обеспечения жизненных циклов машиностроительных изделий. Описана методика выбора маршрута обработки поверхностей деталей машин для объектно-ориентированных технологических процессов по критерию расчетного уточнения. Обоснована важность разработки функционально-ориентированных технологий с позиции технологического наследования свойств деталей машин. Аргументирована актуальность исследования процессов накопления повреждений и деградации материала для характерных видов разрушения изделий. Обоснована целесообразность синергетического подхода при анализе технических объектов и технологических систем. Представлен метод LM-твердости, применяемый для выбора рационального маршрута обработки функциональных поверхностей изделия. Описано технологическое обеспечение реализации экспериментальных исследований. Проанализиро-*

ваны результаты экспериментальных исследований и выбран рациональный вариант маршрута обработки плоской заготовки из алюминиевого сплава. Намечены пути дальнейших исследований.

**Optimization of the technological route of blank surfaces using criterion of homogeneity of material structure**

*The technological providing of the relationships between the resource of the mechanical engineering products and the characteristics of design and technological preparation of their Life Cycles is analyzed. The technique of selection of the surface treatment route of machine products is described for object-oriented technological processes using the criterion of design refinement. The set of initial characteristics of product quality to determine the limit parameter of the technological operation for its functional surface is determined. The problems to provide the performance characteristics at different levels of investigations during the development of object-oriented technological processes are argued. The goal of this research is development the technique of selection of the surfaces treatment route of machine products for technological processes planning. The expediency of developing of the functionally-oriented technologies from the position of technological inheritability of the machine parts properties is established. For modern technologies, production influences are topologically precisely oriented by means of the necessary parameters of products during their operational phase on functionally-oriented zones of product only. This is provided at the substages and stages of Life Cycles of Parts and Machines. The actuality of the study of the processes of damage accumulation and material degradation for the characteristic types of products destruction is argued. The expediency of a synergetic approach in the analysis of technical objects and technological systems is established. The LM-hardness method used to select a rational route for processing of the functional surfaces of the product have been considered. Technological support for the implementation of experimental researches is described. The results of experimental researches are analyzed. A rational variant of the route of processing a flat aluminum alloy blank is selected. Further research is related with using developed technique of selection of the surface treatment route of machine products for wider range of materials and adapting it for modern mechanical engineering industry.*

**Кусий Ярослав Маркіянович** – к.т.н., доцент, докторант кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Національного університету «Львівська політехніка».

**Кусый Ярослав Маркиянович** – к.т.н., доцент, докторант кафедры робототехники и интегрированных технологий машиностроения Национального университета «Львовская политехника».

**Kusyi Yaroslav** – PhD, associate professor, Doctoral Candidate of the Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies of Lviv Polytechnic National University (Ukraine).

## МОДЕЛЮВАННЯ ТОПОЛОГІЇ БЕЗДРОТОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ

*Анотація.* До числа основних проблем досліджень бездротових сенсорних мереж (БСМ) відносяться моделювання та управління топологією мережі з метою підвищення її зв'язності, а також маршрутизація з мінімальними часовими і енергетичними затратами. В роботі здійснено порівняння можливих топологій БСМ між собою та розглянуто статистику кінцевої затримки, пропускну здатності, завантаження. Результати вказують на те, що деревоподібна мережа має більшу пропускну здатність і кінцеву затримку. Крім того, згасання погіршує продуктивність мережі та накладні витрати на маршрутизацію. Зроблено висновок, що продуктивність мережі з топологією зірки прийнятна для малих мереж, тоді як на основі сітки найкраще підходить для мереж з великою кількістю мобільних вузлів.

*Ключові слова:* математична модель, топологія, бездротова передача, сенсорна мережа, енергомоніторинг, вузел.

**Постановка проблеми.** Відстань і час більше не є перешкодами, оскільки люди та речі тепер спілкуються між собою просто натисканням кнопки або управління жестами. Живі та неживі істоти, позначені невеликими електронними пристроями, які називаються сенсорними вузлами, обмінюються бездротовим зв'язком, передаючи сприйняті дані в найближчі або віддалені місця, де дані або інформація необхідні для подальшої обробки. Застосування цієї нової технології охоплює всі аспекти життя, такі як побутові, промислові, логістичні, авіаційні, медичні, виробничі. Цю нову парадигму називають Інтернетом речей (IoT) [1], основний матеріал якого становлять бездротові сенсорні мережі (БСМ). БСМ складається з крихітних сенсорних пристроїв, обмежених ресурсами, що називаються вузлами.

До числа основних проблем досліджень БСМ відносяться моделювання та управління топологією мережі з метою підвищення її зв'язності, а також маршрутизація з мінімальними часовими і енергетичними затратами [2, 3]. Під топологією БСМ зазвичай розуміють модель, що описує структуру зв'язків між елементами всередині мережі. Однак рішення даних проблем неможливо без

урахування станів зв'язку між вузлами. Відсутність ефективного підходу до оцінки різної взаємодії вузлів призводить до того, що теоретичні розрахунки за спрощеними моделям топології БСМ не співпадають з результатами експериментальних досліджень мереж.

**Аналіз останніх досліджень.** Вузлами в БСМ керує супервузол, який, у свою чергу, передає всі зібрані дані в місця, які можуть знаходитися в межах або повністю поза периметром мережі датчиків. Протоколом, який контролює та регулює функціонування БСМ, є стандарт IEEE 802.15.4 [2, 3]. Механізм надає вузлу негарантований спільний доступ до середовища передачі за допомогою суперкадру (див. рис. 1), який генерується координатором персональної мережі (PAN). Щоб досягти тривалого терміну експлуатації, обмежена потужність вузлів датчиків повинна бути обережно використана, оскільки вони в основному живляться автономно від батареї.

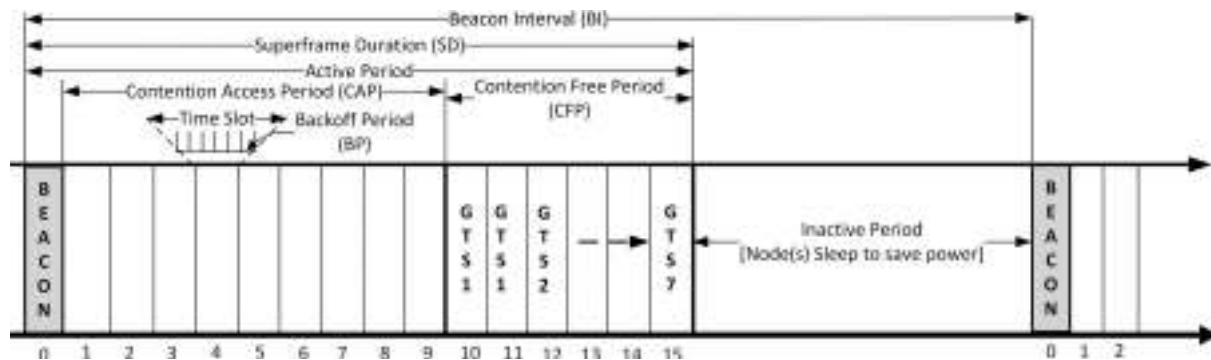


Рисунок 1 - Структура суперкадру IEEE 802.15.4

Вимога на обмеження енергоспоживання поширюється на сенсорний вузол і на конструкцію мережі. Наприклад, вибір зроблений на фізичному шарі сенсорного вузла впливає на енергоспоживання всього пристрою і конструкцію рівнів, розташованих вище. Топологія «зірка», при якій точка збору має стаціонарне живлення, а кінцеві вузли з автономним живленням доставляють їй пакети по прямому з'єднанню, є найбільш простою конфігурацією мережі, при цьому час безперебійної роботи кінцевих пристроїв максимальний. Недолік даної топології полягає в малій гнучкості і обмеженій сфері застосування. У найбільш загальному випадку мережа може мати багаточарункову топологію, в якій всі вузли є маршрутизаторами, що дозволяє будувати більш надійні та економічно розвинені системи. Але середнє енергоспоживання вузлів зростає, і його розрахунок ускладнюється. Термін служби елементів живлення вузла буде істотно залежати від його положення в топології мережі і напрямків проходження мережевого трафіку. Топологія «шина-зірка» є при-

кладом комбінованої архітектури БСМ і являє собою послідовне з'єднання ряду підмереж зі структурою «зірка». Такий варіант відрізняється високою масштабованістю і простотою супроводу, оскільки дозволяє додавати і видаляти пристрої без істотного впливу на інші елементи мережі. Однак при цьому вихід з ладу одного з ланок шини призведе до відмови у доступі до мережі всіх нижчестоящих вузлів. У мережі з архітектурою дерева передача даних і повідомлень управління через мережу здійснюється з використанням ієрархічної стратегії вибору маршруту і може проводитись під централізованим управлінням, для чого на фізичному рівні потрібно використовувати періодичні сигнали маяків від координаторів IEEE 802.15.4. Коміркові мережі використовують однорангові зв'язки, маршрутизація в таких мережах є децентралізованим, розподіленим по мережі процесом. Попередній порівняльний аналіз топології бездротових сенсорних мереж показав, що топологічна цілісність і гарантована якість обслуговування вузлів мережі потенційно досяжні тільки у двох топологіях – зірка і чарункова архітектура. При цьому топологія зірка дозволяє отримати гарантований час опитування вузлів мережі, а коміркова архітектура – високу живучість бездротової сенсорної мережі [4-7]. Необхідні подальші дослідження впливу топології БСМ на її зв'язність та маршрутизацію з метою мінімізації часових і енергетичних витрат.

**Метою даної роботи** є моделювання топології БСМ за критеріями, які враховують вимоги до пропускнув спроможності по лініях зв'язку з урахуванням внутрішніх перешкод.

**Викладення основного матеріалу.** Алгоритм моделювання топології мережі складається з наступних основних етапів:

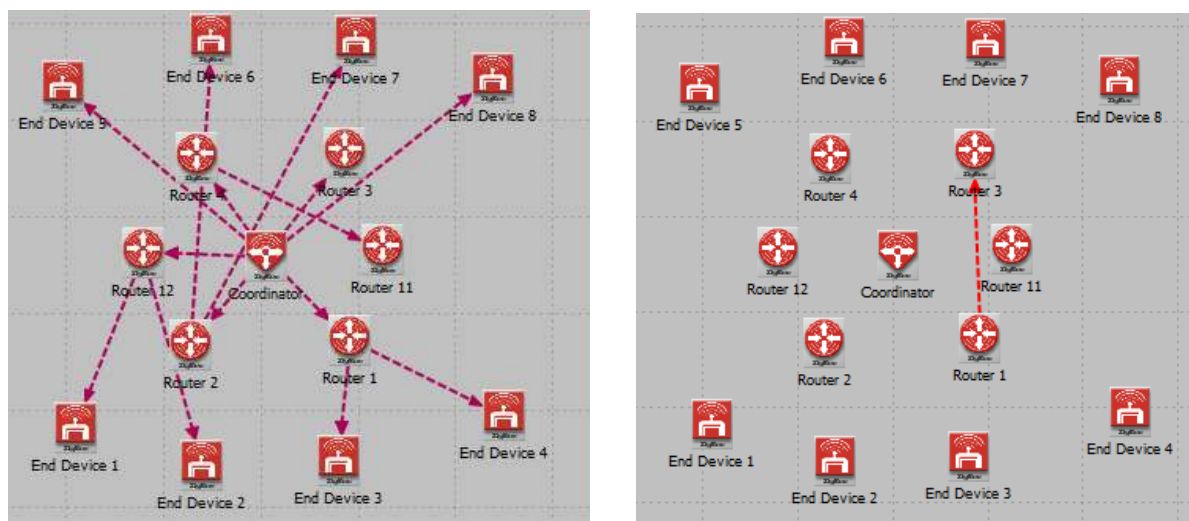
- Розрахунок відстаней між вузлами.
- Визначення радіуса зони радіозахвату (radio capture zone) передавача як можливого джерела перешкод.
- Розрахунок потужності сигналу з передавача  $j$ -го вузла, що оцінюється на вході приймача  $i$ -го вузла.
- У припущенні про наявність каналного шуму на рівні чутливості приймача визначаються значення енергетичних перевищень сигналу і сумарних перешкод над шумами в точках прийому по лініях зв'язку.
- Розрахунок значень коефіцієнта структурної взаємодії сигналу і сукупності перешкод.

- Розрахунок ймовірності бітової помилки з урахуванням статистичних характеристик ліній зв'язку між вузлами.

- Формування моделі топології мережі, зокрема встановлення зв'язків між вузлами, для яких виконується визначені критерії.

Для моделювання топології БСМ, в якості інструменту моделювання було використано Riverbed (OPNET) Modeler Academic Edition 17.5. Ця версія програми не тільки дозволяє розвивати надійну мережеву комунікацію та різні системні моделі, але також підтримує зв'язок між адміністратором, координатором РАН, маршрутизаторами та кінцевими пристроями. Під час моделювання маршрутизація сіток для топологій дерев та зірок була зроблена пасивною, але активною для топології сітки (рис.2). Час моделювання було встановлено на одну годину. Розмір пакетів даних, які слід надіслати, був визначений як 1024 байти, і ціль була обрана випадковим чином. Моделювання було проведено в Riverbed Modeler для вузлів датчиків для первинного збору інформації із свого оточення. Таким чином, датчики спілкувались один з одним, надсилаючи повідомлення один одному, і були отримані дані, необхідні для моделювання. Потім були відібрані загальні та об'єктні статистичні значення для подальшого використання при моделюванні, результати були записані та представлені у графічному форматі для інтерпретації.

На рис. 3. подано частину результатів проведеного моделювання, зокрема порівняльний аналіз топологій за пропускну здатністю та з урахуванням «ефекту стіни».



а) «дерево»

б) «сітка»

Рисунок 2 - OPNET-моделі різних топологій

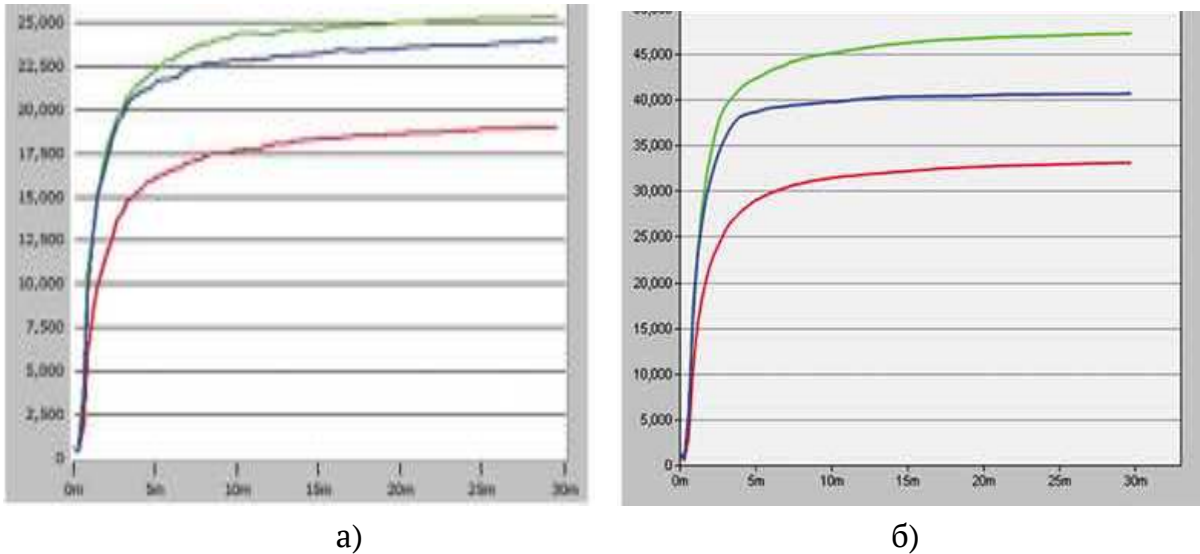


Рисунок 3 - Порівняльний аналіз топологій  
(синій – сітка, червоний – зірка, зелений – деревоподібна):  
а) за пропускну здатністю; б) з урахуванням ефекту стіни

**Висновки.** Для вивчення топологічних особливостей БСМ в роботі здійснено порівняння трьох можливих топологій (зірка, сітка та дерево) між собою та розглянуто статистику кінцевої затримки, пропускну здатності, завантаження. Результати вказують на те, що деревоподібна мережа має більшу пропускну здатність і кінцеву затримку, і збільшення кількості користувачів бездротового носія збільшує можливість падіння пакетів у мережах зірок. Результати моделювання показують, що згасання погіршує продуктивність мережі та накладні витрати на маршрутизацію. Зроблено висновок, що продуктивність на основі зірок прийнятна для малих мереж, тоді як на основі сітки найкраще підходить для мереж з великою кількістю мобільних вузлів.

#### ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Sobin C. A Survey on Architecture, Protocols and Challenges in IoT. *Wirel Pers Commun.* 2020; 112: 1383–1429. <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07108-5>.
2. Alahmadi H., Bouabdallah F. Multichannel preamble sampling MAC protocol for wireless sensor networks. *Int. J. Distrib. Sens. Networks.* 2019; 15: 155014771985095. <https://doi.org/10.1177/1550147719850951>.
3. Masud F., Abdullah A., Altameem A., Abdul-Salaam G., Muchtar F. Traffic Class Prioritization-Based Slotted-CSMA/CA for IEEE 802.15.4 MAC in Intra-WBANs. *Sensors.* 2019; 19: 466. <https://doi.org/10.3390/s19030466>.

4. Акимов Е.В., Кузнецов М.Н. Вероятностные математические модели для оценки надежности беспроводных сенсорных сетей // Труды МАИ. – 2010. – Вып. № 40. – 13 с.
5. Недев М.Д. Синхронизация времени в сенсорных сетях // Программные системы: теория и приложения. – 2011. – С. 71-83.
6. Chen B.D., Varshney P.K. (2004). QoS support in wireless sensor networks: A survey. Proc. of Intl. Conf. on Wireless Networks (ICWN '04), Las Vegas, Nevada, USA.
7. Sun G., Zhao L., Chen Z., Qiao G. Effective link interference model in topology control of wireless Ad hoc and sensor networks. Journal of Network and Computer Applications, 2015, vol. 52, pp. 69-78.

#### REFERENCES

1. Sobin C. A Survey on Architecture, Protocols and Challenges in IoT. Wirel Pers Commun. 2020; 112: 1383–1429. <https://doi.org/10.1007/s11277-020-07108-5>.
2. Alahmadi H., Bouabdallah F. Multichannel preamble sampling MAC protocol for wireless sensor networks. Int. J. Distrib. Sens. Networks. 2019; 15: 155014771985095. <https://doi.org/10.1177/1550147719850951>.
3. Masud F., Abdullah A., Altameem A., Abdul-Salaam G., Muchtar F. Traffic Class Prioritization-Based Slotted-CSMA/CA for IEEE 802.15.4 MAC in Intra-WBANs. Sensors. 2019; 19: 466. <https://doi.org/10.3390/s19030466>.
4. Akimov E.V. Sravnenie topologiy besprovodnykh sensornykh setey [Comparison of topologies of wireless sensor networks], Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologiy [Herald of Computer and Information Technologies], 2008, No. 8, pp. 240.
5. Nedev M.D. Sinkhronizatsiya vremeni v sensornykh setyakh [Time synchronization in sensor networks], Programmnye sistemy: teoriya i prilozheniya [Program Systems: Theory and Applications], 2011, pp. 71-83.
6. Chen B. D., Varshney, P. K. (2004). QoS support in wireless sensor networks: A survey. Proc. of Intl. Conf. on Wireless Networks (ICWN '04), Las Vegas, Nevada, USA.
7. Sun G., Zhao L., Chen Z., Qiao G. Effective link interference model in topology control of wireless Ad hoc and sensor networks. Journal of Network and Computer Applications, 2015, vol. 52, pp. 69-78.

Received 15.01.2021.

Accepted 19.01.2021.

#### **Моделирование топологии беспроводных сенсорных сетей**

*Основной проблемой исследований беспроводных сенсорных сетей (БСМ) является моделирование топологией сети. В работе проведено сравнение возможных топологий*

*беспроводных сенсорных сетей между собой и рассмотрены статистики конечной задержки, пропускной способности, загрузки. Результаты указывают на то, что древовидная сеть имеет большую пропускную способность и конечную задержку. Кроме того, угасание ухудшает производительность сети в конце задержки и накладные расходы на маршрутизацию. Сделан вывод, что производительность сети с топологией звезды приемлема для малых сетей, тогда как на основе сетки лучше всего подходит для сетей с большим количеством фиксированных и мобильных узлов.*

### ***Simulation of wireless sensor network topologies***

*Among the main problems of research of wireless sensor networks are modeling and management of network topology in order to increase its connectivity, as well as routing with minimal time and energy costs. The wireless sensor networks topology is usually understood as a model that describes the structure of connections between elements within a network. However, the solution of these problems is impossible without taking into account the states of communication between nodes. The lack of an effective approach to estimating the different interaction of nodes leads to the fact that theoretical calculations on simplified models of wireless sensor networks topology do not coincide with the results of experimental studies of networks. The paper compares the possible topologies of wireless sensor networks with each other. The network topology modeling algorithm consists of the following main stages: calculation of distances between nodes; the radius determining the radio capture zone of the transmitter as a possible source of interference; signal power calculation; values calculation of the structural interaction signal coefficient and the set of interferences; calculation of the probability of bit error taking into account the statistical characteristics of the communication lines between nodes; formation of a network topology model, in particular the establishment of connections between nodes for which certain criteria are met. The results indicate that the tree network has higher throughput. In addition, fading degrades network performance and routing overhead. It is concluded that the performance of a network with a star topology is acceptable for small networks, while a mesh network is best suited for networks with a large number of mobile nodes. The practical significance of the results obtained lies in the possibility of using the proposed approach to optimizing the topology of wireless sensor networks, as well as the developed software product when solving problems related to the design of the topology of wireless sensor networks.*

**Ковальова Юлія Вікторівна** – асистент кафедри безпеки інформації та телекомунікацій Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро).

**Ковальова Юлия Викторовна** – ассистент кафедры безопасности информации и телекоммуникаций Национального технического университета «Днепропетровская политехника» (г. Днепр).

**Kovalova Yuliia** – assistant of the Department of Information Security and Telecommunications, Dnipro University of Technology, Ukraine.

## ВИКОРИСТАННЯ АЛГОРИТМІВ РОЗГАЛУЖЕННЯ В MICROSOFT FORMS

*Анотація. Будь-яке навчання передбачає перевірку знань учнів після завершення курсу (теми). Тести, які побудовані за лінійним алгоритмом, легше скласти, але за різних причин вони не завжди задовільняють викладача. Тому у даній статті розглядається процес складання тестів з розгалуженням у середовищі MICROSOFT FORMS та надано декілька практичних рекомендацій.*

*Ключові слова: розгалуження в тестах, MICROSOFT FORMS, тестування.*

**Вступ.** Враховуючи світову тенденцію розвитку інформаційних технологій та запит суспільства на доповнення форм та методів навчання, ще декілька років тому постало питання щодо засобів, за допомогою яких можна реалізувати донесення знань до студентів та зворотній зв'язок [1]. Такі зміни потребують відповідних підходів до учнів, наприклад, у статті [2] було розглянуто застосування особистісно-діяльнісного підходу до навчання студентів у галузі ІТ. Однак вимушений перехід від традиційної (очної) форми навчання до дистанційної у зв'язку з карантинном, що був оголошений через розповсюдження коронавірусу COVID-19, виявив множину проблем, пов'язаних саме з таким видом діяльності. Насамперед, це неготовність як викладачів, так і студентів до таких змін. Умовно успішним сценарієм навчання можна вважати такий, коли у викладача та у всіх його учнів є комп'ютер (планшет або смартфон) з доступом до мережі Інтернет на швидкості, достатній для нормальної роботи всіх необхідних програм. У такому випадку з боку студента не буде виникати технічних проблем, але викладач, окрім технічних можливостей, повинен мати матеріал для проведення лекцій та практичних занять, а головне – повинен якимось чином оцінювати знання студентів.

Як виявилось, більшість викладачів не готові оцінювати знання студентів за допомогою тестів. Нижче наведено декілька причин, якими вони аргументують свою відмову від тестів:

- ✓ тести не відображають істинні знання студентів;
- ✓ відповіді на тестові завдання можна обрати навмання;

- ✓ студенти можуть списувати один у одного;
- ✓ потрібно витратити багато часу на складання тестів та на їх перевірку тощо.

Дійсно, робити індивідуальні варіанти практичних тестових завдань для кожного студента готовий далеко не кожен викладач, особливо якщо дисципліна викладається декільком десяткам студентів. Отже, в даній статті буде розглянуто процес складання тестів з використанням алгоритму розгалуження, який потенційно може виправити цю ситуацію.

