

УДК 004.932.72: 514.182.7: 519.651

№ держреєстрації: 0116U002731

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

72312 Запорізька обл., м. Мелітополь, пр Б.Хмельницького, 18
тел. (0619) 42-06-94

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Директор НДІ МЗПУ,
В.Т. Надикто
“ ____ ” _____ 20__ р.

ЗВІТ
про науково-дослідну роботу
(заклучний)

Програма: „Розробка наукових основ, систем, технологій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки південного регіону України”

Підпрограма: „Комп’ютерне моделювання явищ та процесів в АПК”

Завідувач відділу: _____ д.т.н. Надикто В.Т.

Завідувач лабораторії: _____ д.т.н. Малкіна В.М.

2020

Результати роботи розглянуто НТР,
протокол № ____ від « ____ » _____ 20__ р.

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник проекту і відповідальний
виконавець – завідувач лабораторії,
д.т.н., проф.

Малкіна В.М.
(участь у 2.1, 2.2, 2.5)

д.пед.н., проф.

Прийма С.М.
(участь у 2.7)

к.т.н., доц.

Строкань О.В.
(участь у 2.1, 2.2, 2.4, 2.7)

к.т.н., доц.

Лубко Д.В.
(участь у 2.3, 2.4)

к.т.н., ст. викл.

Мірошниченко М.Ю.
(участь у 2.2, 2.5)

ст. викл.

Зінов'єва О.Г.
(участь у 2.5)

асистент

Мозговенко А.А.
(участь у 2.5)

д.т.н., проф.

Леженкін О.М.
(участь у 2.6.23)

к.т.н., доц.

Мацулевич О.Є.
(участь у 2.6.1, 2.6.2, 2.6.3, 2.6.5, 2.6.9,
2.6.12, 2.6.19, 2.6.20, 2.6.23, 3.6.24)

к.т.н., доц.

Щербина В.М.
(участь у 2.6.3, 2.6.4, 2.6.5, 2.6.12, 2.6.14,
2.6.15, 2.6.19, 2.6.20, 2.6.23, 2.6.24)

к.т.н., доц.

Пихтєєва І.В.
(участь у 2.6.5, 2.6.12, 2.6.16)

к.т.н., доц.

Івженко О.В.
(участь у 2.6.9)

К.Т.Н., доц.

Гавриленко Є.А.
(участь у 2.6.6, 2.6.6, 2.6.8, 2.6.11,
2.6.17, 2.6.18, 2.6.21, 2.6.22, 2.6.25)

К.Т.Н., ст. викл.

Холодняк Ю.В.
(участь у 2.6.6, 2.6.6, 2.6.8, 2.6.11,
2.6.17, 2.6.18, 2.6.21, 2.6.22, 2.6.25)

К.Т.Н. доц.

Коломієць С.М.
(участь у 2.6.19, 2.6.20)

ст. викл.

Дмітрієв Ю.О.
(участь у 2.6.7, 3.2.8, 2.6.10, 2.6.15,
2.6.16, 2.6.24)

ст. викл.

Антонова Г.В.
(участь у 2.6.25)

ст. викл.

Чаплінський А.П.
(участь у 2.6.25)

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 166 сторінки тексту, 85 джерел.

Об'єкти досліджень:

Теоретичні і методологічні основи та інструментальні засоби створення і використання інформаційних технологій та систем (ІСТ) у галузях АПК та виробництва. Програмні засоби та інформаційні системи для автоматизації бізнес-процесів в АПК, виробництві та навчальному процесі.