**Основна частина.** Особливості складання тестів за лінійним алгоритмом у середовищі Microsoft Forms було розглянуто в статті [3]. Лінійний алгоритм передбачає появу всіх питань тесту одночасно і в цьому випадку для організації індивідуального тестування опитуваного викладачу потрібно скласти таку ж кількість варіантів, скільки студентів прийме участь в опитуванні (рис. 1). Тоді загальна кількість питань для тестування – це добуток кількості студентів, яких потрібно протестувати, та кількості рівнів тесту. Такий підхід не є зручним, оскільки в цьому випадку потрібно буде створити стільки ж посилань на відповідну сторінку тесту, скільки студентів буде проходити тест.

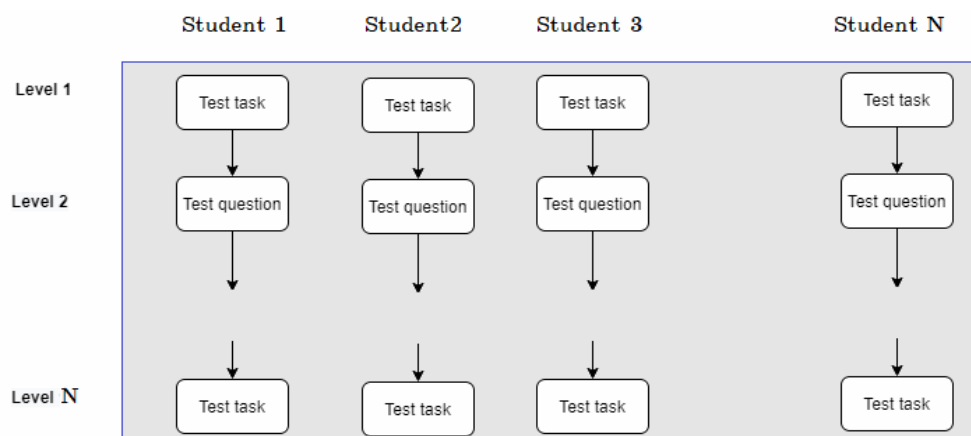


Рисунок 1 – Схема індивідуального тестування у випадку, коли тест складено за лінійним алгоритмом

Microsoft Forms дозволяє створювати тести з розгалуженням, де поява наступного питання залежить від відповіді опитуваного на поточне питання [4]. Для того, щоб додати розгалуження потрібно зробити питання активним та обрати опцію «Додаткові параметри для питання», яка знаходиться в правому нижньому куті питання у вигляді кнопки з трьома крапками (рис. 2). У переліку, що знаходиться в додаткових параметрах, слід обрати опцію «Додати відгалуження». В результаті такої дії до кожної відповіді даного питання можна об-

рати наступне, а саме: в опції «Перейти до» слід обрати потрібне питання з переліку (рис. 3).

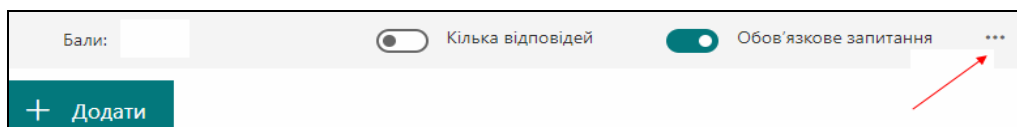


Рисунок 2 – Додаткові параметри для питання

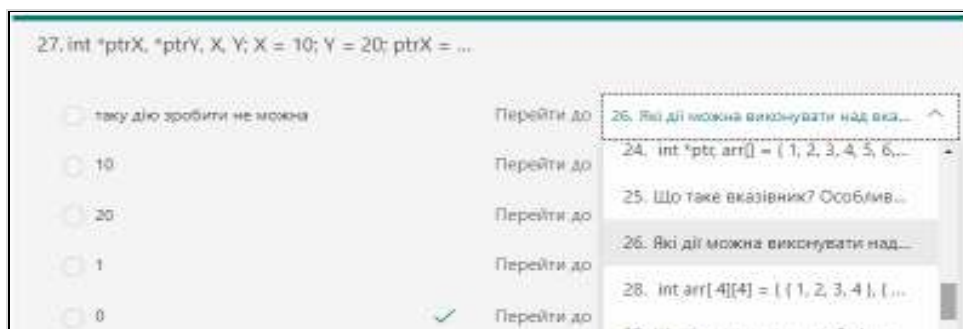


Рисунок 3 – Вибір наступного питання тесту, до якого потрібно перейти

В документації Microsoft [4] описано процес створення тестів з розгалуженням, але існують деякі нюанси, на які слід звернути увагу. По-перше, **перед початком складання тесту, його потрібно змодельовати**. У даному випадку під словом «модельовання» слід розуміти схему тесту, намальовану в якомусь графічному редакторі чи, навіть, рисунок на папері. Навіщо так ускладнювати процес складання тесту? Ні, це не ускладнення, а допомога, яка потрібна, щоб не заплутатися в питаннях, які потрібно використати. Приклад модельовання тесту з розгалуженням наведено на рис. 4.

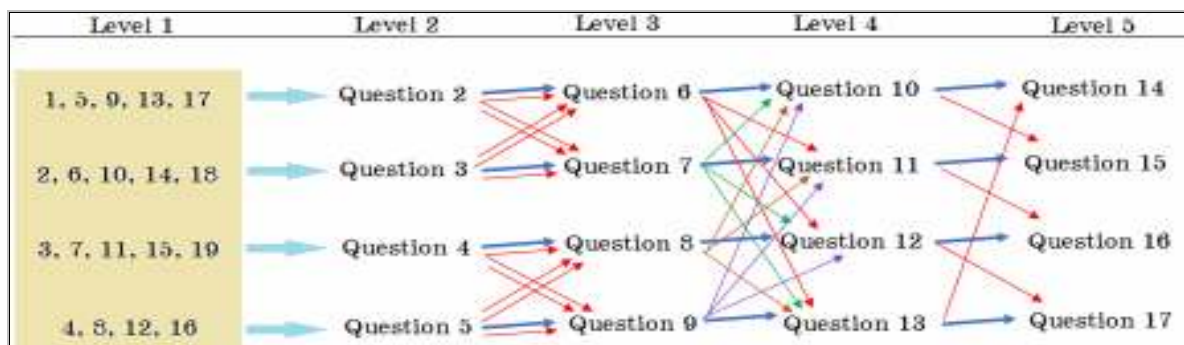


Рисунок 4 – Приклад модельовання тесту з розгалуженням

Враховуючи те, що кількість студентів у групах курсу, для якого відбувалося дане модельовання тесту, не перевищує 19, то на 1 рівні (для даного тесту) було зроблено початкове розгалуження на 4 варіанти. На даному рисунку показано різні моделі розгалуження. Так декілька відповідей на перше питання перекидають на одне й те саме питання другого рівня. І в цьому є головна особ-

ливість створення одного тесту з розгалуженням, який охоплює певну кількість початкових варіантів: **перше питання потрібно ставити таким, на кожну відповідь якого відповідь лише визначена викладачем кількість опитуваних.** Це можна організувати, якщо першим поставити питання, яке стосується не дисципліни, а, наприклад, таке: «Оберіть свій порядковий номер за списком в групі». Це питання переслідує дві цілі:

✓ задати початкову кількість варіантів розгалуження, про яку знає лише викладач, який створює цей тест, причому тести за різними темами можна робити з різною кількістю початкових варіантів, що значно зменшує бажання студентів до списування, особливо в умовах обмеженого часу прийому відповідей;

✓ перевірка того, що студент проходить тестування за своїм варіантом – це викладач бачить в статистиці відповідей на питання. Так з рис. 5 видно, що один зі студентів неправильно обрав свій варіант (7) та два студенти тест не проходили.

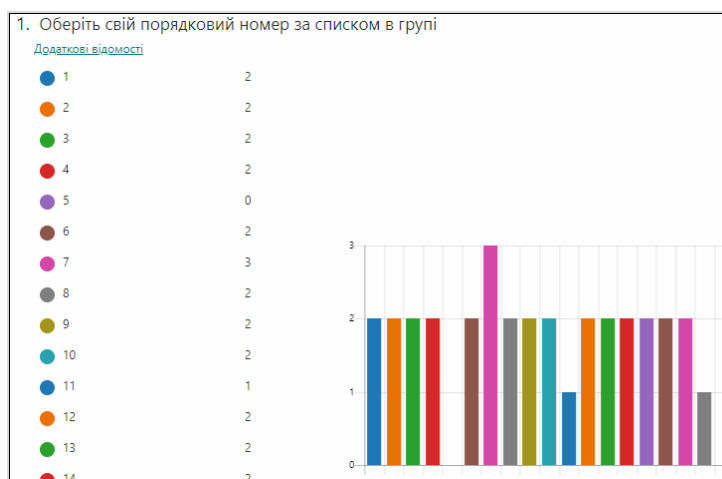


Рисунок 5 – Статистика поділу відповідей на питання

Зі збільшенням кількості початкових варіантів та кількості відповідей, буде збільшуватись кількість ліній переходу на наступне питання тесту. Якщо обрати на усі відповіді однаковий перехід на наступне питання, то в цьому випадку тест з розгалуженням не буде відрізнятися від тесту, що побудований за лінійним алгоритмом. У випадку, коли обирається варіант інтенсивного перемішування опитуваних (рис. 4, перехід між рівнями 3 та 4), то це потребує дуже великої уважності під час проставлення переходів на наступне питання. Отже, звідсіля впливає ще одна рекомендація по складанню тестів з розгалуженням: **проставляти переходи одразу після того, як були написані питання наступного рівня.** Такий підхід дозволить обмежити вибір номера наступного

питання, тим самим, значно зменшить кількість невимушених помилок розгалуження під час складання тесту.

Для того, щоб студенти не обирали відповідь навмання з тих, що надає викладач, можна використати питання з відкритою відповіддю (текстові поля). Оскільки на таке питання надається одна відповідь, то **можна використати лише один перехід на наступне питання** (рис. 6), тому складання тесту, який містить лише питання з відкритою відповіддю приводить до зміни розгалуженого алгоритму тесту на лінійний. Отже, в такому випадку точка розгалуження стає лише однозначним переходом на наступне питання і опитуваному будуть показані всі наступні питання тесту до питання, що містить точку розгалуження.

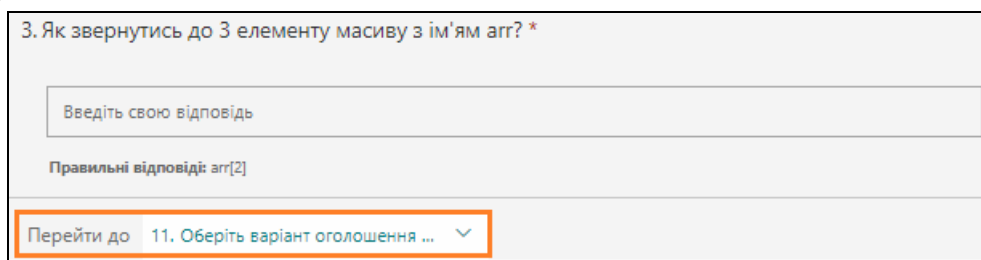


Рисунок 6 – Розгалуження в питаннях з відкритою відповіддю

Коли відбувається очне навчання, то для виявлення знань учнів викладач може застосувати усне опитування, тоді кожен учень, зазвичай, відповідає на різну кількість питань. Таку саму методику можна застосувати і під час організації тестів з розгалуженням: **кількість питань одного й того самого тесту може бути різна**. Той, хто відповідає правильно на всі питання – проходить мінімальну кількість питань, яка відповідає кількості рівнів тесту. Якщо опитуваний неправильно відповів на питання якогось рівня тесту, то його можна відправити на інше питання того ж самого рівня, або на будь-яке питання вищих рівнів. У такому випадку кількість питань для опитуваного буде збільшуватись, але потрібно передбачити питання для виходу з цього рівня у разі, коли опитуваний так і не зміг відповісти правильно на жодне питання цього рівня.

Важливою особливістю тестів з розгалуженням є те, що, якщо опитуваний перед відправленням відповідей перевіряє тест і знаходить свою помилку, то **виправлення помилки призводить до використання нової гілки розгалуження** і йому заново з цього місця прийдеться пройти тест з новими питаннями.

Слід враховувати таку особливість тестів з розгалуженням, що зі збільшенням рівнів (кількості питань на одного опитуваного), **збільшується ймовірність нерівномірного розподілення опитуваних** (рис. 7).

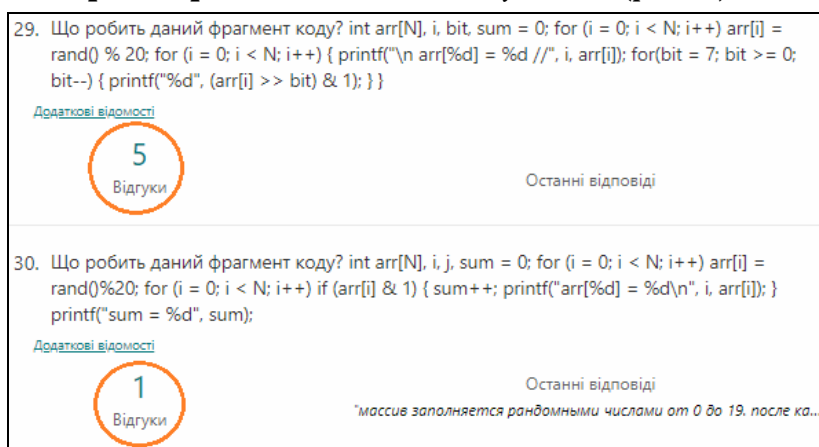


Рисунок 7 – Приклад нерівномірного розподілення опитуваних за питаннями

**Висновки.** Побудова якісних тестів з розгалуженням зазвичай трудомісткий та ітеративний процес. Це пов'язано з тим, що необхідно аналізувати різноманітні варіанти проходження тесту з урахуванням ймовірності попадання на те чи інше питання. Тільки при такому підході можлива побудова одного варіанту тесту з розгалуженням, який буде індивідуальним для кожного студента.

Тести з розгалуженням мають як цілу низку переваг, так і недоліки. Переваги: один тест з розгалуженням замінює декілька варіантів тестів, складених за лінійним алгоритмом, що дозволяє значно зменшити загальну кількість тестових завдань. Для максимального використання можливостей розгалуження, доцільно складати тести, що одночасно містять як питання з декількома варіантами відповідей так і текстові поля, але щоб питання з відкритою відповіддю не були розташовані одне за одним. Такий тест дозволить впровадити індивідуальний підхід до опитування. Недоліками є те, що перед складанням тесту з розгалуженням його бажано змодельовати та те, що виправлення помилки опитуваним під час перевірки своїх відповідей, відправляє його на нові питання, і, як наслідок, нове проходження тесту.

#### ЛІТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА

1. Литвинов А.А., Карпенко Н.В. Особенности применения личностно-деятельного подхода при подготовке специалистов в области информационных технологий // Системні технології. – 2018. – 114 (1) – с. 79-84.

2. Литвинов О.А, Карпенко Н.В. Про впровадження особистісно-діяльнісного підходу до підготовки спеціалістів у галузі інформаційних технологій / О. А. Литвинов, Н. В. Карпенко // Системні технології. - 2019. – 120 (1) - С. 101-106.
3. Карпенко Н. В., Герасимов В. В., Виноградова А. О. Застосування MICROSOFT FORMS у навчальному процесі. / /Н. В. Карпенко, В. В. Герасимов, Виноградова А.О.// Системні технології. - 2020. – 126 (1) - С. 77-85.
4. Настройка ветвления в форме или тесте Microsoft Forms [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://support.microsoft.com/ru-ru/office/настройка-ветвления-в-форме-или-тесте-microsoft-forms-dd443878-959b-4379-8016-39f885c0ae6b> — Загол. з екрана.

#### REFERENCES

1. Litvinov A.A., Karpenko N.V. Peculiarities in applying the personal-active approach to specialists' training in information technologies. // System technology. – 2018. – 114 (1) – P. 79-84.
2. Litvinov A. A., Karpenko N. V. Introduction of personal-active approach to specialists' training in information technologies. // System technology. – 2019. – 120(1) – P. 101-106.
3. Nadija Karpenko, Vladimir Gerasimov, Anastasia Vinogradova. Application of Microsoft Forms in teaching and learning activities. / Vol 1 No 126 (2020): System technologies. – p. 77-85.
4. Branch your form or quiz using Microsoft Forms  
<https://support.microsoft.com/en-gb/office/branch-your-form-or-quiz-using-microsoft-forms-dd443878-959b-4379-8016-39f885c0ae6b?ui=en-US&rs=en-GB&ad=GB>

Received 18.01.2021.

Accepted 20.01.2021.

#### ***Использование алгоритмов ветвления в Microsoft Forms***

*Любое обучение предусматривает проверку знаний учеников после завершения курса (темы). Тесты, построенные с использованием линейного алгоритма, легче создавать, но по разным причинам они не всегда устраивают преподавателя. Поэтому в данной статье рассмотрен процесс составления тестов с ветвлением в Microsoft Forms и приведено несколько практических рекомендаций, о которых не упомянуто в документации Microsoft.*

#### ***Using branching algorithms in Microsoft Forms***

*Any training involves testing the knowledge of students after completing the course (topic). Taking into account the tendency for the application of the personality-active approach to the student, tests constructed using a linear algorithm are far from always suitable. Therefore, this article will walk you through the process of creating branching tests in Microsoft Forms.*

*Building quality branching tests is a tedious and iterative process. It is associated with the need to simulate various options for passing the test. When writing branching tests, consider the likelihood that the respondent will be asked a specific question. And only with this approach is it possible to build a test that will be individual for each student. The authors of the article have identified the pros and cons of using branching tests. In the course of practical application of tests with branching, several features of their creation and application were revealed. Therefore, the authors in this article provide several practical recommendations that are not mentioned in the Microsoft documentation.*

**Герасимов Володимир Володимирович** – доцент кафедри електронних обчислювальних машин Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

**Карпенко Надія Валеріївна** – к.ф.-м.н, доцент кафедри електронних обчислювальних машин Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

**Герасимов Владимир Владимирович** - доцент кафедры электронных вычислительных машин Днепровского национального университета имени Олеся Гончара.

**Карпенко Надежда Валерьевна** - к.ф.-м.н, доцент кафедры электронных вычислительных машин Днепровского национального университета имени Олеся Гончара.

**Gerasimov Vladimir Vladimirovich** — Associate Professor of Computer Systems Engineering Department of DNU.

**Karpenko Nadija Valeriivna** — Associate Professor of Computer Systems Engineering Department of DNU.

## ON THE VARIATION OF ABSTRACT FACTORY PATTERN

*Annotation. The work is devoted to revision of Abstract Factory Pattern for its practical use in information system development. Provided variation of Abstract Factory Pattern significantly simplifies the process of information system development making the system more flexible, robust to change and maintainable.*

*Key words: software development, design patterns, Factory pattern.*

Modern information system can be represented as a set of interconnected components organized to resolve a computing problem. To resolve the problem, components work cooperatively interacting each other. Generally, the interconnections between the components can be divided into two large classes: static which means that the connections between the components are defined before the system starts working and cannot be changed while the system is running; dynamic means that the connections between the components are not predefined and can be changed without stopping and rebooting the system, as a rule in such systems the interaction between the components is controlled by the subsystem-mediator (e.g. event bus, blackboard architectures [1]).

In reality, in most cases, there is no need to make all the connections dynamic, but, it is not an exaggeration to say that the flexibility of the system depends on the ability to replace one component by another. Such ability provided by late binding mechanism and polymorphism. Late binding/typing means that the types of all names (variables and expressions) are not known until runtime [2]. Polymorphism represents a concept in which a single name (e.g., variable declaration) may denote objects of many different classes that are related by some common superclass or interface. In modern systems interface polymorphism is considered preferable. Interfaces allow to define polymorphism in a declarative way, unrelated to implementation. Two objects are polymorphic with respect to a set of behaviors if they realize the same interfaces.

Interface-based polymorphism allow to build information systems out of loosely coupled components depended on interfaces instead of other components.

Such system becomes interface-based, because instead of a system composed of real components now it is being transformed to the system where dependencies (dependency components) substituted by the interfaces [3]. We can see the same approach in all spheres of real life starting from automobiles and airplanes and ending with business companies and social organizations. That is one of the best ways to make a system flexible and consequently robust to change.

Thus, when we use interface-based approach the main goal we are intended to achieve is to increase the flexibility and changeability of the system by constructing it as a set of loosely coupled components.

The next question is, how to resolve which of the components should realize the interface in the current assembly of the system (the system configured and ready to run)? More precisely, how the system can make the choice of the components should work in the current assembly substituting the interfaces they realize? To make the process of building the components flexible the system needs mediators able to create the realizations of the interfaces. That mediators called factories [4][5]. The main idea is as follows:

We need to produce a realization of an interface considering that there may be several variations of the realization.

To produce the realization of the interface we need a component which knows how to create that realization. In case of several realizations there is a need of several factories producing different realizations of the same interface. It is notable that the creation process can be nontrivial (e.g., can relate to resolving dependencies etc.)

If we have several different creators-factories, we need to introduce an abstract one realized by the set of concrete creators-factories. And when the system starts it should simply choose the factory realization and then use it to create interface realizations.

Abstract factory can be realized as an abstract class or as an interface. Interface variant seems more conformable for the factories depended on other factories.

The next question related to the task of creating a huge number of different objects from the same level of abstraction (in reality, in most cases, the level is equal to layer). In that case there is no need to create a huge number of factories, each per interface (Fig. 1). That is the idea of the abstract factory pattern which offers the interface for creating a family of related objects (Fig. 2) [6]. The client chooses the realization of an abstract factory and gets a number of products produced by the chosen factory which satisfy the client's needs.

**Task definition.** The problem of classical abstract factory solution is that the adding of a new product to the domain implies the need of adding a method to all the factories. When the number of types of products is high it causes maintenance problems.

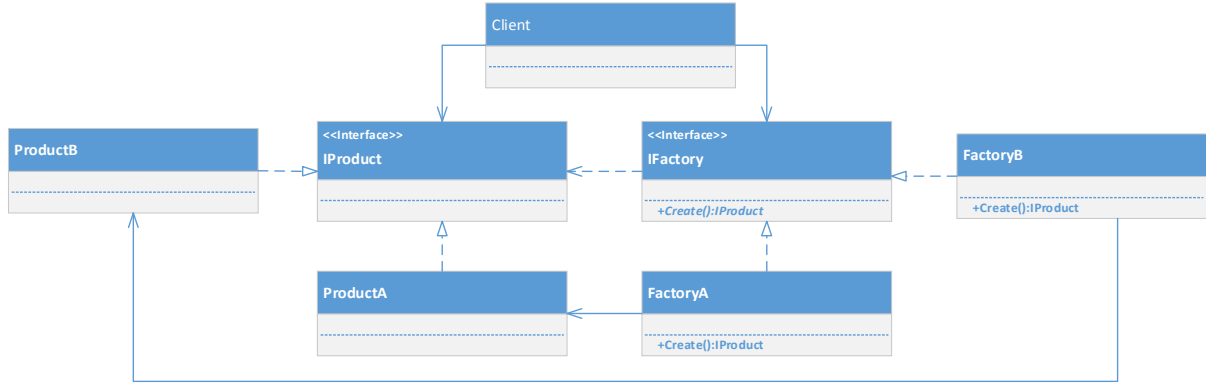


Figure 1 – Factory method pattern

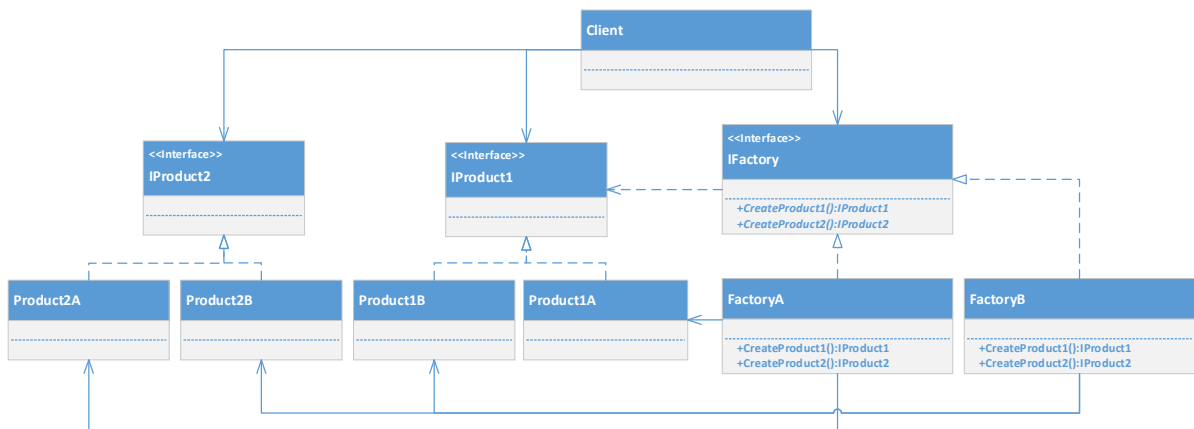


Figure 2 – Abstract factory pattern

**Main part.** To reduce the resistance of the infrastructure we can introduce instead of huge number of methods (each per interface) one generic `Create` method which takes as a parameter an interface and returns an appropriate realization of that interface or throws an exception when it is not able to resolve the binding (Fig.3).

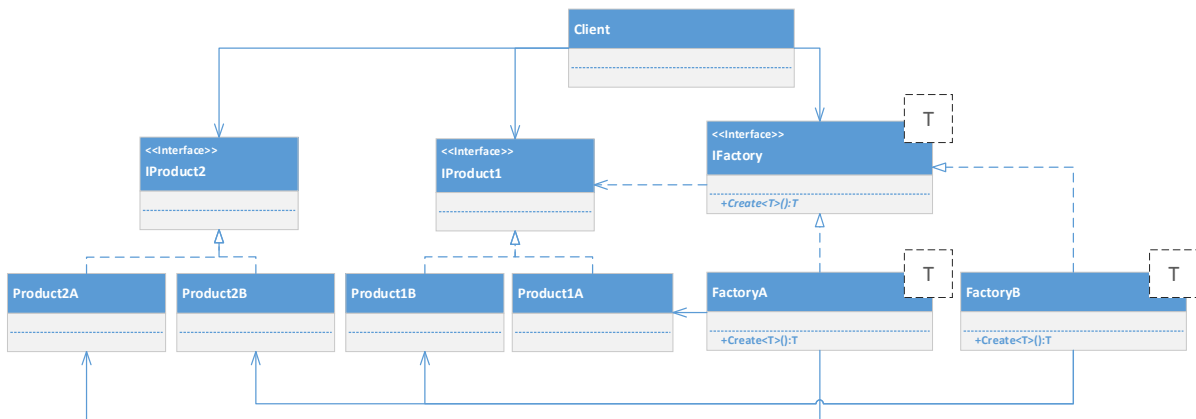


Figure 3 – Abstract factory pattern with generic method

The simple implementation of the pattern is shown in listing 1. The collection of “interface - realization” bindings represented within the constructor defines the only one area of the class opened to change (open/close principle of SOLID) [7]. We can make an abstract class Factory with the collection and generic Create method, making all other factories its successors (Fig. 4). We can also add Create method with parameters needed to create the object, but in our opinion, it is better to avoid creating an object with passing the parameters, we think it is better to use factories interaction instead. Factories interaction means that in case of factories dependency we can inject the dependency factory into dependent one according to the dependency injection principle of SOLID. In other words, in case when we need to create an object produced by the first factory which is dependent on an object produced by the second factory, it would be better to resolve the situation by injecting factory responsible for creation of dependency object into the factory used to create dependent one. For example, the creation of use cases objects depends on repository objects and to resolve such dependency the factory responsible for repository objects creation should be injected to factory responsible for use cases objects creation. The code shown in listing 1 suggests “single object per multiple creation calls” model, but it can be easily modified to realize “create object per each call” model by the deep cloning of created objects. To make lazy loading variant of the solution, we can use two dictionaries (one for “type of interface – type of realization” pairs and one for “type of interface - realization” one) and we should also rebuild the logic of Create method to examine whether the realization of the requested interface type has already built, using “type of interface - realization” dictionary, and, if not, make it using reflection API (i.e., Activator.CreateInstance method), using “type of interface – type of realization” dictionary.

```

public class ValidationRuleFactory : IValidationRuleFactory
{
    readonly Dictionary<Type, object> collection =
        new Dictionary<Type, object>();
    public ValidationRuleFactory()
    {
        this.collection.Add(typeof(IEnterOperationValidationRule),
            new EnterOperationValidationRule());
    }
    public T Create<T>()
    {
        Type type = typeof(T);
        if (!this.ruleCollection.ContainsKey(type))
        {
            throw new MissingMemberException(type.ToString() +
                "is missing in the rule collection");
        }
        return (T)this.ruleCollection[type];
    }
}

```

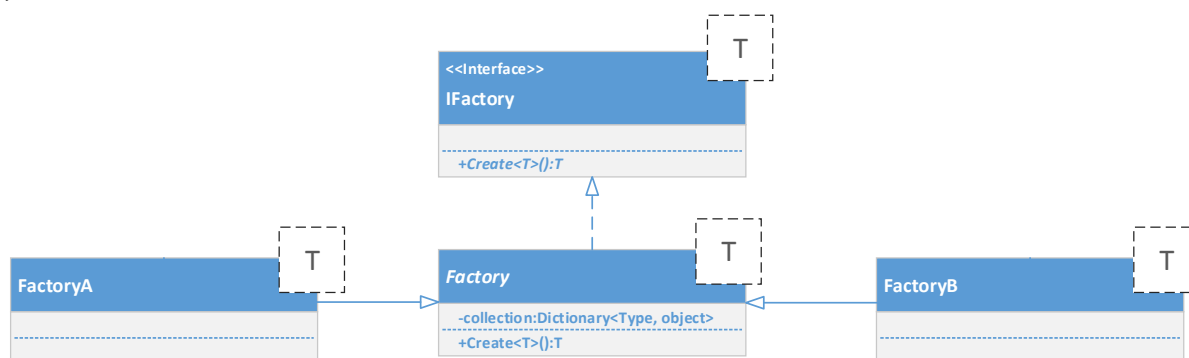


Figure 4 – Introducing generic factory responsible for object creation

The disadvantage of provided solution is additional effort connected to adding new interface and its realization causing the modification of the factory constructor. The code provided in the listing 2 could help solving that problem. Using reflection mechanism, we can get all the classes of the assembly and bind them with the interfaces from the assembly responsible for the definition of interfaces. Thus, in the result we have the collection of “interface - realization” bindings filled automatically by the factory. It is remarkable that classes and interfaces should follow predefined naming conventions, but it could be considered as a positive point rather than something to avoid.

```
private void ConfigureMapping()
{
    Type currentClassType = Method-
Base.GetCurrentMethod().DeclaringType;
    string classAssemblyName = current-
ClassType.Assembly.GetName().Name;
    Assembly contractAssembly =
        this.GetAssemblyByName(this.contractAssemblyNa-
me);
    Assembly classAssembly =
this.GetAssemblyByName(classAssemblyName);
    List<Type> classTypeCollection =
        classAssembly.GetTypes().Where(t => t.IsClass
        &&
        t.Name != this.factoryName).ToList();
    List<Type> interfaceCollection =
        contractAssembly.GetTypes().Where(t =>
        t.IsInterface).ToList();
    foreach (Type interfaceType in interfaceCollection)
    {
        string name = interfaceType.Name;
        try
        {
            Type classType =
                classTypeCollection.Find(t => t.Name ==
                name.Substring(1));
            object classInstance =
                Activator.CreateInstance(classType);
            this.collection.Add(interfaceType, classIn-
stance);
        }
        catch (Exception ex)
        {
            Logger.Log.ErrorFormat("Interface {0} is not
valid", name);
        }
    }
}
Assembly GetAssemblyByName(string name)
{
    return AppDomain
        .CurrentDomain
        .GetAssemblies()
```

```
.SingleOrDefault(assembly => assembly.GetName().Name  
== name);  
}
```

According to the provided strategy, each solution become composed of three basic types of projects-packages:

- ✓ The projects-packages contained only the interfaces representing the contracts of the components to be realized, including abstract factory interface.
- ✓ The packages contained the realizations of the interfaces. Each realization package has its own factory.
- ✓ The projects responsible for gluing the system of the units-realizations using the factories.

An example of the solution is shown in Fig.5. Service package is responsible for system assembly, Contract packages responsible for interfaces definition.

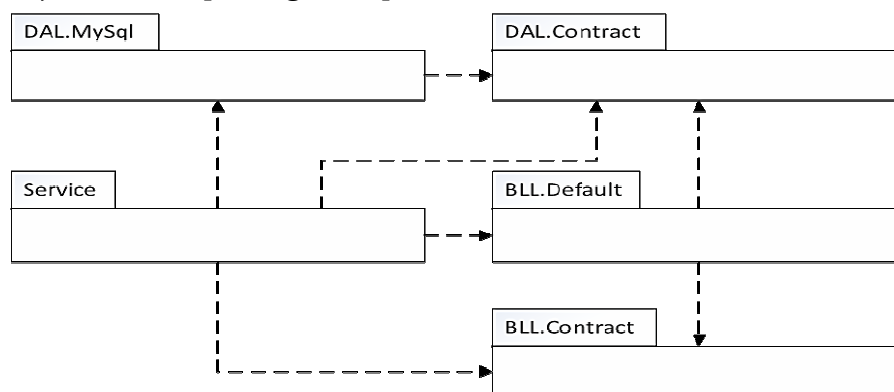


Figure 5 – An example of the solution according to the strategy provided

As we can see Service package depends on all other packages to glue the system of components. And in case when the number of variations increases, the dependency of Service package on all the existed packages will cause the problem. To make the solution more flexible we can use Inversion of Control (IoC) Container that is a framework used to manage automatic dependency injection throughout the application. For .NET platform there are a plenty of IoC Container realizations (Castle Windsor, Spring.NET, Autofac, Unity). Thus, we can use IoC Container for resolution of factories realizations based on configuration xml-file without recompilation of the solution. In our opinion, factories resolution is the best and most usable practice of resolution using IoC allowed to reduce expenses related to the activities to be applied in case of modifications (adding new types and interfaces etc.).

**Conclusions.** The suggested solution significantly reduces the resistance of the system to change making it highly flexible. Each time when we add new interface

and its realization to the appropriate package(assembly) we do not need to correct the factory by adding new methods and correcting the logic within its constructor.

### REFERENCES

1. R. N. Taylor, N. Medvidovic, E. M. Dashofy. Software Architecture: Foundations, Theory, and Practice. Wiley, 2009. 750 p.
2. Booch, Grady. Object Oriented Analysis And Design With Applications. Addison-Wesley, 2007. 691 p.
3. L. Robert Varney. Interface-Oriented Programming. University of California, Los Angeles Computer Science Department Technical Report TR-040016. March 29, 2004 Revised: September 17, 2004.
4. C.Larman. Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development. Pearson; 3rd edition. 2004. 736 p.
5. Eric Evans. Domain-driven design: tackling complexity in the heart of software. Addison-Wesley Professional. 2004. 560 p.
6. Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, John Vlissides. Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Addison-Wesley Professional. 1994. 416 p.
7. Martin C. Robert Agile Principles, Patterns, and Practices in C#. / C. Robert Martin, Micah Martin // Prentice Hall. – 2006. – 768 p.

Received 16.01.2021.  
Accepted 20.01.2021.

### **Варіація шаблону Abstract Factory**

*В роботі розглядається варіант вдосконалення шаблону Abstract Factory для практичної розробки сучасних інформаційних систем.*

*Запропонований варіант відрізняється тим, що замість декількох методів, які відповідають за створення реалізації певних інтерфейсів в класі Abstract Factory, вводиться один узагальнений метод. Метод отримує тип інтерфейсу реалізацію якого треба отримати. Крім того, розглядається варіант автоматичного створення словника, котрий містить пари «інтерфейс-реалізація» з використанням рефлексії. В висновках розглядаються обмеження та різноманітні модифікації наведеного розв'язання.*

### **On the variation of Abstract Factory Pattern**

*Modern information system can be represented as a set of interconnected components organized to resolve a computing problem. To resolve the problem, components work cooperatively interacting each other. Generally, the interconnections between the components can be divided into two large classes: static which means that the connections between the components are defined before the system starts working and cannot be changed while the system is running; dynamic means that the connections between the components are not predefined and can be*

*changed without stopping and rebooting the system, as a rule in such systems the interaction between the components is controlled by the subsystem-mediator.*

*The work is devoted to revision of Abstract Factory Pattern for its practical use in information system development. Provided variation of Abstract Factory Pattern significantly simplifies the process of information system development making the system more flexible, robust to change and maintainable.*

**Литвинов Олександр Анатолійович** - кандидат технічних наук, доцент кафедри електронних обчислювальних машин Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара.

**Литвинов Александр Анатольевич** - кандидат технических наук, к-цент кафедры электронных вычислительных машин Днепропетровске кого национального университета им. О. Гончара.

**Litvinov Alexander Anatolievich** — candidate of technical sciences, associate Professor of Computer Systems Engineering Department of DNU.

## HARDWARE IMPLEMENTATION DESIGN OF A SPIKING NEURON

*Abstract. The hardware implementation of an artificial neuron is the key problem of the design of neuromorphic chips which are new promising architectural solutions for massively parallel computing. In this paper an analog neuron circuit design is presented to be used as a building element of spiking neuron networks. The design of the neuron is performed at the transistor level based on Leaky Integrate-and-Fire neuron implementation model. The neuron is simulated using EDA tool to verify the design. Signal waveforms at key nodes of the neuron are obtained and neuron functionality is demonstrated.*

*Keywords: neuromorphic chip, spiking neuron network, neuron, synapse, weight coefficients, EDA, VLSI.*

**Introduction.** It is well known that a general-purpose central processing unit (CPU) is not well suited for massively parallel computing. At the same time graphics processing units (GPU) are adapted specifically for parallel computations, so they provide significantly higher performance than CPU. That is why neural network operations are performed on arrays of video cards. However, graphics processors are forced to emulate neurons using software tools, which consumes significant processing power.

To increase the performance of computer systems for parallel computations new architectural solutions should be designed. Recently, due to the rapid development of neural network technology, neuromorphic systems that work on the principles of the human brain have become increasingly popular. Such systems are best suited to perform massively parallel computing and provide the highest performance in solving problems traditional for neural network applications. Neuromorphic chips, unlike conventional processors, do not emulate neural networks, but are physically constructed as neural networks. Each chip consists of several hundreds or even thousands of interconnected simple computational elements, that functionally correspond to neurons.

The neuromorphic chip can be constructed as a classic artificial neural network (ANN), or as a pulsed (spiking) neural network (SNN). The latter is more promising

because its work directly mimics the behavior of a network of biological neurons. In a pulsed neural network, signals between neurons are transmitted in the form of short pulses – spikes. A neuron generates a spike of maximum amplitude when the weighted sum of the input signals exceeds its action potential. Such a neuron can be implemented using existing semiconductor technology, and the neuromorphic chip itself can be made in the form of very large-scale integrated circuit (VLSI) [1].

The key problem of neuromorphic chip design is the hardware implementation of a single neuron. A neuromorphic network can be implemented using either analog or digital circuits. Digital circuit design is generally more simple but analog neuron implementation consumes less energy and requires less area on the silicon chip. There are a large number of papers devoted to the hardware implementations of neurons and neuron networks [2-4]. This paper focuses on an analog implementation of a neuron with digital weight control. Leaky Integrate-and-Fire neuron model [5,6] is used for the design of the neuron on the transistor level and signal waveforms are obtained to verify the functionality of the neuron.

**Neuron Circuit Design.** Leaky Integrate-and-Fire model of an artificial neuron implementation is consisted of several building blocks shown in Fig. 1. The most significant blocks of the artificial neuron are the synaptic inputs which produce weighted input signals. Like in a real neuron of a human brain, an input signal can be amplified or attenuated corresponding to synaptic weight coefficients. To this end excitatory and inhibitory weight input circuits are provided for each synaptic input block. Post-synaptic signals from all synaptic input blocks are added and formed post-synaptic potential of the neuron using a leaky integrator. The capacitor of the leaky integrator determines the level of the post-synaptic potential and the resistive load ensures that the neuron returns to the relaxed state.

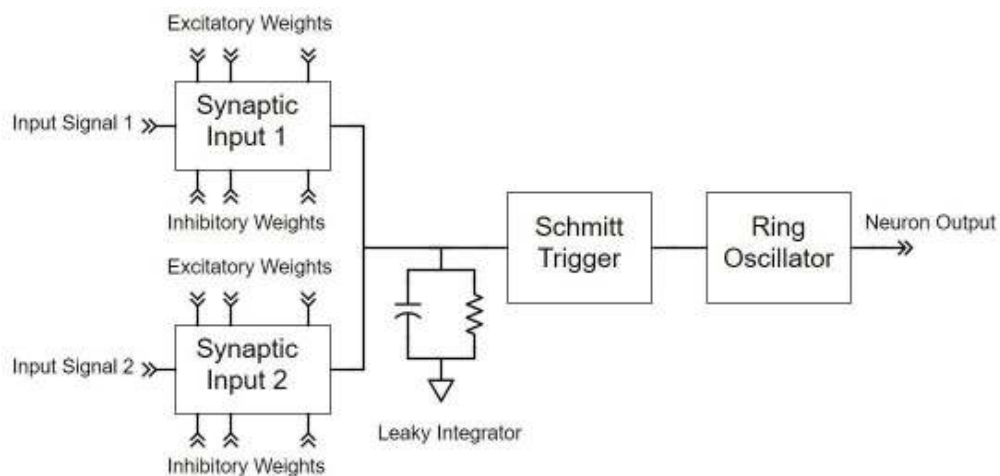


Figure 1 – Block diagram of an analog neuron with two synaptic inputs

Shmitt trigger is used as a neuron activator that performs a threshold activation function. When the post-synaptic potential exceeds a threshold voltage level set by Shmitt trigger, logical “1” is applied to ENABLE input of the ring oscillator. In this case the ring oscillator generates spikes as a neuron output. The neuron does not generate spikes if the post-synaptic potential does not exceed the threshold voltage.

**Synaptic Input with Digital Weight Control.** A simple synapse realization relies on excitatory and inhibitory circuits consisted of several MOS transistors connected in parallel [5,6] as shown in Fig. 2. Voltages on the gates of these transistors regulate currents from the power source to the output and from the output to the ground. Using only two voltages in the subthreshold regime  $V_{base}$  and  $V_{offset}$ , where  $V_{dd} \geq V_{base} > V_{offset}$ , we can obtain four variations of voltage level at the post-synaptic output node for three parallel connected MOS transistors in the excitatory circuit. In the same way four voltage levels are obtained for inhibitory circuit using  $V_{GND} \leq V_{base} < V_{offset}$ .

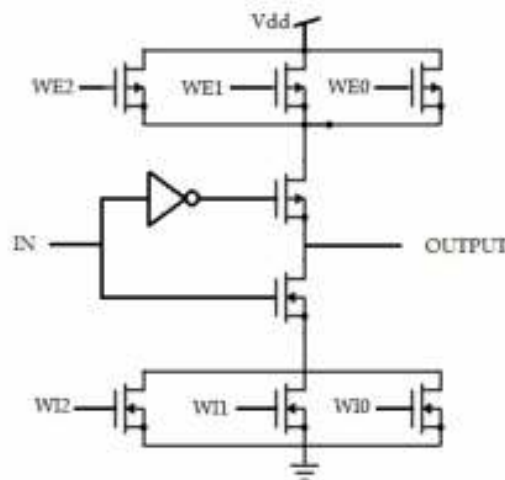


Figure 2 – Synaptic input circuit diagram [5]

To provide four voltage levels at the post-synaptic output node it is enough to use 2-bit numbers for digital weight control. Those numbers regulate the choice of one of two voltage levels applied to transistor gates acting as synaptic weight coefficients. In Fig. 3 it is shown the circuit diagram of a digital voltage control block and a voltage switch block which provide digital control for voltage level applied to the gates. The circuit diagram for the verification of a single synaptic input block is demonstrated in Fig. 4. The results of the verification are shown in Fig. 5 as waveforms at input and output nodes. One can be seen that the voltage level of the post-synaptic potential increases gradually with the rise of the weight number.

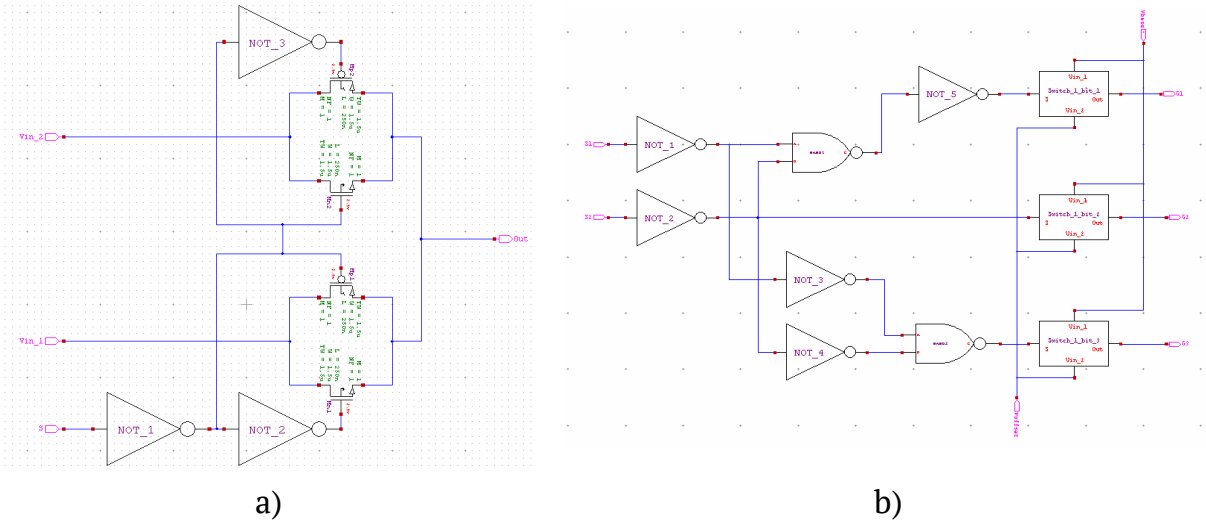


Figure 3 – Circuit diagram of a voltage switch block (a) and a digital voltage control block (b)

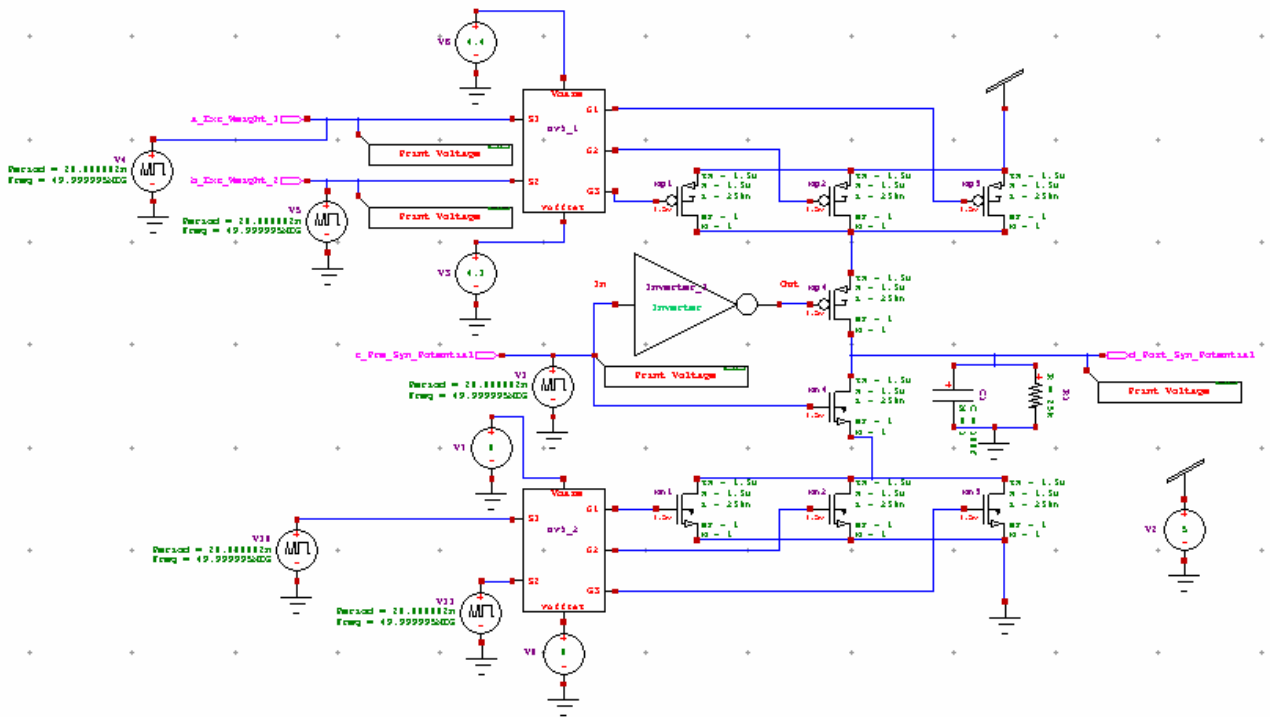


Figure 4 – Circuit diagram for single synaptic input block verification

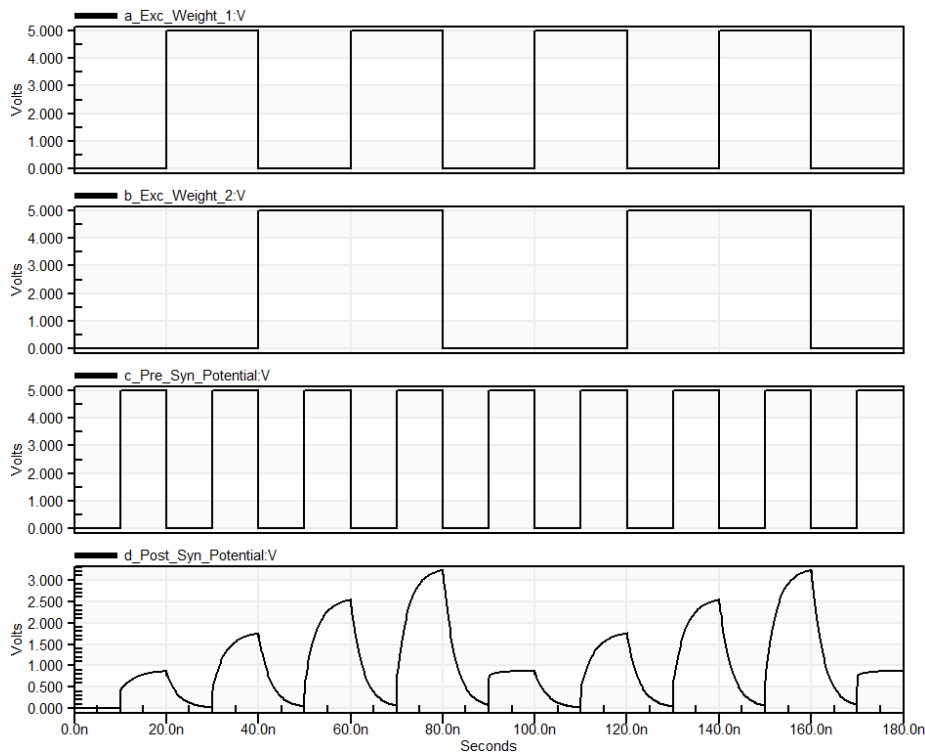


Figure 5 – Waveforms for input and output nodes of a synaptic input block

**Neuron Activator and Spike Generator.** A neuron fires spikes when the post-synaptic potential exceeds certain threshold value which serves as an action potential of the neuron. That is why as a neuron activator, Shmitt trigger may be applied. Shmitt trigger should convert an analog input signal (post-synaptic potential) to a digital output signal (command to activate spike generator). When the input is higher than a chosen threshold level, the output is the logical “1”, and when the input is below the threshold level the output is the logical “0”. A logical value is applied to the ring oscillator which serves as a generator of the neuron output. The ring oscillator is a simple circuit composed of an odd number of inverters connected in a ring. Circuit diagrams of Shmitt trigger and the ring oscillator used in the neuron circuit as activator and generator blocks are shown in Fig. 6.