Мета роботи:

Підвищити точність та ефективності моделювання процесів та явищ за рахунок застосування нових (розроблених у підпрограмі) більш адекватних, повних, ефективних моделей і методів шляхом використання нового (розробленого у підпрограмі) програмного забезпечення, що загалом веде до зниження енергетичних, матеріальних і трудових витрат виробництва

Побудова спеціальних комп'ютерних та математичних моделей, проектування та розробка автоматизованих та інформаційних систем, застосування сучасних інформаційних технологій, а саме:

- розробка математичних моделей та відповідного програмного забезпечення для проведення аналізу при дослідженні явищ та процесів в АПК методами інтелектуального аналізу експериментальних даних результатів спостережень та методів комп'ютерного зору;
- розробити математичних алгоритмів та відповідної програмної реалізації для імітаційного моделювання аероіонного розподілення від аероіонізаторів у приміщеннях; проектування та розробка автоматизованої системи управління мікрокліматом для контролю і підтримки заданих параметрів мікроклімату в приміщеннях;
- розробка алгоритмів роботи та програмного забезпечення для зчитування та аналізу агропоказників на основі платформи Arduino.
- проектування та розробка експертних систем та автоматизованих робочих місць в АПК;
- розробка методик геометричного моделювання робочих поверхонь складної конфігурації;
- програмна реалізація алгоритмів формування на основі вихідного точкового ряду кривих з заданим законом зміни диференційно-геометричних характеристик.

Методи досліджень:

Застосування фундаментальних та прикладних наук, математичного та комп'ютерного моделювання, професійних прикладних програм, сучасних

мов програмування, інших суміжних галузей, у яких використовуються ІС та та технології.

Теоретичні дослідження проводили з використанням основ вищої математики, чисельних методів, методів прикладної математики, математичного моделювання, методів прикладної геометрії та геометричного моделювання, з урахуванням прикладних аспектів практичного впровадження отримання теоретичних досліджень, а також сучасні геометричні та математичні процесори ЕОМ

В результаті проведених досліджень:

- Розроблено програмний модуль визначення показників пластичності і стійкості при оцінці гібридів сільськогосподарських культур на основі методу Еберхарда-Расела і побудови регресійної моделі;

- Розроблено математичну модель та відповідне програмне забезпечення для проведення регресійно-кореляційного аналізу при дослідженні явищ та процесів в АПК при порушенні умов теореми Гауса-Маркова (ефект мультиколінійності);

- Розроблено спеціальний алгоритм побудови збалансованого ортогонального плану експерименту, оптимального за критерієм D-efficiency; на основі експерименту, проведеного за розробленим планом побудована ефективна регресійна модель роботи сушарки з кінематичним методом віброзбуджувача для сушки насіння сої і визначено оптимальні значення її параметрів;

- Розроблена автоматизована системи побудови маршруту безпілотного літального апарату на основі фотографічних зображень місцевості методом пошуку ключових точок SIFT

- Розроблено алгоритм імітаційного моделювання в середовищі Maple, який дозволяє візуалізувати процес аероїонного розподілу та прогнозування аероізоляцій;

- Спроектовано структурну схему автоматизованої системи управління мікрокліматом інкубаційної станції; визначені основні користувачі системи та їх функціональні права; розроблено алгоритм роботи автоматизованої системи управління мікрокліматом інкубаційної станції.

- Запропоновано універсальний алгоритм визначення місця розташування джерела аероїонного випромінювання при наявності комбінованої розрахункової площини, який дозволяє скорегувати місце розміщення джерела аероїонного випромінювання з метою отримання зон із заданими параметрами іонізації повітря.

- Розроблена комп'ютерна система моделювання аероїонного розподілення на нахилній площині у середовищі математичного процесора Maple, яка дозволяє візуалізувати та прогнозувати процес розподілення концентрації негативних аероіонів у приміщеннях, у яких є такі типи площин.