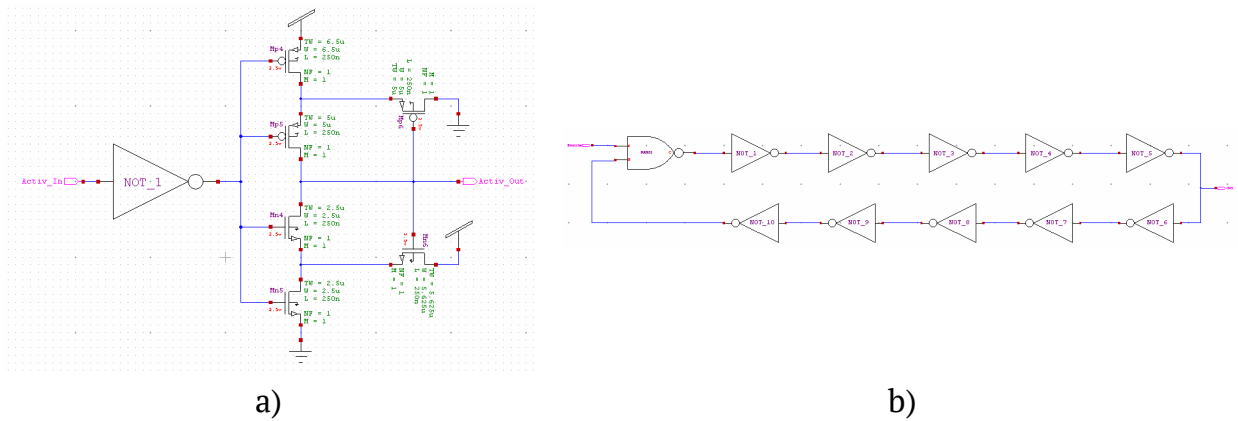


Figure 6 – Circuit diagram of activator (a) and generator (b) blocks

**Neuron Circuit Design and Functionality Verification.** The functionality of the neuron is verified by the simulation of the neuron circuit shown in Fig. 7. The behavior of the neuron is simulated at various values of pre-synaptic input signals and 2-bit synaptic weights applied to the excitation and inhibitor circuits. In Fig. 8 it is shown waveforms of signals at key nodes of the neuron in the case when the excitation weight of the second synaptic input is twice the excitation weight of the first synaptic input, and the inhibitor weights at both inputs are not used. The threshold voltage level of the neuron activation potential is set by Schmitt trigger and is equal in this case to 2 V. The waveforms in Fig. 8 clearly show that when the total post-synaptic potential exceeds the activation potential, the neuron generates a sequence of pulses.

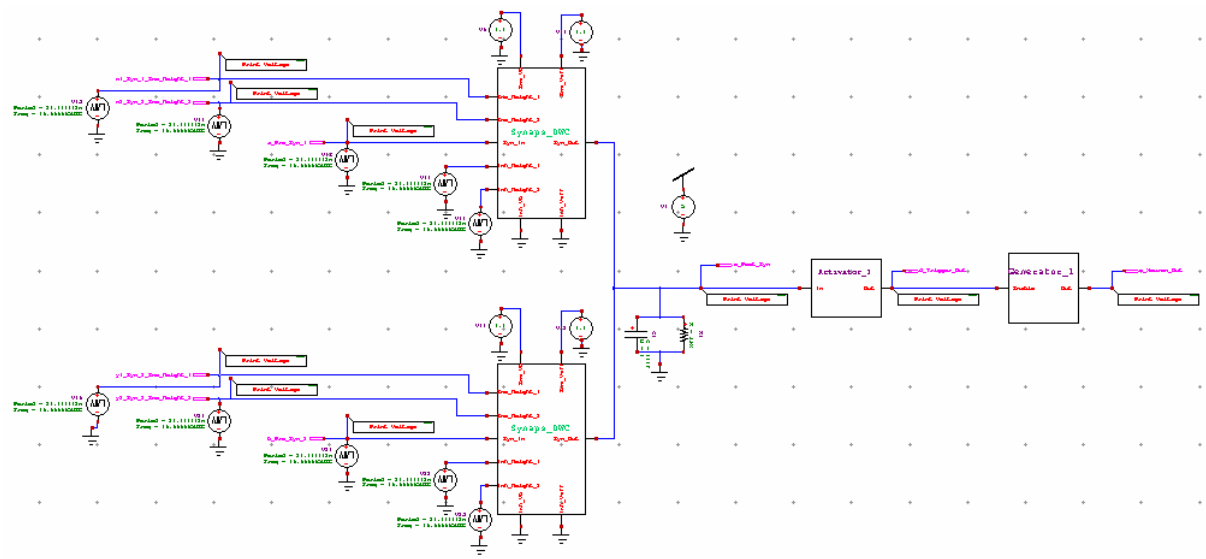


Figure 7 – Circuit diagram of the neuron

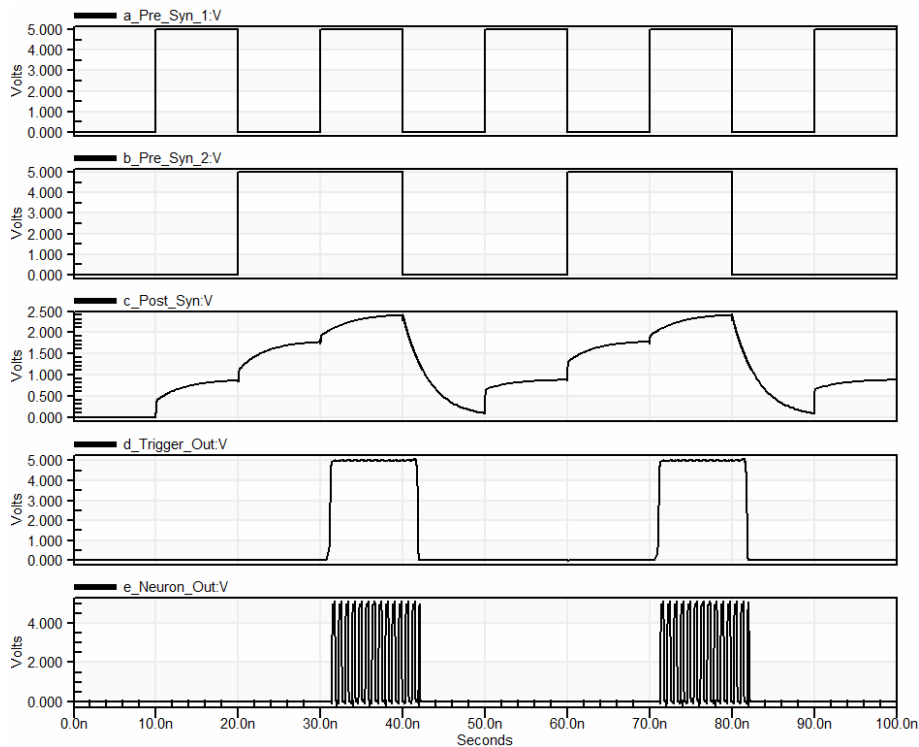


Figure 8 – Waveforms for signals at key nodes of the neuron

**Conclusions.** The hardware implementation of a spiking neuron has been designed for the application in spiking neural networks. The transistor level design has been performed using Leaky Integrate-and-Fire model of an artificial neuron with two synaptic inputs. To manage weight coefficients of the synaptic inputs, the digital weight control circuit has been designed which allows us to choose between four voltage levels of post synaptic potential using 2-bit numbers for synaptic weight coefficients. As a neuron activator, Shmitt trigger has been used to realize a threshold activation function and initiate a pulsed output by means of a ring oscillator. The design has been verified using EDA tool and signal waveforms at key nodes of the neuron have been obtained to demonstrate the neuron functionality.

#### REFERENCES

1. Indiveri G. Neuromorphic silicon neuron circuits / G.Indiveri, B. Linares-Barranco, T.J. Hamilton et al. // *Frontiers in neuroscience*, 2011. – Vol. 5. Art. 73. – P.1-23.
2. Joubert A. Hardware spiking neurons design: analog or digital?/ A. Joubert, B. Belhadj, O. Temam, R. Héliot // *Int. Joint Conf. on Neural Networks*, 2012. – P. 1-5.
3. Yammenavar B.D. Design and analog VLSI implementation of artificial neural network / B.D.Yammenavar, V.R.Gurunaik, R.N.Bevinagidad, V.U.Gandage // *Int. Journal of Artificial Intelligence & Applications*, 2011 – Vol. 2, No. 3. P. 96-109.
4. Shinde J.R. VLSI implementation of neural network / J.R. Shinde, S. Salankar // *Current Trends in Technology and Science*, 2015. – Vol. 4, No. 3. – P. 515-524.

5. Yellamraju S. Design of various logic gates in neural networks / S. Yellamraju, S. Kumari, S. Girolkar, S. Chourasia et al. // Annual IEEE India Conf., 2013. –P.1-5.

6. Liu B. Implementation of pulsed neural networks in CMOS VLSI technology / B. Liu, S. Konduri, R. Minnich, J. Frenzel // Proc. of the 4th WSEAS Int. Conf. on Signal Processing, Robotics and Automation, 2005. – Art. No. 20. – P. 1-8.

Received 25.01.2021.

Accepted 27.01.2021.

### **Проектування апаратної реалізації імпульсного нейрона**

*Апаратна реалізація штучного нейрона є ключовою проблемою створення нейромоρφних чіпів, які являють собою нові перспективні архітектурні рішення для масово-паралельних обчислень. У цій статті представлено проектування аналогової схемної реалізації нейрона, який призначений для використання в якості базового елемента імпульсних нейронних мереж. Проектування виконано на транзисторному рівні з використанням LIF (Leaky Integrate-and-Fire) моделі нейрона. Нейрон моделювався і верифікувався за допомогою інструментів автоматизованого проектування. Були отримані часові діаграми сигналів в ключових точках нейрона і продемонстрована його функціональність.*

### **Hardware implementation design of a spiking neuron**

*The hardware implementation of an artificial neuron is the key problem of the design of neuromorphic chips which are new promising architectural solutions for massively parallel computing. In this paper an analog neuron circuit design is presented to be used as a building element of spiking neuron networks. The design of the neuron is performed at the transistor level based on Leaky Integrate-and-Fire neuron implementation model. The neuron is simulated using EDA tool to verify the design. Signal waveforms at key nodes of the neuron are obtained and neuron functionality is demonstrated.*

*The hardware implementation of a spiking neuron has been designed for the application in spiking neural networks. The transistor level design has been performed using Leaky Integrate-and-Fire model of an artificial neuron with two synaptic inputs. To manage weight coefficients of the synaptic inputs, the digital weight control circuit has been designed which allows us to choose between four voltage levels of post synaptic potential using 2-bit numbers for synaptic weight coefficients. As a neuron activator, Shmitt trigger has been used to realize a threshold activation function and initiate a pulsed output by means of a ring oscillator. The design has been verified using EDA tool and signal waveforms at key nodes of the neuron have been obtained to demonstrate the neuron functionality.*

**Гниленко Олексій Борисович** - кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри електронних обчислювальних машин, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара.

**Гниленко Алексей Борисович** - кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электронных вычислительных машин, Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара.

**Gnilenko Alexey Borisovich** - Ph.D. Degree in Physics and Mathematics, Associate Professor at the Department of Electronic Computing Machinery Oles Honchar Dnipropetro National University.

## **FEATURES OF CREATING A VOTING SYSTEM USING THE ETHEREUM BLOCKCHAIN PLATFORM**

*Abstract. Today, blockchain applications are being developed for a wide variety of areas of activity - from trade and advertising to logistics and social networks. Building an application using a ready-made blockchain on one of the specialized platforms is the most efficient way to develop. The development of a decentralized voting system on one of the most functional blockchain platforms Ethereum with a developed infrastructure for creating smart contracts is being considered. Keywords: blockchain, platform, smart contract, peer-to-peer network, transaction, mining, Ethereum, Solidity, Geth, Remix, Web3.*

**Formulation of the problem.** When creating an online voting system, it is important that the system is accessible to voters and observers, reliable, protected from attacks and falsifications, and at the same time, hides information about how a particular voter voted.

Centralized voting systems have a single central node for storing, counting votes and issuing voting results, which is the main point of failure of the entire system.

Therefore, for reliable operation, a decentralized system based on blockchain technology without a single master node, with control distributed among many nodes, is needed.

The creation of such a system is possible in two ways:

- development of your blockchain system from scratch,
- using existing blockchain platforms based on smart contracts.

The first method is very laborious, since it is necessary to implement all the basic elements of support for the performance of a decentralized system: the creation of blocks, the consensus mechanism, mining algorithms, key generation, encryption, data transfer between nodes [1].

The second method allows creating business logic of an application using smart contracts on the basis of a ready-made blockchain platform infrastructure.

**Purpose of the research.** Consideration should be given to creating a reliable voting system based on the open Ethereum platform. During the development process, the following steps should be performed:

- 1) writing a smart contract to implement the voting functionality;
- 2) development of an interface for voting and viewing the results;
- 3) deployment of a private blockchain network on the Ethereum platform: creating network nodes and setting up their interaction with each other;
- 4) compilation and implementation of the contract into a private blockchain network;
- 5) testing the performance of the developed system from various network nodes.

**Main part.** The use of blockchain for voting provides the following benefits:

- Transparency of the process. Ability to control the voting process - any participant can deploy a node with a full copy of all data and analyze it.
- Protection of results. Voting results cannot be falsified. You can always check how many votes were issued at the beginning of the vote, how they were distributed among wallets and at what time the transactions were carried out.
- Anonymity. A public and private key pair is created for a voter on the local machine, and no one knows that a particular wallet belongs to this voter. Thus, no one can know how a given participant voted.
- Speed of data processing. Decentralization allows you to see the overall voting results at each network node.

The open platform Ethereum represents a single decentralized virtual machine in a peer-to-peer network and allows transactions of any complexity level. Smart contracts allow you to register transactions with any asset in a distributed ledger, protecting transactions through hash sums on the blockchain. A smart contract is executed on every node in the network [2].

To develop smart contracts in Ethereum, the built-in programming language Solidity is used, in which you can create contracts with arbitrary conditions, transaction formats and state change functions.

One of the most convenient tools for writing and compiling smart contracts for the Ethereum platform is the Remix IDE. It includes a built-in debugger with blockchain emulation mode in which you can run contracts and a testing environment. After compilation and testing, contracts are executed on the Ethereum virtual machine [3].

An example of a smart contract for voting.

```
pragma solidity >=0.4.0 <0.6.0;
contract Voting {
    mapping (bytes32 => uint256) public votesReceived;
    bytes32[] private voteAnswers;
    string public voteQuestion;
    constructor(string question, bytes32[] voteAnswers) public {
        voteQuestion = question;
        voteAnswers = voteAnswers;
    }
    function totalVotes(bytes32 variant) constant public re-
turns(uint256) {
        require(valid (variant));
        return votesReceived[variant];
    }
    function vote(bytes32 variant) public {
        require(valid(variant));
        votesReceived[variant] += 1;
    }
    function valid(bytes32 variant) constant public returns (bool)
{
    for(uint i = 0; i < voteAnswers.length; i++) {
        if (voteAnswers[i] == variant) {
            return true;
        }
    }
    return false;
}
    function getAnswers() public constant returns (bytes32[]){
        return voteAnswers;
    }
}
```

The contract has a constructor that takes 2 parameters: a string of type string, in which the question of the vote is passed, and an array of type bytes32, in which the choices (candidates) are passed. bytes32 is a byte array of a fixed size of 32 bytes. Fixed length bytes can be used in function arguments to transfer data or return data by contract.

Function vote adds a vote for a specific candidate (variant). Function totalVotes returns the number of votes for a specific candidate (variant). They use function require (bool condition), which checks the condition and if the condition is false, abort and return the state change. Function getAnswers returns a list of voting results.

To connect nodes to the blockchain, the implementation of the Ethereum Geth protocol is used, which is downloaded as a client to all network nodes. A private

blockchain network with its unique first block and network identifier is being deployed. The initial genesis block is created based on the genesis.json configuration file. The required number of network nodes is created, mining is started. The contract is compiled and deployed on the private blockchain network.

To work with a smart contract, you need to access it through a web interface, which includes web pages with forms for entering variable values and passing them to functions. For interaction between the browser and the blockchain, the Web3.js library is required, which allows working with the nodes of the Ethereum network using the Remote Procedure Call (RPC) and HTTP [3] protocols. With its help, event handlers are created that implement the corresponding functions of the smart contract (Fig. 1).

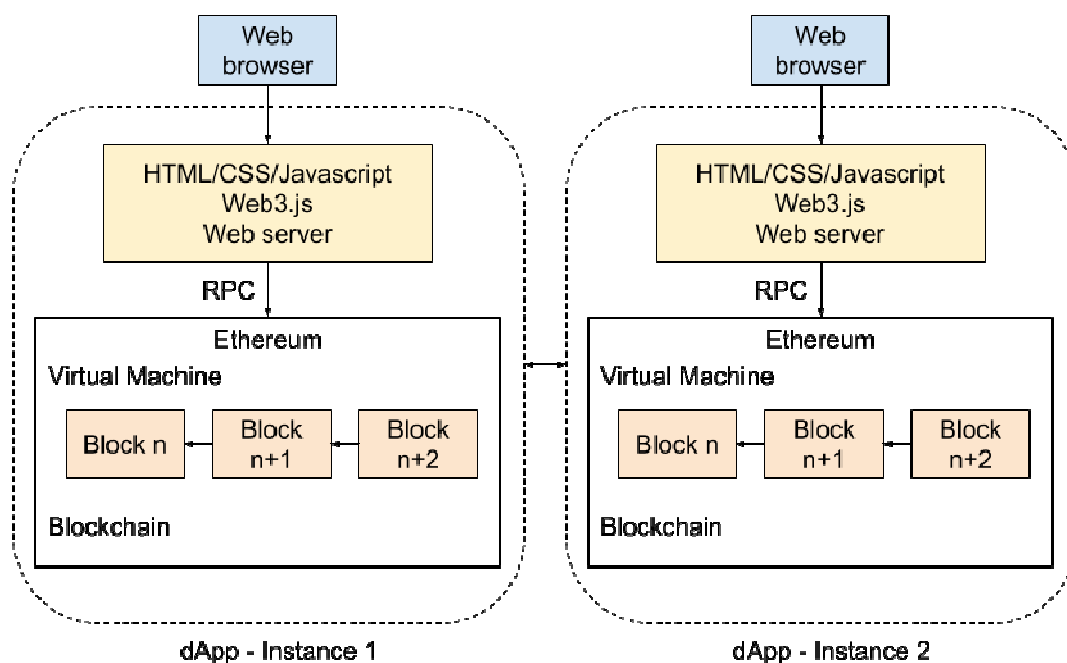


Figure 1 – Decentralized application architecture on the Ethereum blockchain

For the convenience of interacting with the contract, an interface has been developed for voting and viewing the results. The voter is authorized, the connection to the network node is made, the identifier of the smart contract is specified, the account containing this contract is unlocked, the data for its operation is loaded. After a voter selects one of the candidates on the form, information in byte32 format is sent for processing to the smart contract of the network node. A transaction is created with a call to the contract, mining is started and after its completion, the contract is executed, the results of its work are saved and displayed on the web page.

Thus, a decentralized application has been created, ready to be placed on the real blockchain of the Ethereum network. However, for each use of the computing resources of the platform when executing a smart contract, a commission will be charged, which goes to the platform miners who ensure the operation of the network.

**Conclusions.** The features of the Ethereum open blockchain platform and its tools for developing a smart contract and an interface for a voting system are considered. The sequential stages of actions are described: creating nodes and combining them into a network, installing the necessary tools on them, creating and debugging a contract, introducing a smart contract into a blockchain network, creating a user interface and interacting with a blockchain.

#### REFERENCES

1. I.V. Ponomarev Development of a decentralized voting application using blockchain technology – System technologies: Regional interuniversity compendium of scientific works. Issue 1(126). – Dnipro, 2020, - P. 104-110.
2. Imran Bashir. Mastering Blockchain: Distributed ledger technology, decentralization, and smart contracts explained, 2nd Edition. – Packt Publishing, 2018. – 656 p.
3. Narayan Prusty. Building Blockchain Projects: Building decentralized Blockchain applications with Ethereum and Solidity. — Packt Publishing, 2017. — 268 p.

Received 25.01.2021.

Accepted 29.01.2021.

#### **Особливості створення системи голосування з використанням блокчейн-платформи Ethereum**

*Система онлайн-голосування повинна бути доступною і надійною, захищеною та анонімною. Всі ці якості забезпечує децентралізована система заснована на технології блокчейн без єдиного головного вузла, з управлінням розподіленим між багатьма вузлами.*

*Можливо розробити свою блокчейн-систему з нуля або використовувати існуючу блокчейн-платформу. Перший спосіб дуже трудомісткий, так як необхідно реалізовувати всі базові елементи підтримки працездатності децентралізованої системи: створення блоків, механізм консенсусу, алгоритми майнінгу, генерації ключів, шифрування, передачі даних між вузлами. Другий спосіб дозволяє на базі готової інфраструктури блокчейн-платформи створювати бізнес-логіку додатка за допомогою смарт-контрактів.*

*Розглядається розробка децентралізованої системи голосування на одній з найбільш функціональних блокчейн-платформ Ethereum з розвинутою інфраструктурою для створення смарт-контрактів.*

*Розбираються особливості відкритої платформи Ethereum, її інструментарії для розробки смарт-контракту та інтерфейсу для системи голосування. Описуються послі-*

*довні етапи дій: створення вузлів і об'єднання їх в мережу, установка на вузлах необхідних інструментальних програм, створення і налагодження контракту, впровадження смарт-контракту в блокчейн-мережу, створення інтерфейсу користувача і взаємодія з блокчейном.*

*Створено децентралізований додаток онлайн-голосування готовий для розміщення в реальній блокчейн-мережі Ethereum.*

### **Особенности создания системы голосования с использованием блокчейн-платформы Ethereum**

*Система онлайн-голосования должна быть доступной и надежной, защищенной и анонимной. Все эти качества обеспечивает децентрализованная система основана на технологии блокчейн без единого главного узла, с управлением распределенной между многими узлами.*

*Возможно разработать свою блокчейн-систему с нуля или использовать существующую блокчейн-платформу. Первый способ очень трудоемкий, так как необходимо реализовывать все базовые элементы поддержания работоспособности децентрализованной системы: создание блоков, механизм консенсуса, алгоритмы Майнинг, генерации ключей, шифрование, передачи данных между узлами. Второй способ позволяет на базе готовой инфраструктуры блокчейн-платформы создавать бизнес-логику приложения с помощью смарт-контрактов.*

*Рассматривается разработка децентрализованной системы голосования на одном из наи-более функциональных блокчейн-платформ Ethereum с развитой инфраструктурой для создания смарт-контрактов.*

*Разбираются особенности открытой платформы Ethereum, ее инструментарии для разработки смарт-контракта и интерфейса для системы голосования. Описываются последовательно этапы действий: создание узлов и объединение их в сеть, установка на узлах необходимых инструментальных программ, создания и отладки контракта, внедрение смарт-контракта в блокчейн-сеть, создание интерфейса пользователя и взаимодействие с блокчейном.*

*Создан децентрализованный приложение онлайн-голосования готов для размещения в реальной блокчейн сети Ethereum.*

**Пономарьов Ігор Володимирович** – доцент, к.т.н., доцент кафедри ЕОМ Дніпровського національного університету ім. О. Гончара.

**Пономарев Игорь Владимирович** – доцент, к.т.н., доцент кафедры ЭВМ Днепровского национального университета им. О. Гончара.

**Ponomarev Igor Volodimirovich** - candidate of technical sciences, associate professor of the department of electronic computers of the faculty of physics electronics and computer systems of the Oles Honchar Dnipro National University.

Н.И. Твердоступ

## ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ИНДУКТИВНОГО ИМПЕДАНСА НА ОСНОВЕ ОПЕРАЦИОННОЙ СХЕМЫ С КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

*Аннотация.* Используя обобщенную модель преобразователей импеданса разработаны преобразователи заземленной и взвешенной индуктивностей в заземленную индуктивность, в которых реализовано раздельное управление величинами составляющих синтезированного индуктивного импеданса.

*Ключевые слова:* синтез, индуктивность, импеданс, преобразователь, операционный усилитель, обратная связь, множитель.

**Вступление.** Создание функциональных устройств для получения и первичной обработки информации от пассивных измерительных датчиков является актуальной задачей. В ряде случаев для решения этой задачи целесообразно использование преобразователей импеданса [1]. Разработка преобразователей импеданса может быть существенно упрощена при наличии их базовой модели. В [2] представлена обобщенная модель преобразователей импеданса, которая перспективна для использования в качестве базовой при создании соответствующих преобразователей параметров пассивных измерительных датчиков.

**Постановка задачи.** Целью работы является определение возможностей использования обобщенной модели преобразователей импеданса для синтеза умножителей заземленной и взвешенной (незаземленной) индуктивности.

**Основная часть. Обобщенная модель преобразователей импеданса.** В [2] показано, что операционный усилитель с комбинированной обратной связью (рис. 1) имеет функционально полный набор входных импедансов в виде

$$Z_{in1} = (Z_1 - Z_2 Z_3 / Z_4) / (1 - n), \quad (1)$$

$$Z_{in2} = (Z_3 - Z_1 Z_4 / Z_2) / (1 - l), \quad (2)$$

$$Z_{in3} = (Z_2 - Z_1 Z_4 / Z_3) / (1 - k), \quad (3)$$

$$Z_{in4} = (Z_4 - Z_2 Z_3 / Z_1) / (1 - p), \quad (4)$$

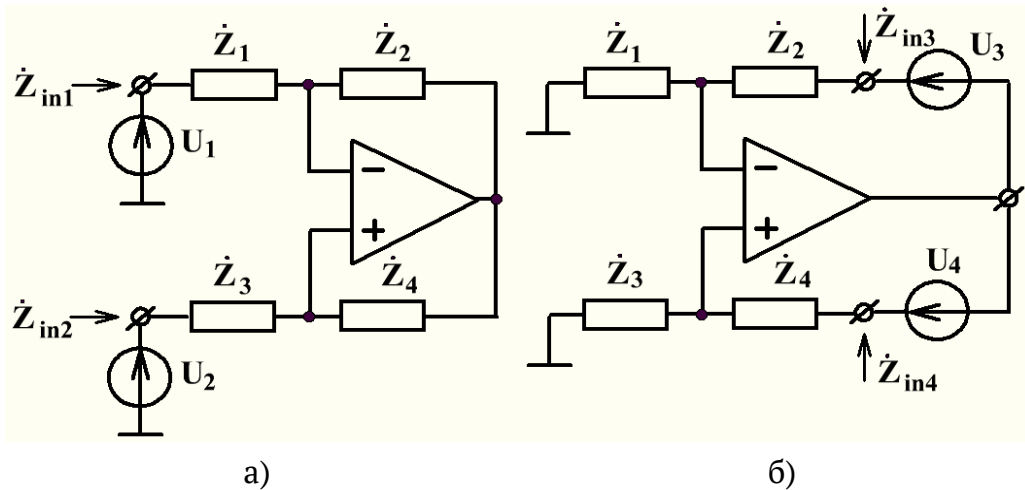


Рисунок 1 – Обобщенная модель преобразователей импеданса с заземленными (а) и взвешенными (б) источниками возбуждения

где  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  – линейные импедансы произвольного характера;  $U_1, U_2, U_3, U_4$  – напряжения источников возбуждения;  $n = U_2/U_1, l = U_1/U_2, k = U_4/U_3, p = U_3/U_4$ . Величины и знаки составляющих четырех возможных входных импедансов  $Z_{in1} - Z_{in4}$  определяются амплитудными и фазовыми соотношениями между напряжениями источников возбуждения.

**Преобразователь заземленного индуктивного импеданса.** Синтез заземленного индуктивного импеданса проведем на основе обобщенной модели с заземленными источниками напряжения возбуждения (рис. 1а) выбрав  $Z_1 = 0$  и  $U_2 = 0$ . Тогда из (1) следует, что  $n = 0$ , а входной импеданс  $Z_{in1}$  имеет вид:

$$Z_{in1} = -Z_2 Z_3 / Z_4. \quad (5)$$

В этом случае относительно  $Z_2$  и  $Z_3$  обобщенная модель является конвертором отрицательного импеданса, на основе которого можно реализовать умножение индуктивного импеданса путем его двойного конвертирования.

Для реализации двойного конвертирования выбираем (рис. 2) два последовательно соединенных конвертора отрицательного импеданса на DA1 и DA2, у которых в качестве линейных импедансов используются активные сопротивления  $R_2, R_3, R_4, R_2', R_4'$ . Подлежащую умножению заземленную индуктивность  $L_0$  с активным сопротивлением  $r_0$  включаем на место заземленного импеданса  $Z_3$ . При таких условиях входной импеданс конвертора на DA2 согласно (5) равен

$$Z'_{in} = -R_2' (r_0 + j\omega L_0) / R_4'. \quad (6)$$

он преобразуется с изменением знака конвертором DA1 в

$$Z_{in} = -R_2(R_3 + Z'_{in})/R_4.$$

С учетом (6) входной импеданс конвертора DA1 становится равным

$$Z'_{in} = -R_2R_3/R_4 + R_2R'_2r_0/R_4R'_4 + j\omega L_0R_2R'_2/R_4R'_4 \quad (7)$$

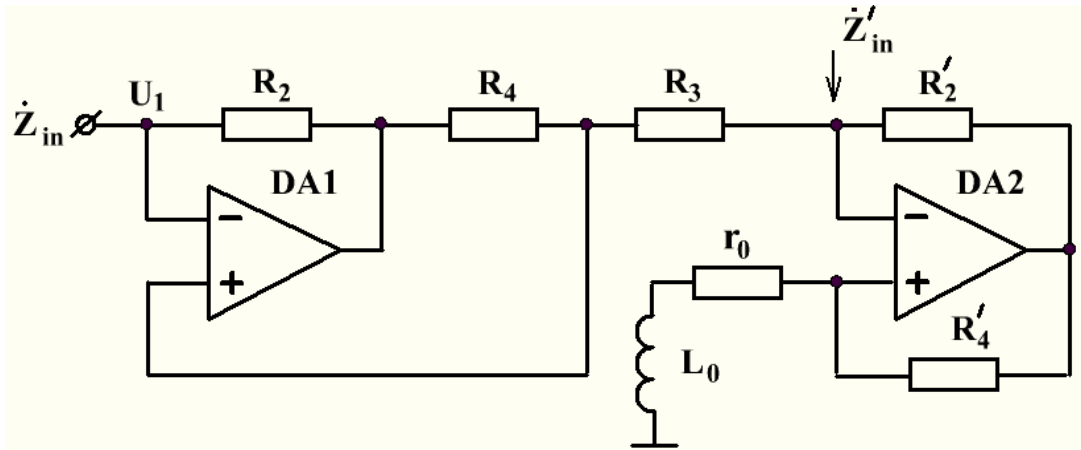


Рисунок 2 – Умножитель заземленной индуктивности  $L_0$  на двух конверторах отрицательного импеданса

Полученный входной импеданс  $Z_{in} = \eta_{in} + j\omega L_{in}$  имеет индуктивный характер, представляет собой заземленную индуктивность  $L_{in}$  с последовательно включенным активным сопротивлением  $\eta_{in}$ , величины которых согласно (7) равны

$$\eta_{in} = R_2(R'_2r_0/R'_4 - R_3)/R_4, \quad (8)$$

$$L_{in} = L_0R_2R'_2/R_4R'_4. \quad (9)$$

Из последних выражений следует, что в настоящей схеме синтезируется заземленная управляемая индуктивность  $L_{in}$ , величина которой определяется как результат умножения индуктивности  $L_0$  на коэффициент преобразования, равный  $R_2R'_2/R_4R'_4$ . Синтезированное активное сопротивление  $\eta_{in}$  может принимать как положительные, так и отрицательные значения в зависимости от величины сопротивления  $R_3$  в сравнении с  $R'_2r_0/R'_4$ . При выполнении равенства  $R_3 = R'_2r_0/R'_4$  входное сопротивление  $\eta_{in} = 0$ , что обеспечивает минимизацию активных потерь синтезированной индуктивности и существенное повышение ее добротности.

**Преобразователь взвешенного индуктивного импеданса.** Для построения умножителя незаземленного импеданса выбираем уравнение (1) при синфазных напряжениях возбуждения и  $U_2 \ll U_1$ . Тогда из обобщенной модели

(рис. 1а) следует вариант умножителя на рис. 3, в котором  $\dot{Z}_1 = r_0 + j\omega L_0$  – комплексный импеданс умножаемой индуктивности  $L_0$  с активным сопротивлением  $r_0$ ;  $R_2, R_3, R_4$  – активные сопротивления цепи комбинированной обратной связи усилителя DA2. Повторитель на усилителе DA1 с делителем  $R_A, R_B$  является вспомогательным устройством для реализации источника напряжения возбуждения  $U_2$ , синфазного напряжению  $U_1$ . Отношение напряжений источников возбуждения, в этом случае, имеет вид  $n = R_B / (R_A + R_B)$ . При таких условиях из (1) следует, что входной импеданс схемы на рис. 3 равен

$$\dot{Z}_{in} = (1 + R_B/R_A)(r_0 + j\omega L_0 - R_2R_3/R_4). \quad (10)$$

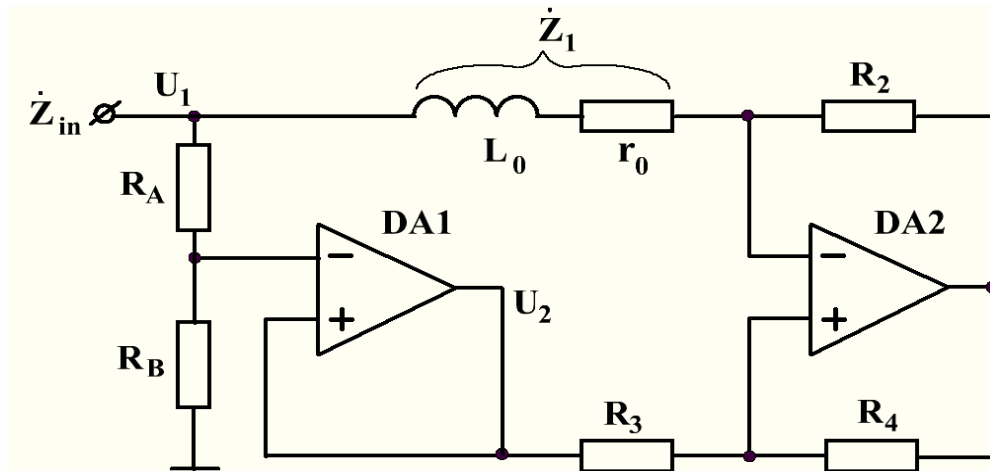


Рисунок 3 – Умножитель взвешенной индуктивности  $L_0$  с активным сопротивлением  $r_0$

В (10) выделяем действительную и мнимую части и получаем, соответственно, выражения для входного активного сопротивления  $r_{in}$  и входной индуктивности  $L_{in}$  как составляющих синтезированного входного импеданса  $\dot{Z}_{in}$

$$r_{in} = (1 + R_B/R_A)(r_0 - R_2R_3/R_4), \quad (11)$$

$$L_{in} = (1 + R_B/R_A)L_0. \quad (12)$$

Из (11) и (12) следует, что индуктивность  $L_0$  и активное сопротивление  $r_0$  преобразуются во входную индуктивность  $L_{in}$  и сопротивление  $r_{in}$  с коэффициентом преобразования  $(1 + R_B/R_A)$ , величиной которого можно управлять в широких пределах сопротивлениями  $R_A, R_B$  делителя. Из (11) также следует, что умножение сопротивления  $r_0$  сопровождается его компенсацией отрицательной активной составляющей входного импеданса  $R_{(-)} = -R_2R_3/R_4$ , при этом, если  $R_{(-)} \rightarrow r_0$ , то входное сопротивление  $r_{in} \rightarrow 0$ . Это указывает на возможность существенного повышения добротности синтезированной индуктивности.

**Выводы.** В результате проведенного анализа установлено:

- синтезированные умножители заземленного и взвешенного индуктивного импедансов являются преобразователями только в заземленный импеданс;
- разработанные умножители импеданса позволяют отдельно управлять величинами синтезированной индуктивности и ее активного сопротивления, которое может принимать положительные и отрицательные значения заданной величины;
- обобщенная модель преобразователей импеданса может использоваться в качестве базовой схемы для построения умножителей индуктивности.

#### ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Филановский И.М., Персианов А. Ю., Рыбин В.К. Схемы с преобразователями сопротивления. Л.: Энергия, 1973. 192 с.
2. Твердоступ Н.И. Обобщенная модель преобразователей импеданса. Вісник Дніпропетр. ун-ту. Фізика. Радіоелектроніка. 2010. Вип. 17, №2. С. 103 - 108.

#### REFERENCES

1. Filanovsky I.M., Persianov A. Yu., Rybin V.K. Circuits with resistance converters. L.: Energiya, 1973. 192 s.
2. Hardstup N.I. Generalized model of impedance converters. Visnik Dnipropetr. un-tu. Physics. Radioelectronika. 2010. Vip. 17, no. 2. S. 103 - 108.

Received 27.01.2021.  
Accepted 29.01.2021.

#### **Перетворювачі індуктивного імпедансу**

##### **на основі операційної схеми з комбінованим зворотним зв'язком**

*На основі операційної схеми з комбінованим зворотним зв'язком розроблені перетворювачі заземленої і зваженої індуктивностей в заземлену індуктивність, в яких реалізоване роздільне управління величинами складових синтезованого імпедансу.*

##### **Inductive impedance converters based on a combined feedback operating circuit**

*An operating scheme with combined feedback is characterized by a functionally complete set of input impedances, the values of which are determined by the amplitude and phase relationships between the voltages of the excitation sources, as well as the impedances in the positive and negative feedback circuits. Such an operating scheme is a generalized model of impedance converters, on the basis of which it is possible to significantly simplify the synthesis of converters and inverters of positive and negative impedances, taking into account the peculiarities of their inclusion in the electrical circuit.*

*For the synthesis of a converter of a grounded inductive impedance into a positive grounded inductance, a variant of the generalized model with one grounded excitation source in the form of a negative impedance converter is chosen. By serial double conversion of the initial inductive impedance at the output of the second converter, an inductive impedance is obtained,*

*which is a grounded inductance with an active resistance, the values of which depend on the feedback resistance of the converters. The latter makes it possible to independently control the values of the components of the synthesized inductive impedance.*

*The synthesis of the converter of ungrounded inductive impedance into positive grounded inductance is realized on the basis of a generalized model with two in-phase excitation sources. In the converter, the effect of separate multiplication of the inductive and active components of the initial impedance is achieved, and with the possibility of obtaining an active resistance of a given value with both positive and negative signs. The latter makes it possible to build a harmonic generator on the basis of the synthesized inductance, as well as to realize the inductance of a given value with a high quality factor.*

**Твердоступ Микола Іванович** – доцент, к. т. н., доцент кафедри електронних обчислювальних машин Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

**Твердоступ Николай Иванович** – доцент, к. т. н., доцент кафедри електронних вычислительных машин Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара.

**Tverdostup Mukola Ivanovich** - Associate Professor of Computer Systems Engineering Department of the Oles Honchar Dnipro National University.

## DATA TRANSFER RATE IN NOISY CHANNELS OF WIRELESS NETWORKS

*Annotation.* Analysis of new technologies IEEE 802.11ac/ax of wireless networks showed that increasing their noise immunity is an actual task. The article studies the efficiency of fragmented data frames transmission. Comparison of the efficiencies in the case of retransmission of the corrupted original frame and in the case of its fragmentation in a wide range of the physical data transfer rates is carried out.

*Key words:* wireless networks IEEE 802.11ac/ax, DCF mode, MAC efficiency, frame fragmentation, noise.

**Introduction.** Modern data transmission technologies in Wi-Fi networks: IEEE 802.11n, 802.11ac, 802.11ax are currently being intensively developed. Corresponding protocols regulate a number of means for increasing the main indicator of these networks – data transfer rate. The most significant of them are the following.

First, it is the expansion of the channel bandwidth. Instead of channels with a bandwidth  $\Delta f = 20$  MHz, which were used in 802.11a/g technologies, channels with  $\Delta f = 40$  MHz (802.11n),  $\Delta f = 80$  MHz and  $\Delta f = 160$  MHz (802.11ac, 802.11ax) are used.

Secondly, it is the decrease in the inter-symbol spacing. In technologies 802.11a/g, for reliable symbol recognition, an inter-symbol interval  $\Delta \tau = 800$  ns is used. In 802.11n technology, this interval is reduced to  $\Delta \tau = 400$  ns, in 802.11ac/ax even more.

Thirdly, this is the use of the number of antennas (up to 8) for transmitting and receiving data and implementation of transmission using several parallel spatial streams (MU-MIMO technology).

All this, as well as the application of the method of multiple access with orthogonal frequency division of the signal (OFDM/OFDMA), which provides coding the information on several subcarriers frequencies, allows to increase the physical data rate in the channel to approximately 7 Gbps for 802.11ac and 14 Gbps for 802.11ax.

Let's consider how the above tools affect the noise immunity of IEEE 802.11 wireless networks.

As noted by US Federal Communications Commission (FCC), an urgent problem for technologies using channels with a width  $\Delta f = 160$  MHz, operating in the range with a central frequency  $f = 5$  GHz, is "clearing the frequency range". The effect of noise increases as the channel bandwidth expands.

Reducing the inter-symbol interval  $\Delta \tau$  in 802.11n technology from 800 to 400 ns allows to increase the transmission rate for channels with a width  $\Delta f = 80$  MHz from 135 Mbps to only 150 Mbps. That is, inter-symbol spacing was reduced by 2 times, and the rate increased by only 11%. This is due to the presence of a certain time interval in the physical distribution of the intensity of each symbol. When  $\Delta \tau$  decreases, additional signal processing is used to correct the possible intersection of the neighboring symbols intensity distribution intervals in order to improve the recognition of symbols.

Reducing the inter-symbol intervals lowers the noise immunity of the transmitted data.

In the presence of a significant number of obstacles in the signal propagation area, reflected waves enter the receiver antenna. Multiple reflected signal loses its initial energy and arrives with a certain delay. This raises the problem of multipath signal propagation – one of the most significant problems in wireless communication systems.

To struggle the negative influence of multipath propagation, several antennas are used on the sender side and on the receiver side of the channel (MIMO scheme). This also allowed the formation of several parallel spatial data streams. In 802.11ac technology, which uses 8 antennas in the router, a directional signal formation mode (Beamforming) has been created. This mode is used, for example, between two routers in the backbone of the wireless network.

At the same time, the concentration of several spatial streams in one region of the channel, even despite, for example, different polarization of signals transmitted in each stream, leads to an increase in the mutual influence of signals. This effect is further enhanced with an increase in the intensity of external noise, blurring the distinctive features of signals of different streams.

Enhancements of coding when moving to 256QAM in 802.11ac and moving to 1024QAM in 802.11ax increases the peak data rate by increasing the number of data subcarriers. However, being closer to each other adjacent subcarriers frequencies are more sensitive to noise and mutual interference [1].

A very important characteristic of digital communication systems is Signal to Noise Ratio (SNR) [2]. SNR is defined as the ratio of signal energy per bit to noise power density per Hertz ( $E_b/N_0$ ). For thermal noise

$$SNR = \frac{E_b}{N_0} = \frac{W}{kT \cdot R}, \quad (1)$$

where  $W$  is the signal power,  $k$  is the Boltzmann constant,  $T$  is the absolute temperature, and  $R$  is the data transfer rate in bits per second. The  $E_b/N_0$  ratio is of great practical importance, since bit error rate (BER) is a decreasing function of this ratio. With a constant signal power and temperature, an increase in data transfer rate increases the BER value.

**Problem statement.** Investigate the possibility of improving the efficiency of wireless networks at the MAC level in conditions of increased noise intensity.

**Main part.** At the MAC layer, the basic scheme of wireless local area networks (WLANs) is distributed coordination function (DCF), which is based on the Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA) mechanism [3,4]. In the case of collisions and noisy channel errors, the access point (AP) in infrastructure topology of WLAN can't decode any frames and do not send back ACKs. The sender (STA) waits for a potential acknowledgment (ACK) until the end of corresponding timeout.

In the ideal case, the channel is regarded as perfect, i.e. neither errors in channel nor collisions occur, and in any transmission cycle, there is only one active STA which always has frames to transmit. The AP only responds with ACKs, and the other STAs just sense the channel and wait.

Then the ideal throughput  $S_{DCF(id)}$  can be defined as (1) [5]:

$$S_{DSF(id)} = \frac{L_{data}}{T_{DIFS} + T_{\frac{CW}{2}} + T_{data} + T_{SIFS} + T_{ACK} + 2\delta}, \quad (2)$$

where  $L_{data}$  is the MAC layer frame size in bits;  $T_{\frac{CW}{2}} = \sigma \cdot (CW_{min} - 1) / 2$ , where  $\sigma$  stands for the idle slot duration;  $CW_{min}$  is the minimum (initial value) of the contention window; SIFS and DIFS are the interframes intervals; ACK is the acknowledgment's frame;  $\delta$  is the propagation delay.

Using (2) in [6] for IEEE 802.11n calculated the MAC efficiency while the physical (PHY) rate is increased from 54 to 432 Mbps. In this work MAC efficiency  $Q$  represents the ideal throughput normalized to the PHY rate  $R$ .

In this work we assume that all stations generate traffic of the same priority with the same payload size, and hence, they have the same probability of winning the channel contention. –

Our network uses one AP and all stations work in saturated mode, i.e. data frames are always available in their transmission buffers. We also assume that the lifetime of each data frame is infinite, so that a data frame is repeatedly retransmitted until its delivery is successful.

The network performance is affected by two different aspects [7]:

- at first, the probability of having a successful channel access grant;
- at second, the channel’s utilization efficiency.

The first aspect, which represents the probability that a single station wins a channel contention, depends on the number of competing stations and the value of frame error rate (FER). The second aspect, which represents the overheads that are required for data delivery, is a function of access mode (i.e. basic or RTS/CTS), acknowledgment policy (i.e. immediate or block ACK), block size and FER.

In this work we use basic access mode (DCF), immediate ACK and one frame in block. The effect of number of stations competing for access to the channel on the network throughput is also outside the scope of this article. The next work will be devoted to the study of the joint influence of interference and collisions on the data transfer rate.

We use the discrete-time memory-less Gaussian channel. In such a channel, the bit errors independently and identically distributed over a frame [8]. Let  $L$  and  $p_b$  denote the frame size and the bit error rate (BER) respectively, and  $p_e$  denote the frame error rate (FER), then  $p_e$  is defined as:

$$p_e = 1 - (1 - p_b)^L \tag{3}$$

The results of calculating the  $p_e$  value are shown in Table 1.

Table 1

Dependence of frame error rate  $p_e$  on BER and the frame fragmentation coefficient  $k$

$p_b$ (BER)	$p_e$ (FER)				
	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=5$
$10^{-5}$	0,11	0,06	0,04	0,03	0,02
$5 \cdot 10^{-5}$	0,45	0,26	0,18	0,14	0,11
$10^{-4}$	0,70	0,45	0,33	0,26	0,21

As follows from Table 1, delivery of a frame of length  $L = 1500$  bytes ( $k = 1$ ) becomes problematic even at  $BER = 5 \cdot 10^{-5}$ , and at  $BER = 10^{-4}$  the frame error probability

reaches  $p_e = 0,7$ . This probability decreases significantly when the frame is fragmented. At the same time, fragmentation reduces the network throughput  $S$  due to an increase in overhead when transferring the same amount of data  $L_{data}$ .

Let's take a closer look at this process. In the basic DCF scheme, only first fragment in a transmitted frame contends for a channel access, the other fragments are transmitted after deferring a SIFS interval. But after each fragment, an ACK is sent back by the access point (AP).

We define the transmission efficiency  $Q$  of fragmented frames in the form:

$$Q = \frac{S}{R} = \frac{T_{data}}{T_{in} + k(T_{SIFS} + T_{ACK} + T_{MAChdr} + 2\delta) + T_{data}}, \quad (4)$$

where  $T_{in} = T_{DIFS} + T_{CW} + T_{PHYhdr}$ ,  $T_{PHYhdr}$  and  $T_{MAChdr}$  are headers of PHY and MAC levels respectively;  $k$  – coefficient of fragmentation.

Development of (4) was made taking into account the materials [5, 9]. When calculating by formula (4) we used the parameters corresponding to the IEEE 802.11ac protocol, collected in Table I of work [10]. In particular:  $T_{DIFS} = 34 \mu s$ ,  $T_{SIFS} = 16 \mu s$ ,  $W_{min} = 15$ ,  $\sigma = 9 \mu s$ ,  $T_{PHYhdr} = 68,8 \mu s$ ,  $L_{MAChdr} = 272 \text{bit}$ ,  $T_{MAChdr} = L_{MAChdr}/R$ ,  $T_{ACK} = T_{PHYhdr} + L_{ACK}/6 \text{ Mbps} = 87,5 \mu s$  (RTS, CTS and ACK rates is 6 Mbps for 802.11ac),  $\delta = 0,33 \mu s$  (the distance between the sender and the receiver was assumed to be 100 m),  $L_{data} = 1500 \text{ byte}$  (12000 bit),  $T_{data} = L_{data}/R$ . The calculation results are given in Table 2 and are shown in Fig.1.

Table 2

MAC efficiency  $Q$  of network with varying degrees of data frame fragmentation  $k$

R, Mbps	Q				
	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5
54	0,443	0,364	0,309	0,268	0,237
100	0,304	0,238	0,196	0,167	0,145
200	0,179	0,136	0,110	0,092	0,079
300	0,127	0,095	0,076	0,063	0,054
400	0,098	0,073	0,058	0,048	0,041
600	0,068	0,050	0,040	0,033	0,028
800	0,052	0,038	0,030	0,025	0,021
1000	0,042	0,031	0,024	0,020	0,017
1200	0,035	0,026	0,020	0,017	0,014

As follows from the Fig.1, with an increase in the physical rate  $R$ , the efficiency of the network decreases due to a relative increase in the overhead for data transmission with a decreasing value of  $T_{data}$ . For the same reason, due to an increase in the number of headers of transmitted fragments and the number of service frames ACK efficiency decreases with an increase in the fragmentation coefficient  $k$ .

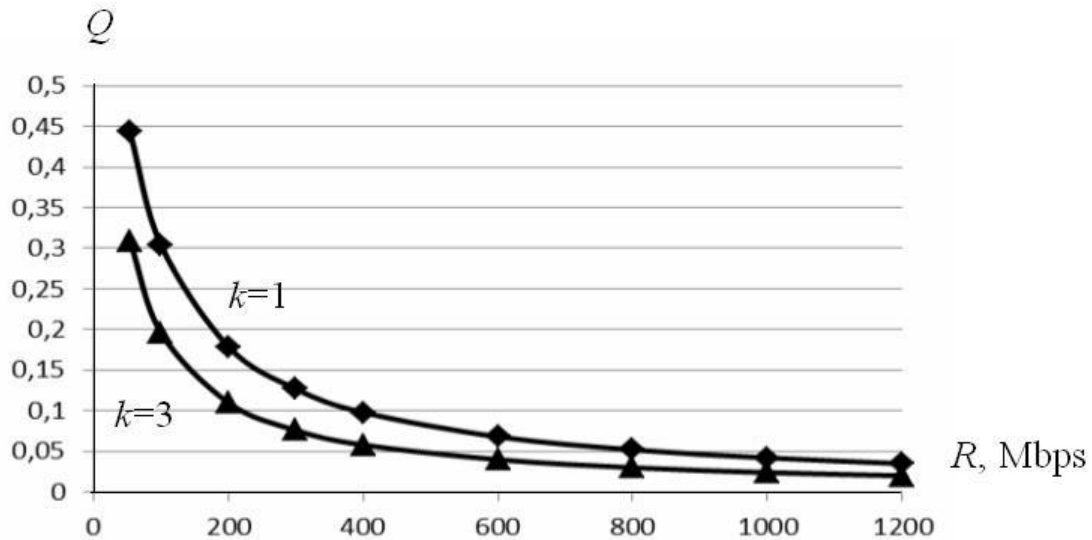


Figure 1 – Dependencies of MAC efficiency  $Q$  on the physical data rate  $R$  for different values of the fragmentation coefficient  $k$

However, you should pay attention to Tabl.1. At  $p_b$  (BER) =  $10^{-4}$ , dividing the original frame with  $L_{data} = 12000$  bit into three fragments reduces the probability of the frame distortion from  $p_e = 0,7$  to  $p_e = 0,33$ .

It is very likely that when  $p_e = 0,7$  the original frame will be damaged and it will need to be retransmitted after the ACK timeout. We took this timeout to be  $120 \mu s$ . The corresponding plot for  $k = 1$  is shown in Fig.2. Here, for comparison, we left the plot for  $k = 3$ .

The curves in Fig.2 show that the efficiency  $Q$  in the range of low rates  $R$  for the corrupted and retransmitted frame with  $k = 1$  becomes lower than for the same frame with  $k = 3$ . Table 3 shows the values of deviation  $\Delta Q$  for various data rates  $R$ :

$$\Delta Q_{12} = Q(k = 1) - Q(k = 2), \Delta Q_{13} = Q(k = 1) - Q(k = 3), \Delta Q_{14} = Q(k = 1) - Q(k = 4)$$

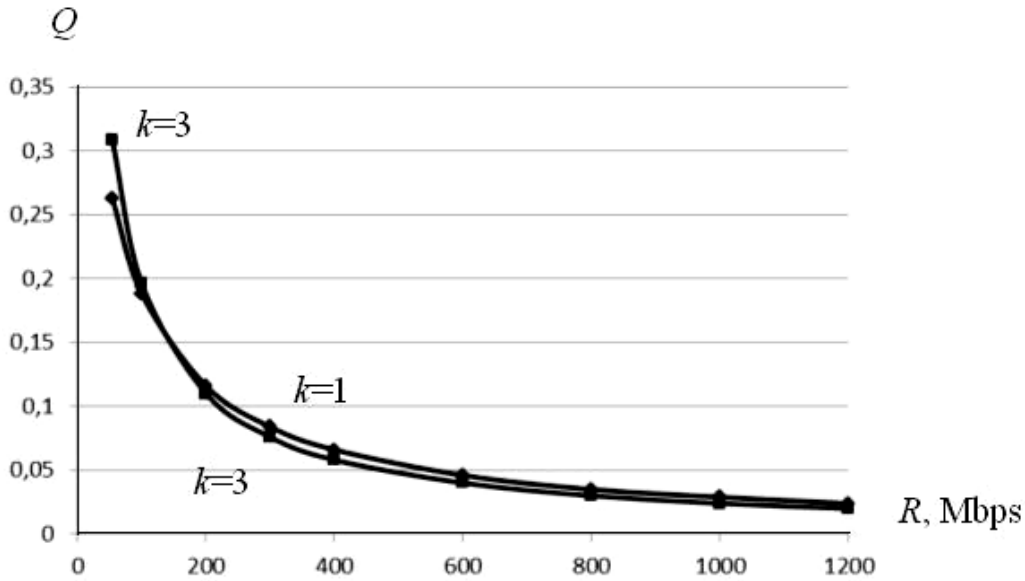


Figure 2 – Effect of retransmission of the corrupted frame with  $k = 1$

Table 3

Deviations  $\Delta Q$  for different values of the fragmentation coefficient  $k$

$\Delta Q$	R, Mbps								
	54	100	200	300	400	600	800	1000	1200
$\Delta Q_{12}$	-0,101	-0,05	-0,02	-0,011	-0,007	-0,004	-0,003	-0,002	-0,002
$\Delta Q_{13}$	-0,046	-0,008	0,006	0,008	0,008	0,006	0,005	0,005	0,004
$\Delta Q_{14}$	-0,005	0,021	0,024	0,021	0,018	0,013	0,010	0,009	0,007

As follows from the above data, the retransmission of the original frame leads to a significant decrease in the efficiency  $Q$ . For the fragmentation variant with  $k = 3$ , the efficiencies become comparable. At the same time, it should be noted that retransmission original frame will reduce the probability of damage to a pair of frames for  $p_b(\text{BER}) = 10^{-4}$  to 0,49, while its fragmentation with  $k = 2$  will reduce the probability of separate frame damage to 0,45, and with  $k = 3$  – to 0,33.

### Conclusions

1. Analysis of new technologies IEEE 802.11ac/ax of wireless networks showed that the measures taken to increase the speed of the networks do not contribute to increasing their noise immunity. Reducing the effect of noise on operation of Wi-Fi 5<sup>th</sup> and 6<sup>th</sup> generations networks remains an actual task.

2. Fragmentation of the original frame increases the probability of data transfer, but at the same time reduces the efficiency of the network due to increased overhead. The article studies the efficiency of transmission of fragmented data

frames. Comparison of the efficiencies in the case of retransmission of the corrupted original frame and its fragmentation in a wide range of physical data rates is carried out. It is shown that if the probability of corruption is more than 0.5, it is expedient to divide the frame into 2-4 paths in the case of using ACK for each fragment.

#### REFERENCES

1. IEEE 802.11ax: The Sixth Generation of Wi-Fi, White Paper [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/white-paper-c11-740788.html>.
2. Stallings W. Wireless Communications and Networking / W. Stallings. – Upper Saddle River (N. J.): Prentice Hall, 2003. – 638 p.
3. Kurose J. Computer Networking; A Top-Down Approach / J. Kurose, K. Ross. – 6<sup>th</sup> ed. – New Jersey : Pearson Education Inc., 2016. – 912 p.
4. Patidar R., Roy S., Henderson T.S., Mehrnoush M. Validation of Wi-Fi network simulation on ns-3: technical report WA 98185. – University of Washington, Aug., 2017. – 13 p.
5. Xiao Y. Performance analysis and enhancement for the current and future IEEE 802.11 MAC protocols / Y. Xiao, J. Rosdahl // ACM SIGMOBILE, Mobile Computing and Communications Review (MC2R), special issue on Wireless Home Networks. – Apr. 2003.- Vol.7, No.2.- P.6-19.
6. Li T. Performance analysis of IEEE 802.11e Block ACK scheme in a noisy channel / T. Li, Q. Ni, T. Turletti, Y. Xiao // Proc. IEEE BroadNet. – 2005.- Vol.1- P.511-517.
7. Lee H. A performance analysis of block ACK scheme for IEEE 802.11e networks / H. Lee, I. Tinnirello, J. Yu, S. Choi // Compute Networks. – 54 (2010).- P.2468-2481.
8. Cover T. Elements of Information Theory / T. Cover, J. Thomas. – John Wiley & Sons, 1991. – 328 p.
9. Duda A. Understanding the performance of 802.11 / A. Duda // IEEE 978-1- 4244-2644-7/08/ 2008. – 6 p.
10. Chang Z. Performance analysis of IEEE 802.11ac DCF with hidden nodes / Z. Chang, O. Alanen, T. Huovinen, T. Nihtila, E.H. Ong, J. Knecht and T. Ristaniemi // IEEE 978-1-4673-0990-5/12/2012.- 5 p.

Received 26.01.2021.

Accepted 01.02.2021.

#### **Швидкість передачі даних в зашумлених каналах бездротових мереж**

*Аналіз нових технологій IEEE 802.11ac/ax бездротових мереж показав, що засоби, які застосовуються для підвищення швидкості передачі даних в мережах, не сприяють підвищенню їх завадостійкості. Зменшення впливу шуму на роботу Wi-Fi мереж п'ятого і шостого поколінь залишається актуальною задачею.*

*В статті досліджується ефективність передачі фрагментованих фреймів даних в зашумлених каналах. Фрагментація фрейму підвищує імовірність передачі даних, проте знижує ефективність роботи бездротової мережі внаслідок збільшення накладних расхо-*

дів на передачу заданого об'єму даних. Проведене порівняння ефективностей у випадку повторної передачі первинного викривленого фрейму і у випадку його фрагментації з різними коефіцієнтами в широкому діапазоні фізичних швидкостей передачі 54 – 1200 Мбіт/с. Показано, що при рівні шуму, який відповідає  $BER = 10^{-4}$ , доцільно розділяти фрейм з довжиною поля даних  $(12-16) \cdot 10^3$  біт на 2 – 4 частини у випадку використання підтвердження АСК після кожного фрагменту.

#### **Data transfer rate in noisy channels of wireless networks**

*Analysis of new technologies IEEE 802.11ac/ax wireless networks showed that increasing their noise immunity is an actual task. The paper discusses the transmission efficiency of fragmented data frames. The transmission efficiency of a damaged frame is compared in the case of its retransmission and in the case of its fragmentation in a wide range of physical data transmission rates.*

**Хандецький Володимир Сергійович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електронних обчислювальних машин Дніпровського національного університету імени Олеся Гончара.

**Сівцов Дмитро Павлович** – завідувач лабораторії комп'ютерної інженерії кафедри електронних обчислювальних машин Дніпровського національного університету імени Олеся Гончара.

**Панін Костянтин Вікторович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри Дніпровського національного університету імени Олеся Гончара.

**Хандецкий Владимир Сергеевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электронных вычислительных машин Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара.

**Сивцов Дмитрий Павлович** – заведующий лабораторией компьютерной инженерии кафедры электронных вычислительных машин Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара.

**Панин Константин Викторович** – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры Днепропетровского национального университета имени Олеся Гончара.

**Khandetskyi Volodymyr Sergievich** – Doctor of Sciences, Professor, Head of Computer Systems Engineering Department of the Oles Honchar Dnipro National University.

**Sivtsov Dmutro Pavlovich** – Head of Computer Engineering Laboratory of Computer Systems Engineering Department of the Oles Honchar Dnipro National University.

**Panin Kostjantun Victorovich** – Associate Professor of Department of the Oles Honchar Dnipro National University.

К.Ю. Островська, І.В. Стовпченко, В.В. Аніщенко

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗПОДІЛЕНИХ АЛГОРИТМІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ

*Анотація.* Робота присвячена дослідженню ефективності розподілених алгоритмів машинного навчання реалізованих в проекті Apache Mahout.

*В результаті роботи був проведений аналіз ефективності алгоритмів машинного навчання за допомогою методу кластеризації *k*-середніх (*k*-Means) і методу нечіткої кластеризації *k*-середніх (*fuzzy k*-Means / *c*-Means), реалізованих в проекті Apache Mahout.*

*Отримано результати тестування обох методів кластеризації на однакових наборах даних.*

*Розглянуто точність кластеризації кожного методу, а також побудовані порівняльні діаграми результатів досліджуваних методів.*

*Ключові слова:* алгоритм, apache mahout, *k*-means, *fuzzy k*-means / *c*-means, нечітка кластеризація, машинне навчання, hadoop.

У даній роботі розглянуто зберігання, обробка і аналіз великих обсягів даних, а також алгоритми машинного навчання, які реалізують обробку і вилучення необхідної інформації з великих, не завжди структурованих обсягів даних.

**Постановка задачі.** В роботі потрібно провести аналіз ефективності алгоритмів машинного навчання за допомогою методу кластеризації *k*-середніх (*k*-Means) і методу нечіткої кластеризації *k*-середніх (*fuzzy k*-Means / *c*-Means), реалізованих в проекті Apache Mahout.

Провести збірку і настройку кластера, на якому буде виконуватися тестування. На обчислювальному кластері розгорнути розподілену файлову систему HDFS, призначену для обробки великих обсягів даних.

Розгорнути проект Apache Mahout, який надає доступ до реалізації розподілених і масштабованих алгоритмів машинного навчання.

Отримати результати тестування обох методів кластеризації на однакових наборах даних.

Дослідити точність кластеризації кожного методу, а також побудувати порівняльні діаграми результатів досліджуваних методів.

**Апаратно-програмне середовище. Hadoop** - це вільно поширюваний набір утиліт, бібліотек і фреймворк для розробки і виконання розподілених програм, що працюють на кластерах з сотень і тисяч вузлів. Ця технологія зберігання і обробки Big Data є проектом верхнього рівня фонду Apache Software Foundation.

Проект складається з основних 4-х модулів:

- Hadoop Common - набір програмних бібліотек і утиліт, які використовуються для управління розподіленими файлами і створення необхідної інфраструктури;

- HDFS - розподілена файлова система, Hadoop Distributed File System - технологія зберігання файлів на різних серверах даних;

- MapReduce - набір системних програм, що забезпечують спільне використання, масштабування і надійність роботи розподілених додатків;

- Hadoop MapReduce - платформа програмування і виконання розподілених MapReduce-обчислень, з використанням великої кількості комп'ютерів (вузлів), що утворюють кластер.

Для полегшення машинного навчання на великих даних в Apache Software Foundation працює проект під назвою «Apache Mahout».

Mahout - перша велика бібліотека, що реалізувала багато популярних алгоритми засобами MapReduce.

Мета Apache Mahout - надати масштабовані бібліотеки, які дозволяють розподілено запускати різні алгоритми машинного навчання в Hadoop. На даний момент Mahout підтримує тільки кластеризацію, класифікацію і розробку рекомендацій.

Кластеризація являє з себе процедуру організації елементів в групи, на основі подібності між елементами за певними критеріями.

Для порівняння двох об'єктів, необхідно мати критерій, на підставі якого буде відбуватися порівняння.

Як правило, таким критерієм для алгоритмів кластеризації є відстань між об'єктами.

**Кластеризація за допомогою Apache Mahout.** Бібліотека Mahout підтримує кілька варіантів алгоритмів кластеризації, написаних в парадигмі Map - Reduce, кожен зі своїм власним набором цілей і критеріїв.

k-Means (fuzzy k-Means): групує елементи в k-кластери, ґрунтуючись на відстані від цих елементів до центроїда, або центра ваги попередньої ітерації.

Використовуючи Mahout можна кластеризувати набір даних за допомогою алгоритму k-Means, що складається з наступних етапів:

- Вибір оптимального алгоритму для угруповання елементів кластера, в нашому випадку це алгоритм k-Means .
- Визначити метрики для перевірки схожості з знову виявленими елементами.
- Визначити умову зупинки, коли подальша кластеризація не має сенсу.
- Підготовка вхідних даних.
- Далі необхідно перетворити файли в файли, які розташовані за допомогою команди seqdirectory, яка генерує проміжне уявлення документа в форматі SequenceFile з текстових документів в структурі каталогів.
- Перетворення текстових документів в форматі SequenceFile в вектори.
- Запуск обраного алгоритму кластеризації за допомогою одного з безлічі, які підтримують Hadoop програми-драйверів, наявних в Mahout.
- Оцінка одержаних результатів.
- Повторення алгоритму в міру необхідності.

**Методи кластеризації, що тестуються.** В результаті проведеної роботи були використані два алгоритми кластеризації k-Means і c-Means (Fuzzy k-Means) з метою протестувати дані алгоритми машинного навчання, виявити їх переваги та недоліки, а так само провести порівняльний аналіз результатів.

**Метод кластеризації K-Means. Алгоритм роботи k-Means.**

1. Здається число кластерів k, яке повинно бути сформовано з об'єктів вихідної вибірки.
2. Випадковим чином вибирається k записів вихідної вибірки, які слугуватимуть початковими центрами кластерів.
3. Для кожного запису вихідної вибірки визначається найближчий до неї центр кластера.
4. Проводиться обчислення - центрів тяжіння кластерів. Це робиться шляхом простого визначення середнього для значень кожного ознаки для всіх записів в кластері.

Кроки 3 і 4 повторюються до тих пір, поки виконання алгоритму лише буде перервано або не буде виконана умова відповідно до деякого критерію збіжності.

Зупинка алгоритму проводиться тоді, коли кордони кластерів і розташування центроїдів не перестануть змінюватися від ітерації до ітерації, тобто на кожній ітерації в кожному кластері буде залишатися один і той же набір записів.

**Тестування алгоритму K-Means за допомогою Mahout.** Всі об'єкти повинні бути представлені у вигляді набору числових ознак. Користувач повинен вказати кількість  $k$  груп, які він бажає ідентифікувати.

Кожен об'єкт може розглядатися як представлений деяким вектором ознак в  $n$ -мірному просторі, де  $n$  - це число всіх об'єктів, використовуваних для опису об'єктів для кластеризації.

Каталог даних містить кілька вхідних файлів SequenceFile (Key, VectorWritable), каталог кластерів містить один або кілька файлів SequenceFile (Text, Cluster), що містять  $k$  вихідних кластерів. Жоден з вхідних пошукових систем не модифікується реалізацією, що дозволяє експериментувати з початковими значеннями кластеризації і збіжності.

Алгоритм кластеризації  $k$ -Means може бути запущений з використанням виклику командного рядка для KMeansDriver .main або шляхом виклику Java для KMeansDriver.runJob ().

Діаграма на рисунку 1, показує потік даних прикладу реалізації  $k$ -Means, наданого в Mahout.

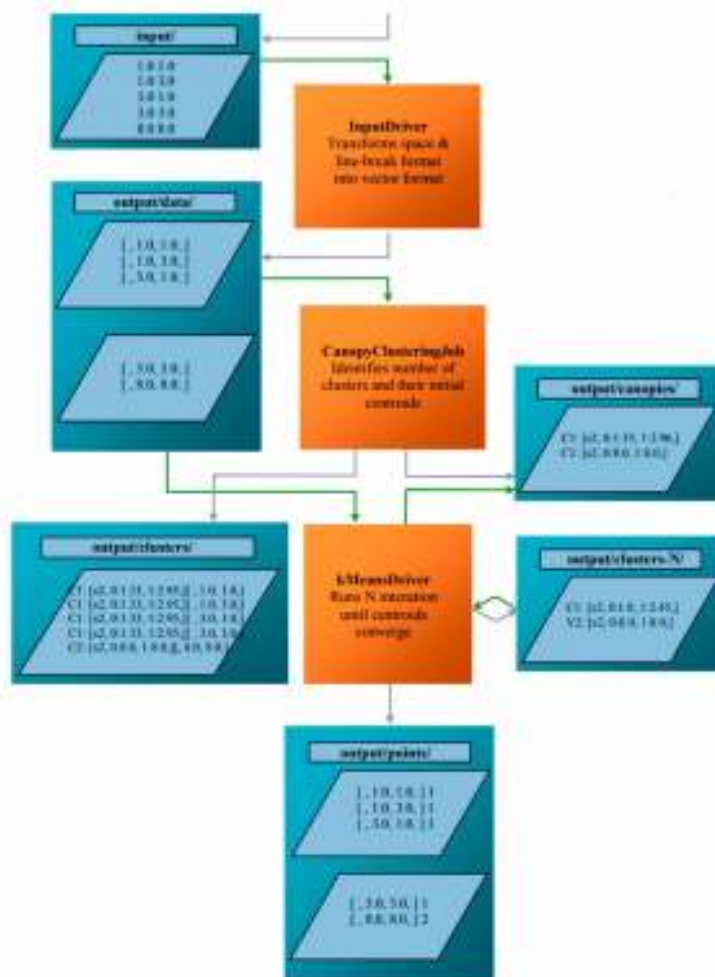


Рисунок1 - Потік даних алгоритму k-Means в Mahout

**Результати кластеризації K-Means.** Рисунки 2 - 4 ілюструють кластеризацію k-Means, застосовану до набору випадково згенерували двовимірних точок даних.

Точки генеруються з використанням нормального розподілу з центром в середньому місці і з постійним стандартним відхиленням.

Точки генеруються наступним чином:

500 точок  $m = [1,0, 1,0]$   $sd = 3,0$

300 точок  $m = [1,0, 0,0]$   $sd = 0,5$

300 точок  $m = [0,0, 2,0]$   $sd = 0,1$

На рисунку 3 побудовані точки і накладені кордони 3-sigma генератора.

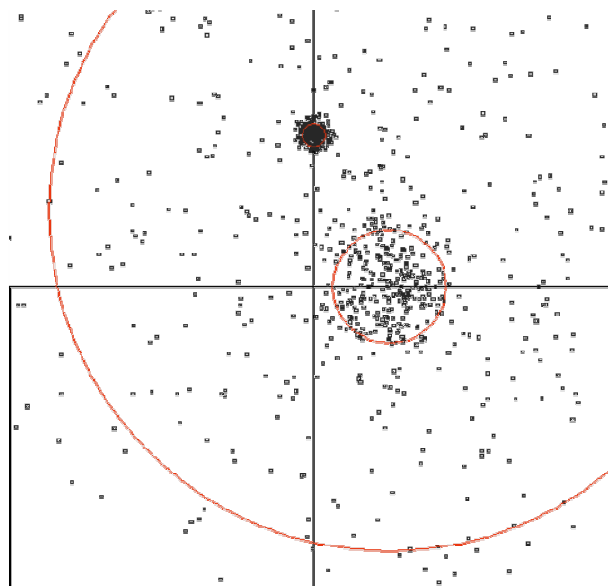


Рисунок 2 - Генеруються точки вибірки

На рисунку 3 результуючі кластери ( $k=3$ ) показані накладеними на дані вибірки.

Оскільки  $k$ -Means є ітеративним алгоритмом, центри кластерів в кожній попередній ітерації показані різними кольорами.

Жирний червоний колір позначає остаточну кластеризацію, а попередні ітерації показані [помаранчевим, жовтим, зеленим, синім, фіолетовим і сірим].

Хоча алгоритм пропускає багато точок і не може захопити вихідні кластерні центри з накладенням, він непогано справляється з кластеризацією цих даних.

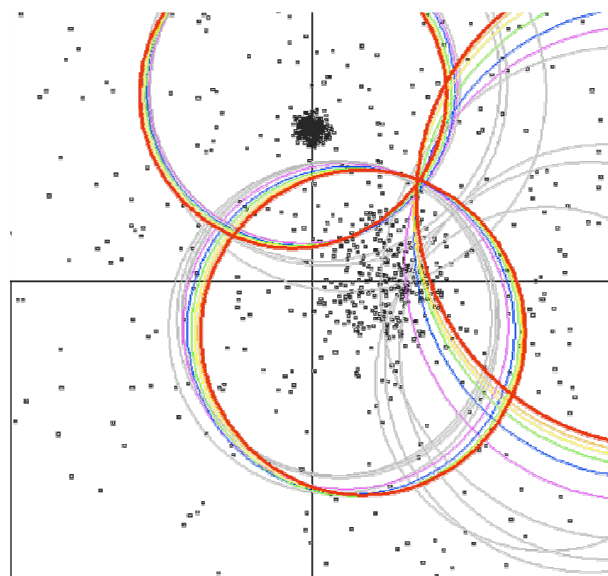


Рисунок 3 - Результуючі кластери  $k$ -Means

На рисунку 4 показані результати запуску k-Means для іншого набору даних, який генерується з використанням асиметричних стандартних відхилень. k-Means також справляється з цим набором даних.

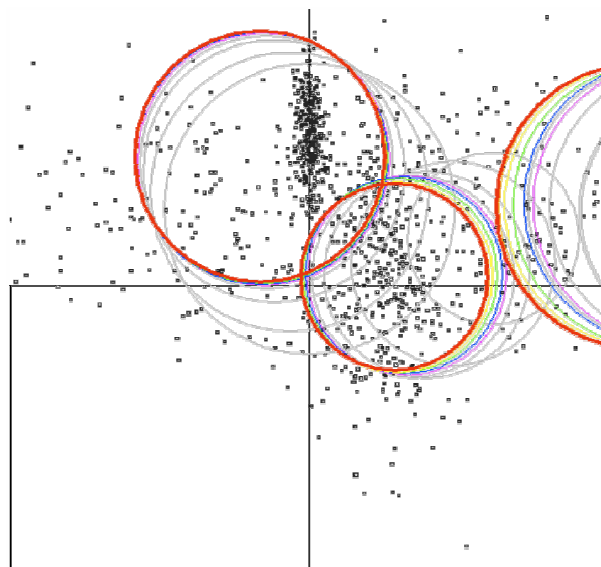


Рисунок 4 - Результати алгоритму k-Means на вибірці, згенерованої з симетричним стандартним відхиленням

**Метод нечіткої кластеризації fuzzy k-Means.** Метод нечіткої кластеризації fuzzy k-Means (с-Means) дозволяє розбити наявне безліч елементів потужністю  $N$  на задане число нечітких множин  $k$ . Метод нечіткої кластеризації с-Means можна розглядати як вдосконалений метод k-Means, при якому для кожного елемента з розглянутої безлічі розраховується ступінь її приналежності кожному з кластерів.

Етапи реалізації алгоритму:

1. Поставити випадковим чином  $k$  центрів кластерів  $c_j, j = 1..k$ ;
2. Розрахувати матрицю приналежності елементів до кластерів  $r$ . В разі нормального розподілу:

$$r_{ij} = \frac{\mathcal{N}(d(x_i, c_j) | \mu = 0, \sigma)}{\sum_j^k \mathcal{N}(d(x_i, c_j) | \mu = 0, \sigma)}, \quad (1)$$

де  $x_i$  -  $i$ -й елемент безлічі,  $c_j$  - центр кластера  $j$ ,  $d(x_i, c_j)$  - відстань між точками  $x_i$  і  $c_j$ ,  $\mathcal{N}$  - щільність ймовірності нормального розподілу в точці  $d(x_i, c_j)$ .

3. Перемістити центри кластерів

$$c_j \leftarrow \frac{\sum_i r_{ij} x_i}{\sum_i r_{ij}} \quad (2)$$

4. Розрахувати функцію втрат. У разі нормального розподілу функція втрат буде дорівнює:

$$J = \sum_j^k \sum_i^N d(x_i, c_j)^2 r_{ij} \quad (3)$$

5. Якщо значення функції втрат зменшується, то повторити цикл з пункту 2.

**Тестування алгоритма fuzzy k-Means за допомогою Mahout.** Fuzzy k-Means (Fuzzy c-Means) є розширенням K-Means, популярного простого методу кластеризації. У той час як k-Means виявляє жорсткі кластери (точки належать тільки одному кластеру), Fuzzy k-Means є більш статистично формалізованим методом і виявляє м'які кластери, в яких конкретна точка може належати більш ніж до одного кластеру з певною ймовірністю.

Як і k-Means, Fuzzy k-Means працює з тими об'єктами, які можуть бути представлені в n - мірному векторному просторі, і визначається міра відстані.

Алгоритм:

1. Ініціалізувати k кластерів

2. Поки не зійшлися:

- Обчислити ймовірність того, що точка належить кластеру для кожної пари <point, cluster>.

- Перерахувати центри кластерів, використовуючи наведені вище значення ймовірності членства точок в кластерах.

**Реалізація алгоритму fuzzy K-Means.** Він приймає вхідний файл, який містить векторні точки. Користувач може надати центри кластерів в якості вхідних даних або дозволити запуск алгоритму навісу і створення початкових кластерів.

Подібно k-Means, програма не змінює вхідні каталоги. І для кожної ітерації вихідні дані кластера зберігаються в каталозі cluster-N.

Алгоритм Fuzzy k-Means може бути запущений з використанням виклику командного рядка для FuzzyKMeansDriver.main або шляхом виклику Java для FuzzyKMeansDriver.run().

**Результати кластеризації методу fuzzy K-Means.** На рисунках 5 – 7 представлені зображення, що ілюструють кластеризацію Fuzzy k-Means, застосовану до набору випадково згенерували двовимірних точок даних.

Точки генеруються з використанням нормального розподілу з центром в середньому місці і з постійним стандартним відхиленням.

Точки генеруються наступним чином:

1. 500 точок  $m = [1.0, 1.0]$   $sd = 3.0$
2. 300 точок  $m = [1.0, 0.0]$   $sd = 0.5$
3. 300 точок  $m = [0,0, 2.0]$   $sd = 0.1$

На рисунку 5 побудовані точки і накладені кордони 3 sigma генератора.

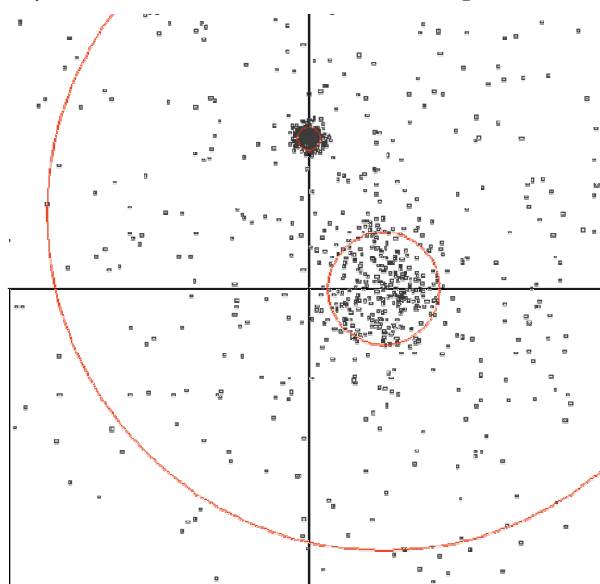


Рисунок 5 - Генеруються точки вибірки

На рисунку 6 результуючі кластери ( $k = 3$ ) показані накладеними на дані вибірки.

Оскільки Fuzzy k-Means є ітеративним алгоритмом, центри кластерів в кожній недавньої ітерації показані різними кольорами.

Жирний червоний колір позначає остаточну кластеризацію, а попередні ітерації показані [помаранчевим, жовтим, зеленим, синім, фіолетовим і сірим].

Хоча він пропускає багато точок і не може захопити вихідні кластерні центри з накладенням, він непогано справляється з кластеризацією цих даних.

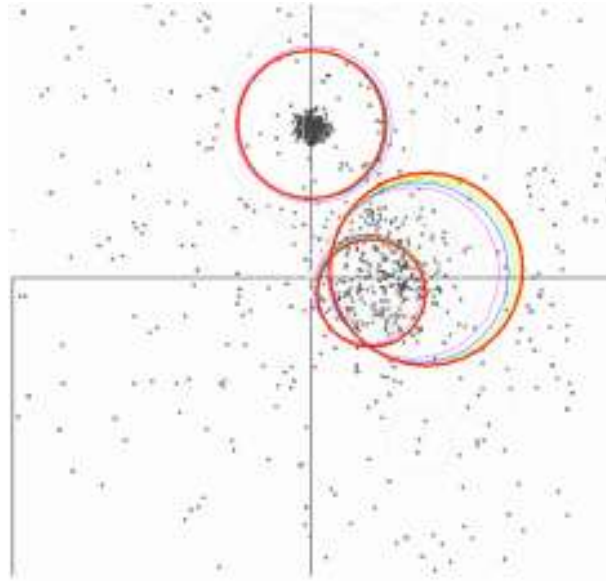


Рисунок 6 - Результуючі кластери fuzzy k-Means

На рисунку 7 показані результати запуску fuzzy k-Means для іншого набору даних, який генерується з використанням асиметричних стандартних відхилень.

Fuzzy k-Means також справляється з цим набором даних.

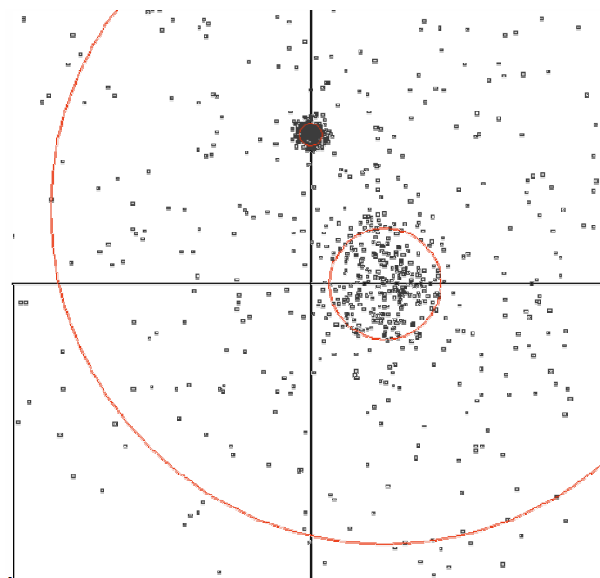


Рисунок 7 - Результати алгоритму fuzzy k-Means на вибірці, згенерованої з симетричним стандартним відхиленням

**Конфігурація тестових обчислювальних систем.** При тестуванні методів використовувався кластер з двома обчислювальними вузлами на базі платформи Intel Sandy Bridge (таблиця 1).

Конфігурація керуючого вузла (таблиця 2).

Для первинного тестування використовувалася одна машина з налаштованим фреймворком Hadoop і Apache Mahout (таблиця 3).

Таблиця 1

Конфігурація обчислювального вузла

Системная плата	Gigabyte GA-Z77-DS3H
Процессор	QuadCore Intel Core i5-2500K, 4200 MHz (42 x 100)
Оперативная память	16 GB (2 x 8GB DDR3 1600 MHz SDRAM)
Жесткий диск	SATAIII 2000GB (Seagate Barracuda ST2000318AS)
Сетевая карта	Qualcomm Atheros AR8151 PCI-E Gigabit Ethernet Controller (NDIS 6.20)

Таблиця 2

Конфігурація керуючого вузла

Системная плата	DAZAAMB16E0
Процессор	QuadCore Intel Core i5 7200U 3100 МГц
Оперативная память	10 GB (8GB + 2GB DDR4 2133 MHz SODIMM)
SSD диск	Kingston 120Gb VU400
Жесткий диск	SATAIII 1000GB (Western Digital Blue)
Сетевая карта	Qualcomm Atheros AR8151 PCI-E Gigabit Ethernet Controller (NDIS 6.20)

Таблиця 3

Конфігурація локальної ВС

Системная плата	Asus P8Z77-V LK
Процессор	QuadCore Intel Core i7-3770K, 4700 MHz (47 x 100)
Оперативная память	16Gb (2 x 8Gb DDR3 1866 MHz KHX2133C11D3/8GX)
SSD диск	Диск #1 - Samsung SSD 850 EVO 250GB (232 ГБ)
Жесткий диск	Диск #2 - ST2000DM001-1CH164 (1863 ГБ)
Сетевая карта	Realtek RTL8168/8111 Gigabit Ethernet

**Висновки.** В результаті роботи був проведений аналіз ефективності алгоритмів машинного навчання за допомогою методу кластеризації к-середніх (k-Means) і методу нечіткої кластеризації к-середніх (fuzzy k-Means / c-Means), реалізованих в проекті Apache Mahout.

Отримано результати тестування обох методів кластеризації на однакових наборах даних.

Розглянуто точність кластеризації кожного методу, а також побудовані порівняльні діаграми результатів досліджуваних методів.

### ЛІТЕРАТУРА / ЛИТЕРАТУРА

1. Ralf Lammel. Google's MapReduce Programming Model - Revisited. 2017р., 42с. URL: <https://userpages.uni-koblenz.de/~laemmel/MapReduce/paper.pdf>
2. Tom White. Hadoop: The Definitive Guide. THIRD EDITION. O'RELLY. - 2013р., 647с.

3. Чак Лем. Hadoop в дії. Москва. - 2012р., 448с.
4. MicheleNemschoff. Maximize Performance and Scalability Within Your Hadoop Architecture. 2014р.  
URL: <https://www.smartdatacollective.com/how-maximize-performance-and-scalability-within-your-hadoop-architecture/>
5. Sea Owen, Robin Anil, Ted Dunning, Ellen Friedman. Mahout in action. MANNING. - 2012р., 341с.
6. Adam Coates, Andrew Y. Ng. Learning Feature Representations with K-means, Stanford University, 2012р., 20 стор.  
URL: [https://cs.stanford.edu/~acoates/papers/coatesng\\_nntot2012.pdf](https://cs.stanford.edu/~acoates/papers/coatesng_nntot2012.pdf)
7. Єршов К.С., Романова Т.Н. Аналіз і класифікація алгоритмів кластеризації. МГТУ ім. Н.е. Баумана. 2016р. 6с.
8. Tutorial spoint. Mahout - Clustering.  
URL: [https://www.tutorialspoint.com/mahout/mahout\\_clustering.htm](https://www.tutorialspoint.com/mahout/mahout_clustering.htm)
9. Alexander N. Gorban, Andrei Y. Zinovyev. Principal Graphs and Manifolds. University of Leicester. 36с.  
URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0809/0809.0490.pdf>
10. Kwok, T., Smith, K., Lozano, S., Taniar. Parallel Fuzzy c-Means Clustering for Large Data Sets, 2012р.  
URL: [http://num-meth.srcc.msu.ru/zhurnal/tom\\_2012/pdf/v13r207.pdf](http://num-meth.srcc.msu.ru/zhurnal/tom_2012/pdf/v13r207.pdf)
11. Михалев А.И., Винокурова Е.А., Сотник С.Л. Компьютерные методы интеллектуальной обработки данных: учебное пособие. – Днепропетровск: НМетАУ, ИК "Системные технологии", 2014. – 209 стр.

#### **REFERENCES**

1. Ralf Lammel. Google's MapReduce Programming Model - Revisited. 2017р., 42с.  
URL: <https://userpages.uni-koblenz.de/~laemmel/MapReduce/paper.pdf>
2. Tom White. Hadoop: The Definitive Guide. THIRD EDITION. O'RELLY. - 2013р., 647с.
3. Чак Лем. Hadoop в дії. Москва. - 2012р., 448с.
4. MicheleNemschoff. Maximize Performance and Scalability Within Your Hadoop Architecture. 2014р.  
URL: <https://www.smartdatacollective.com/how-maximize-performance-and-scalability-within-your-hadoop-architecture/>
5. Sea Owen, Robin Anil, Ted Dunning, Ellen Friedman. Mahout in action. MANNING. - 2012р., 341с.

6. Adam Coates, Andrew Y. Ng. Learning Feature Representations with K-means, Stanford University, 2012p., 20 стор.

URL: [https://cs.stanford.edu/~acoates/papers/coatesng\\_nntot2012.pdf](https://cs.stanford.edu/~acoates/papers/coatesng_nntot2012.pdf)

7. Ershov K.S., Romanova T.N. Analysis and classification of clustering algorithms. MSTU. Not. Bauman. 2016 6s.

8. Tutorial spoint. Mahout - Clustering.

URL: [https://www.tutorialspoint.com/mahout/mahout\\_clustering.htm](https://www.tutorialspoint.com/mahout/mahout_clustering.htm)

9. Alexander N. Gorban, Andrei Y. Zinovyev. Principal Graphs and Manifolds. University of Leicester. 36с.

URL: <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0809/0809.0490.pdf>

10. Kwok, T., Smith, K., Lozano, S., Taniar. Parallel Fuzzy c-Means Clustering for Large Data Sets, 2012p.

URL: [http://num-meth.srcc.msu.ru/zhurnal/tom\\_2012/pdf/v13r207.pdf](http://num-meth.srcc.msu.ru/zhurnal/tom_2012/pdf/v13r207.pdf)

11. Mikhalev A.I., Vinokurova E.A., Sotnik S.L. Computer methods of intelligent data processing: a textbook. - Dnepropetrovsk: NMetAU, IC "System Technologies", 2014. - 209 pages.

Received 01.02.2021.  
Accepted 03.02.2021.

### ***Исследование эффективности распределенных алгоритмов машинного обучения***

*Работа посвящена исследованию эффективности распределенных алгоритмов машинного обучения реализованных в проекте Apache Mahout.*

*В результате работы был проведен анализ эффективности алгоритмов машинного обучения с помощью метода кластеризации k-средних (k-Means) и метода нечеткой кластеризации k-средних (fuzzy k-Means / c-Means), реализованных в проекте Apache Mahout.*

*Получены результаты тестирования обоих методов кластеризации на одинаковых наборах данных.*

*Рассмотрены точность кластеризации каждого метода, а также построены сравнительные диаграммы результатов исследуемых методов.*

### ***Research of the efficiency of distributed algorithms for machine learning***

*This paper discusses the storage, processing and analysis of large amounts of data, as well as machine learning algorithms that implement the processing and extraction of the necessary information from large, not always structured amounts of data.*

*The work is devoted to the study of the effectiveness of distributed machine learning algorithms implemented in the Apache Mahout project.*

*As a result of the work, an analysis of the effectiveness of machine-guided algorithms was carried out using the k-Means clustering method and the fuzzy k-Means / c-Means method, implemented in the Apache Mahout project.*

*The results of testing both clustering methods on the same data sets are obtained.*

*The accuracy of clustering of each method is considered, and comparative diagrams of the results of the investigated methods are constructed.*

**Островська Катерина Юріївна** – к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України.

**Стовпченко Іван Володимирович** – старший викладач кафедри інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України.

**Аніщенко Владислав Володимирович** - магістр кафедри інформаційних технологій та систем, Національна металургійна академія України.

**Островская Екатерина Юрьевна** - к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины.

**Стовпченко Иван Владимирович** - старший преподаватель кафедры информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины.

**Анищенко Владислав Владимирович** - магистр кафедры информационных технологий и систем, Национальная металлургическая академия Украины.

**Ostrovskaya Ekaterina Yurievna** - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technologies and Systems, National Metallurgical Academy of Ukraine.

**Stovpchenko Ivan Vladimirovich** - Senior Lecturer, Department of Information Technologies and Systems, National Metallurgical Academy of Ukraine.

**Anischenko Vladislav Vladimirovich** - Master of Information Technologies and Systems Department, National Metallurgical Academy of Ukraine.

**ЗМІСТ**

**CONTENTS**

<b>Селівьорстова Т.В., Селівьорстов В.Ю., Чернов О.Д.</b> Особливості реалізації графічного інтерактивного ігрового додатку для ознайомлення з технологією газодинамічного впливу на розп- лав в ливарній формі	3	<b>Selivyorstova T., Selivyorstov V., Chernov A.</b> Features of the graphical interactive implementation game application for acquaintance with the technology of gas-dynamic impact on the melt in casting mold	3
<b>Красников К.С., Лыжов Н.В.</b> Численные исследования на мате- матической модели вспенивания с инжекцией газа	23	<b>Krasnikov K.S., Lyzhov M.V.</b> Numerical experiments on mathe- matical model of foaming with gas injection	23
<b>Сулема Є.С., Онаї М.В., Дичка А.І.</b> Забезпечення завадостійкості багатоколірних штрихкодкових знаків на основі поля $GF(p^m)$	31	<b>Sulema Y., Onai M., Dychka A.</b> Ensuring Error Detection and Correcting of Multicolored Bar Code Patterns Based on $GF(p^m)$ "	31
<b>Ролік О.І., Колеснік В.М.</b> Симуляція IT-інфраструктури із розглядом аспектів критичності для управління якістю послуг	51	<b>Rolik O., Kolesnik V.</b> Simulation of IT infrastructure with consideration of critical aspects for quality of service management	51
<b>Дорош Н.Л., Астион Ю.В., Петречук Л.Н.</b> Исследование успеваемости сту- дентов с проблемами слуха	64	<b>Dorosh N.L., Astion Y.V., Petrechuk L.M.</b> Research on student performance with hearing problems	64
<b>Кусий Я.М.</b> Оптимізація маршруту оброблен- ня поверхонь заготовки за критерієм однорідності структури матеріалу	76	<b>Kusyi Yaroslav</b> Technological inheritability of properties for providing of quality parameters of part during it manufacturing	76
<b>Ковальова Ю.В.</b> Моделирование топологии бездрото- вых сенсорных сетей	92	<b>Kovalova Y.V.</b> Simulation of wireless sensor network topologies	92
<b>Карпенко Н.В., Герасимов В.В.</b> Использование алгоритмов ветв- ления в Microsoft Forms	99	<b>Karpenko N.V., Gerasimov V.V.</b> Using branching algorithms in Microsoft Forms	99
<b>Литвинов О.А.</b> Варіація шаблону Abstract Factory	107	<b>Litvinov A.A.</b> On the variation of Abstract Factory Pattern	107

<b>Гниленко О.Б.</b> Проектування апаратної реалізації імпульсного нейрона	116	<b>Gnilenko A.B.</b> Hardware implementation design of a spiking neuron	116
<b>Пономарьов І.В.</b> Особливості створення системи голосування з використанням блокчейн-платформи Ethereum	124	<b>Ponomarev I.V.</b> Features of creating a voting system using the Ethereum blockchain platform	124
<b>Твердоступ М.І.</b> Перетворювачі індуктивного імпедансу на основі операційної схеми з комбінованим зворотним зв'язком	130	<b>Tverdostup M.</b> Inductive impedance converters based on a combined feedback operating circuit	130
<b>Хандецкий В.С., Сивцов Д.П., Панин К.В.</b> Скорость передачи данных в зашумленных каналах беспроводных сетей	136	<b>Khandetskyi V.S., Sivtsov D.P., Panin K.V.</b> Data transfer rate in noisy channels of wireless networks	136
<b>Островська К.Ю., Стовпченко І.В., Аніщенко В.В.</b> Исследование эффективности распределенных алгоритмов машинного обучения	145	<b>Ostrovskaya E.Y., Stovpchenko I.V., Anischenko V.</b> Research of the efficiency of distributed algorithms for machine learning	145

**РЕФЕРАТИ**

УДК 004.92

Селівьорстова Т.В., Селівьорстов В.Ю., Чернов О.Д. **Особливості реалізації графічного інтерактивного ігрового додатку для ознайомлення з технологією газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (132). - Днепр, 2021. - С.3 - 22.

Стаття присвячена розробці інтерактивного графічного ігрового додатку для ознайомлення з особливостями нових ливарних технологій, що базується на регульованому газодинамічному впливу на розплав в ливарній формі під час твердіння. Особливості навчального процесу при підготовці спеціалістів в галузі металургії, в тому числі ливарників, передбачає наявність ґрунтовної не тільки теоретичної і практичної підготовки, яка здійснюється в рамках ливарної лабораторії. Оснащення сучасної ливарної лабораторії вимагає суттєвих вкладень в обладнання, матеріали, крім того деякі ливарні технології не можуть бути адаптовані до навчального простору, це стосується і технології газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі. Крім того, застосування графічного інтерактивного ігрового імітатора ливарної технології газодинамічного впливу на розплав в ливарній формі має незаперечні перспективи в рамках навчального процесу, особливу в умовах пандемії COVID-19. Тому розробка графічного інтерактивного ігрового додатку для ознайомлення з особливостями нової ливарної технології є актуальною задачею.

Бібл. 3, рис.18.

УДК 669.1:004.942:[532.3+519.63]

Красников К.С., Лыжов Н.В. **Численные исследования на математической модели вспенивания с инъекцией газа** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (132). - Днепр, 2021. - С.23 - 30.

Шлак на поверхности расплава внутри конвертера замедляет образование пузырьков газа, что приводит к образованию аварийного количества эмульсии или пены. Для проверки адекватности математической модели данного процесса используются следующие допущения: общее количество газа должно сохраняться в случае замкнутого объема, а поле давления должно увеличиваться соответственно полученному количеству газа; в случае движения свободной поверхности уровень пены должен изменяться в соответствии с поступлением газа и возвращаться к исходному значению после того, как газ покинет жидкость.

Проведенные исследования и показанные иллюстрации дают основание сделать вывод о качественной адекватности модели.

Библ. 7, ил. 4.

УДК 004.35

Сулема Є.С., Онаї М.В., Дичка А.І. **Забезпечення завадостійкості багатоколірних штрихкодів на основі поля GF(p<sup>m</sup>)** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (132). - Днепр, 2021. - С.31 - 50.

Розроблено методику синтезу символік багатоколірних високонадійних штрихових кодів для систем автоматичної ідентифікації. Запропоновано дворівневу систему забезпечен-

ня завадостійкості багатоколірних штрихкодів зображень, у якій на нижньому структурному рівні (рівні штрихкодів знаків) застосовуються многозначні неповні коди Хемінга, а на верхньому (рівні штрихкової позначки) – коди Ріда-Соломона. Виконано оцінювання коректувальних можливостей многозначних неповних кодів Хемінга при їх використанні у штриховому кодуванні даних. Розглянуто особливість виконання операцій у скінчених полях виду  $GF(p^m)$  при реалізації процедур кодування-декодування даних в системах автоматичної ідентифікації на основі багатоколірних штрихових кодів.

Библ. 12.

УДК 004.94

Ролік О.І., Колеснік В.М. **Симуляція ІТ-інфраструктури із розглядом аспектів критичності для управління якістю послуг** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (132). - Днепр, 2021. - С.51 - 63.

Для управління якістю послуг в ІТ-інфраструктурі під час створення нових методів управління виникає необхідність перевірки адекватності запропонованих рішень, що іноді буває складною задачею за умов роботи великої комплексної системи. Для вирішення цієї проблеми розглянуто існуючі методи та засоби і запропоновано вдосконалене рішення, що враховує критерій критичності ІТ-інфраструктури. Розроблений інструментарій симуляції ІТ-інфраструктури дозволяє відтворити сценарії, подібні до реального життя, оскільки вони базуються на використанні значень, згенерованих випадковим чином згідно зі щільністю випадкового розподілу значень з даних моніторингу реальної системи. Спрощений сценарій симуляції показав, що протягом симуляції тривалістю 24 умовних години використання ресурсів планувальника зайняло майже 80 відсотків часу, при цьому обчислювальний ресурс простоював, що може розглядатися, як відповідність до звіту використання справжніх даних.

Библ. 17, іл. 4.

УДК 519.23+378

Дорош Н.Л., Астион Ю.В. Петречук Л.Н. **Исследование успеваемости студентов с проблемами слуха** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (132). - Днепр, 2021. - С.64 - 75.

Приведены результаты исследования общих показателей и успеваемости студентов с проблемами слуха. Проведены сбор и обработка информации по обучению студентов в Национальной Металлургической академии Украины по специальности «Компьютерные науки» за десять лет. Выполнен анализ приоритетности дисциплин в их освоении. Подтверждена эффективность и целесообразность получения высшего образования студентами с проблемами слуха.

Библ. 5, ил. 8.

УДК 621.9.015:621.9.019

Кусий Я.М. **Оптимізація маршруту оброблення поверхонь заготовки за критерієм однорідності структури матеріалу** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (132). - Днепр, 2021. - С.76 – 91.

## «Системні технології» 1 (132) 2021 «System technologies»

Проаналізовано взаємозв'язки технологічного забезпечення життєвих циклів машинобудівних виробів. Описано методу вибору маршруту оброблення поверхонь деталей машин для об'єктно-орієнтованих технологічних процесів за критерієм розрахункового уточнення. Обгрунтовано доцільність розроблення функціонально-орієнтованих технологій з позиції технологічного успадковування властивостей деталей машин. Аргументовано актуальність дослідження процесів накопичення пошкоджень та деградації матеріалу для характерних видів руйнування виробів. Обгрунтовано доцільність синергетичного підходу при аналізі технічних об'єктів і технологічних систем. Представлено метод LM-твердості, що застосовується для вибору раціонального маршруту оброблення функціональних поверхонь виробу. Описано технологічне забезпечення реалізації експериментальних досліджень. Проаналізовано результати експериментальних досліджень та вибрано раціональний варіант маршруту оброблення плоскої заготовки із алюмінієвого сплаву. Намічено шляхи подальших досліджень.

Бібл. 20, іл. 2.

УДК 004.9

Ковальова Ю.В. **Модельовання топології бездротових сенсорних мереж** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (132). - Днепр, 2021. - С.92 – 98.

В роботі здійснено порівняння можливих топологій бездротових сенсорних мереж між собою та розглянуто статистику кінцевої затримки, пропускну здатності, завантаження. Результати вказують на те, що деревоподібна мережа має більшу пропускну здатність і кінцеву затримку. Крім того, згасання погіршує продуктивність мережі та накладні витрати на маршрутизацію. Зроблено висновок, що продуктивність мережі з топологією зірки прийнятна для малих мереж, тоді як на основі сітки найкраще підходить для мереж з великою кількістю мобільних вузлів.

Бібл. 7, рис. 3.

УДК 378.146

Карпенко Н.В., Герасимов В.В. **Использование алгоритмов ветвления в Microsoft Forms** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (132). - Днепр, 2021. - С.99 – 106.

Любое обучение предусматривает проверку знаний учеников после завершения курса (темы). Тесты, построенные с использованием линейного алгоритма, легче создавать, но по разным причинам они не всегда устраивают преподавателя. Поэтому в данной статье рассмотрен процесс составления тестов с ветвлением в Microsoft Forms и приведено несколько практических рекомендаций, о которых не упомянуто в документации Microsoft.

Лит. 4, илл. 7.

УДК 614.2+574/578+004.38

Литвинов О.А. **Варіація шаблону Abstract Factory** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (132). - Днепр, 2021. - С.107 – 115.

В роботі розглядається варіант вдосконалення шаблону Abstract Factory для практичної розробки сучасних інформаційних систем.

Запропонований варіант відрізняється тим, що замість декількох методів, які відповідають за створення реалізації певних інтерфейсів в класі Abstract Factory, вводиться один узагальнений метод. Метод отримує тип інтерфейсу реалізацію якого треба отримати. Крім того, розглядається варіант автоматичного створення словника, котрий містить пари «інтерфейс-реалізація» з використанням рефлексії. В висновках розглядаються обмеження та різноманітні модифікації наведеного розв'язання.

Бібл. 7, рис. 5.

УДК 004.315.2

Гниленко О.Б. **Проектування апаратної реалізації імпульсного нейрона** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (132). - Днепр, 2021. - С.116 – 123.

Апаратна реалізація штучного нейрона є ключовою проблемою створення нейроморфних чіпів, які являють собою нові перспективні архітектурні рішення для масово-паралельних обчислень. У цій статті представлено проектування аналогової схемної реалізації нейрона, який призначений для використання в якості базового елемента імпульсних нейронних мереж. Проектування виконано на транзисторному рівні з використанням LIF (Leaky Integrate-and-Fire) моделі нейрона. Нейрон моделювався і верифікувався за допомогою інструментів автоматизованого проектування. Були отримані часові діаграми сигналів в ключових точках нейрона і продемонстрована його функціональність.

Бібл. 6, іл. 8.

УДК 004.415.2

Пономарьов І.В. **Особливості створення системи голосування з використанням блокчейн-платформи Ethereum** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (132). - Днепр, 2021. - С.124 – 129.

Описується виконання необхідної послідовності етапів розробки для створення надійної і прозорої децентралізованої системи голосування на платформі Ethereum.

Бібл. 3., іл.1

УДК 621.373 – 187.4

Твердоступ М.І. **Перетворювачі індуктивного імпедансу на основі операційної схеми з комбінованим зворотним зв'язком** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (132). - Днепр, 2021. - С.130 – 135.

На основі операційної схеми з комбінованим зворотним зв'язком розроблені перетворювачі заземленої і зваженої індуктивностей в заземлену індуктивність, в яких реалізоване роздільне управління величинами складових синтезованого імпедансу.

Бібл. 2, іл. 3

УДК. 681.3.07

Хандецкий В.С., Сивцов Д.П., Панин К.В. **Скорость передачи данных в зашумленных каналах беспроводных сетей** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (132). - Днепр, 2021. - С.136 – 144.

Анализ новых технологий IEEE 802.11ac/ax беспроводных сетей показал, что повышение их помехоустойчивости является актуальной задачей. В статье исследуется эффективность передачи фрагментированных фреймов данных. Проведено сравнение эффективностей в случае повторной передачи искаженного фрейма и в случае его фрагментации в широком диапазоне физических скоростей передачи данных.

Библ. 10, илл. 2, табл. 3.

УДК 004.853

Островська К.Ю., Стопченко І.В., Аніщенко В.В. **Исследование эффективности распределенных алгоритмов машинного обучения** // Системные технологии. Региональный межвузовский сборник научных работ. - Выпуск 1 (132). - Днепр, 2021. - С.145 – 158.

Работа посвящена исследованию эффективности распределенных алгоритмов машинного обучения реализованных в проекте Apache Mahout.

В результате работы был проведен анализ эффективности алгоритмов машинного обучения с помощью метода кластеризации k-средних (k-Means) и метода нечеткой кластеризации k-средних (fuzzy k-Means / c-Means), реализованных в проекте Apache Mahout.

Получены результаты тестирования обоих методов кластеризации на одинаковых наборах данных.

Рассмотрены точность кластеризации каждого метода, а также построены сравнительные диаграммы результатов исследуемых методов.

Бібл. 11.

UDC 004.92

Selivyorstova T., Selivyorstov V., Chernov A. **Features of the graphical interactive implementation game application for acquaintance with the technology of gas-dynamic impact on the melt in casting mold** // System technologies. N 1(132) - Dnipro, 2021.- P.3 – 22.

The article is devoted to the development of an interactive graphical game application for acquaintance with the features of new foundry technologies based on controlled gas-dynamic effect on the melt in the mold during solidification.

The aim of the work is to improve the quality of training and retraining of engineering personnel by involving graphic interactive game applications in the educational process to familiarize themselves with the latest technologies.

The task of the work is to develop scenarios for the interaction of a graphical game environment with a player and to implement a graphical interactive game application that demonstrates the technology of gas-dynamic impact on the melt in a casting mold.

The work uses research methods based on a critical analysis of scientific and methodological literature, experimental studies of the technology of gas-dynamic impact on the melt in a casting mold, practical experience in using the game approach in teaching, the use of engineering graphics methods to create three-dimensional models of technical objects, system analysis methods for describing interaction of the graphical gaming environment with the player.

Bibl.3, pic. 18.

UDC 669.1:004.942:[532.3+519.63]

Krasnikov K.S., Lyzhov M.V. **Numerical experiments on mathematical model of foaming with gas injection** // System technologies. N 1(132) - Dnipro, 2021.- P.23 – 30.

Slag on the surface of the melt inside the converter slows down the formation of gas bubbles, which leads to the formation of an emergency amount of emulsion or foam. To check the adequacy of the mathematical model of this process, the following assumptions are used: the total amount of gas should be maintained in the case of a closed volume, and the pressure field should increase according to the amount of gas inside melt; in the case of movement of the free surface, the foam level should change in accordance with the flow of gas and return to the initial value after the gas leaves the liquid.

The studies carried out and the shown illustrations give grounds to conclude that the model is qualitatively adequate.

Ref. 7, fig. 4.

UDC 004.35

Sulema Y., Onai M., Dychka A. **Ensuring Error Detection and Correcting of Multicolored Bar Code Patterns Based on GF(p<sup>m</sup>)** // System technologies. N 1(132) - Dnipro, 2021.- P.31 – 50.

A method of the synthesis of symbols of multicolor highly reliable bar codes for automatic identification systems has been developed. A two-level noise immunity system for multicolor barcode images is proposed, in which multi-valued incomplete Hamming codes are used at the lower structural level (bar code patterns) and Reed-Solomon codes at the upper level (bar code symbol). The corrective capabilities of multivalued incomplete Hamming codes when used in bar

coding of data are evaluated. The peculiarity of performing operations in finite fields of the form  $GF(p^m)$  in the implementation of data encoding-decoding procedures in automatic identification systems based on multicolor barcodes is considered.

Bibl. 12.

UDC 004.94

Rolik O., Kolesnik V. **Simulation of IT infrastructure with consideration of critical aspects for quality of service management** // System technologies. N 1(132) - Dnipro, 2021.- P.51 – 63.

To manage the quality of services in the IT infrastructure during the creation of new management methods there is a need to verify the adequacy of the proposed solutions, which is sometimes a difficult task in a complex system. To solve this problem, the existing solutions were considered and an improved solution was proposed, which takes into account the criterion of criticality of the IT infrastructure. The developed IT infrastructure simulation tool allows to reproduce real-life scenarios, as they are based on the use of values generated randomly according to the density of random distribution of values from the monitoring data of the real system. The simplified simulation scenario has shown that during the simulation of 24-hour period, the scheduler's resource usage took up almost 80 percent of the time, with the computing resource idle, which can be considered consistent with the report on real data.

Bibl. 17, ill. 4.

UDC 519.23+378

Dorosh N.L., Astion Y.V., Petrechuk L.M. **Research on student performance with hearing problems** // System technologies. N 1(132) - Dnipro, 2021.- P.64 – 75.

The study results of students with hearing problems general indicators and progress are presented. The collection and processing of information about the training of students at the National Metallurgical Academy of Ukraine in the specialty "Computer Science" for ten years has been carried out. The analysis of the priority of disciplines in their development is carried out. The effectiveness and expediency of obtaining higher education for students with hearing problems has been confirmed.

Bibl. 5, il. 8.

UDC 621.9.015:621.9.019

Kusyi Yaroslav **Technological inheritability of properties for providing of quality parameters of part during it manufacturing** // System technologies. N 1(132) - Dnipro, 2021.- P.76 – 91.

The relationships of the technological providing of the Life Cycles of products is analyzed. The technique of selection of the surface treatment route of machine products is described for object-oriented technological processes using the criterion of design refinement. The expediency of developing of the functionally-oriented technologies from the position of technological inheritability of the machine parts properties is established. The actuality of the study of the processes of damage accumulation and material degradation for the characteristic types of products destruction is argued. The expediency of a synergetic approach in the analysis of technical objects and technological systems is established. The LM-hardness method used to select a rational route for processing of the functional surfaces of the product have been considered. The results of experimental researches are analyzed. A rational variant of the route of processing a flat aluminum alloy blank is selected. The directions of further research are selected.

Ref. 20, ill. 2.

UDC 004.9

Kovalova Y.V. **Simulation of wireless sensor network topologies** // System technologies. N 1(132) - Dnipro, 2021.- P.92 – 98.

The paper compares the possible topologies of wireless sensor networks with each other. The results indicate that the tree network has higher throughput. In addition, fading degrades network performance and routing overhead. It is concluded that the performance of a network with a star topology is acceptable for small networks, while a mesh network is best suited for networks with a large number of mobile nodes.

Bibl. 7, Fig. 3.

UDC 378.146

Karpenko N.V., Gerasimov V.V. **Using branching algorithms in Microsoft Forms** // System technologies. N 1(132) - Dnipro, 2021.- P.99 – 106.

Any training involves testing the knowledge of students after completing the course (topic). Taking into account the tendency for the application of the personality-active approach to the student, tests constructed using a linear algorithm are far from always suitable. Therefore, this article will walk you through the process of creating branching tests in Microsoft Forms. Building quality branching tests is a tedious and iterative process. It is associated with the need to simulate various options for passing the test. When writing branching tests, consider the likelihood that the respondent will be asked a specific question. And only with this approach is it possible to build a test that will be individual for each student. The authors of the article have identified the pros and cons of using branching tests. In the course of practical application of tests with branching, several features of their creation and application were revealed. Therefore, the authors in this article provide several practical recommendations that are not mentioned in the Microsoft documentation.

Lit. 4, ill. 7.

UDC 614.2+574/578+004.38

Litvinov A.A. **On the variation of Abstract Factory Pattern** // System technologies. N 1(132) - Dnipro, 2021.- P.107 – 115.

The work is devoted to revision of Abstract Factory Pattern for its practical use in information system development. Provided variation of Abstract Factory Pattern significantly simplifies the process of information system development making the system more flexible, robust to change and maintainable.

Bibl. 7, ill. 5.

UDC 004.315.2

Gnilenko A.B. **Hardware implementation design of a spiking neuron** // System technologies. N 1(132) - Dnipro, 2021.- P.116 – 123.

The hardware implementation of an artificial neuron is the key problem of the design of neuromorphic chips which are new promising architectural solutions for massively parallel computing. In this paper an analog neuron circuit design is presented to be used as a building element of spiking neuron networks. The design of the neuron is performed at the transistor level based on Leaky Integrate-and-Fire neuron implementation model. The neuron is simulated using EDA tool to verify the design. Signal waveforms at key nodes of the neuron are obtained and neuron functionality is demonstrated.

Ref. 6, fig. 8.

UDC 004.415.2

Ponomarev I.V. **Features of creating a voting system using the Ethereum blockchain platform** // System technologies. N 1(132) - Dnipro, 2021.- P.124 – 129.

Describes how to complete the required sequence of development steps to create a reliable and transparent decentralized voting system on the Ethereum platform.

Bibl. 3., Fig.1

UDK 621.373 – 187.4

Tverdostup M. **Inductive impedance converters based on a combined feedback operating circuit** // System technologies. N 1(132) - Dnipro, 2021.- P.130 – 135.

On the basis of the operating scheme with combined feedback, converters of grounded and weighted inductances have been developed into grounded inductance, in which separate control of the values of the components of the synthesized impedance is implemented.

Bibl. 2, ill. 3

UDC 681.3.07

Khandetskiy V.S., Sivtsov D.P., Panin K.V. **Data transfer rate in noisy channels of wireless networks** // System technologies. N 1(132) - Dnipro, 2021.- P.136 – 144.

Analysis of new technologies IEEE 802.11ac/ax wireless networks showed that increasing their noise immunity is an actual task. The paper discusses the transmission efficiency of fragmented data frames. The transmission efficiency of a damaged frame is compared in the case of its retransmission and in the case of its fragmentation in a wide range of physical data transmission rates.

Ref. 10, fig. 2, tab. 3.

UDK 004.853

Ostrovskaya E.Y., Stovpchenko I.V., Anischenko V.V. **Research of the efficiency of distributed algorithms for machine learning** // System technologies. N 1(132) - Dnipro, 2021.- P.145 – 158.

This paper discusses the storage, processing and analysis of large amounts of data, as well as machine learning algorithms that implement the processing and extraction of the necessary information from large, not always structured amounts of data.

The work is devoted to the study of the effectiveness of distributed machine learning algorithms implemented in the Apache Mahout project.

As a result of the work, an analysis of the effectiveness of machine-guided algorithms was carried out using the k-Means clustering method and the fuzzy k-Means / c-Means method, implemented in the Apache Mahout project.

The results of testing both clustering methods on the same data sets are obtained.

The accuracy of clustering of each method is considered, and comparative diagrams of the results of the investigated methods are constructed.

Bibl. 11.

**Системні технології**  
**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

Випуск 1 (132)

Головний редактор: к.т.н., доц., Т.В. Селівьорстова

Технічний редактор та секретар збірки: к.т.н., доц. К.Ю. Островська

---

Здано до набору 29.01.2021. Підписано до друку 05.02.2021.

Формат 60x84 1/16. Друк - різнограф. Папір типограф.

Умов. друк арк. – 11,93. Обл.-видавн. арк. – 10,438.

Тираж 300 прим. Замовл. – 01/21

---

Національна металургійна академія України,  
кафедра Інформаційних технологій та систем: ІВК «Системні технології»  
49600, Дніпро, а/с 493  
<http://st.nmetau.edu.ua>

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації:

**Серія КВ № 8684 від 23 квітня 2004 рік**

## Редакційна колегія

**Селівьорстова Тетяна Віталіївна**  
(*головний редактор*)

доцент, кандидат технічних наук

**Алпатов Анатолій Петрович**

Член-кореспондент НАН України,  
професор, доктор технічних наук

**Архипов Олександр Євгенійович**

професор, доктор технічних наук

**Бабічев Сергій Анатолійович**

доцент, доктор технічних наук

**Білозьоров Василь Євгенович**

професор,

доктор фізико-математичних наук

**Гече Федір Елемирович**

професор, доктор технічних наук

**Гуда Антон Ігорович**

(*заст. головного редактора*)

професор, доктор технічних наук

**Гнатушенко Вікторія Володимирівна**

(*вчений секретар*)

професор, доктор технічних наук

**Гнатушенко Володимир Володимирович**

професор, доктор технічних наук

**Гожий Олександр Петрович**

професор, доктор технічних наук

**Єрьомін Олександр Олегович**

професор, доктор технічних наук

**Кіріченко Людмила Олегівна**

професор, доктор технічних наук

**Світличний Дмитро Святозарович**

професор, доктор технічних наук

**Скалозуб Владислав Васильович**

професор, доктор технічних наук

**Хандецький Володимир Сергійович**

професор, доктор технічних наук

Національна металургійна  
академія України, Україна

Інститут технічної механіки

НАНУ і ДКАУ, Україна

Національний технічний університет

України «Київський політехнічний інститут»  
імені Ігоря Сікорського», Україна

Jan Evangelista Purkyně University  
in Ústí nad Labem

Університет імені Яна Євангеліста Пуркіне,  
Усті над Лабем, Чеська Республіка

Дніпровський національний університет  
імені Олеса Гончара, Україна

Ужгородський національний університет,  
Україна

Національна металургійна  
академія України, Україна

Національна металургійна  
академія України, Україна

Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка», Україна

Чорноморський національний університет  
імені П.Могили, Україна

Національна металургійна  
академія України, Україна

Харківський національний університет  
радіоелектроніки, Україна

Akademia Górniczo-Hutnicza

Краківська гірничо-металургійна академія  
ім. С. Сташца, Польща

Дніпропетровський національний  
університет залізничного транспорту імені  
академіка В. Лазаряна, Україна

Дніпровський національний університет  
імені Олеса Гончара, Україна