- Спроектовано програмний модуль для побудови моделей аероїонного розподілу від штучних джерел аероіонізації, проведено моделювання просторової моделі аероїонного розподілу; створена комп'ютерна програма для ви-

значати аероіонного розподілу у заданому середовищі, на базі чого розроблені рекомендації для оптимального розміщення аероіонізаторів у цьому середовищі;

- Проведено теоретичний аналіз для використання апаратної платформи Arduino для розробки автономних інтерактивних приладь; проаналізовано сучасні рішення реалізації технології «розумний будинок»; виконана програмна реалізація модуля охоронної та метеорологічної системи, яка дає змогу інформацію про показники температури, вологості; статистику даних по температурі та вологості;

- Розроблена математична модель розподілення негативних аероіонів на комбінованій площині (нахилений та горизонтальній) та розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє виконувати проектування місць розташування джерел аероіонного випромінювання для мобільних пристроїв з операційною системою Android;

- Розроблена інформаційна система забезпечення оптимального аероіонного режиму у приміщенні;

- Проаналізовано принципи роботи та використання дистанційного управління мікроконтролером Arduino за допомогою мобільних пристроїв на базі ОС Android;

- Побудована модель інформаційної системи мікроклімату закритого приміщення на базі операційної системи Android. Експериментально доказано, що переваги використання ємнісного датчику вологості досить значні. Рекомендується використовувати ємнісні датчики у автоматизованих системах для визначення вологості ґрунту.

- Виконано програмну реалізацію алгоритму роботи системи на базі мікроконтролеру Arduino для зчитування показників вологості ґрунту.

- Виконано аналіз процесу проектування та розробки експертної системи та методики проектування експертної системи з технології вирощування овець. Розроблена експертна система призначена для видачі рекомендацій по технології вирощування, викорму та утриманню овець в конкретних умовах;

- Розроблена інформаційної системи „АРМ агронома” та самої методики проектування інформаційної системи „АРМ агронома-рослинника”. Розроблена АРМ-система призначена для видачі рекомендацій по технології вирощування соняшника для приватних фермерських господарств;

- Розроблена програмна реалізація алгоритму роботи системи зчитування показників вологості ґрунту на базі мікроконтролеру Arduino. Розроблена система дозволяє виконувати автоматизований полив ґрунту без участі людини. Реалізація задачі автоматизованого поливу сільськогосподарських культур шляхом використати мікроконтролеру Arduino з використанням плати Arduino Uno, в якій як конвертер використовується контролер Atmega8 у SMD-корпусі. Порівняльний аналіз ємнісного датчику вологості з аналоговим (резистивним) датчиком вологості ґрунту – YL69. Для проведення експерименту використано сухий піщаний ґрунт.

- Розроблено програмний модуль для створення навчальних засобів з використанням технології Drag-and-drop.
- Розроблено програмні модулі для створення навчальних засобів з використанням технології Drag-and-drop - комп'ютерну навчальну програму-тренажер для дисципліни «Дослідження операцій» з теми «Транспортна задача»;
- Розроблено інформаційну систему дистанційного навчання з дисципліни «Проектування розподілених систем та паралельних обчислень» для студентів спеціальності 122- Комп'ютерні науки;
- Розроблена онтологічна модель кваліфікацій, що структурує представлення різних складних інформаційних об'єктів (людей, дисциплін, спеціальностей, організацій і т.д.). Онтологічне представлення знань про компетенції цих об'єктів забезпечують їхнє автоматичне зіставлення та відповідний алгоритм. Структура атомарних компетенцій представлена онтологією може бути автоматично побудована на основі семантично розмічених ресурсів Web. Створена програмну реалізацію запропонованого підходу;
- Розроблена методика моделювання робочих поверхонь складної конфігурації на основі методів дискретного геометричного моделювання;
- Виконана програмна реалізація алгоритмів формування кривих з заданим законом зміни диференційно-геометричних характеристик на основі вихідного точкового ряду

Ключові слова:

ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ, РЕГРЕСІЙНА МОДЕЛЬ, МУЛЬТИКОЛІНЕАРНІСТЬ, ЕКСПЕРНІ СИСТЕМИ, ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ДИСКРЕТНА ІНТЕРПОЛЯЦІЯ, ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕНА КРИВА, АРМ, ПЛАН ЕКСЕНИМЕНТУ, КРИТЕРІЙ D-EFFICIENCY, ЛІНІЙНІ ОБВОДИ, ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА, ПРОЦЕС АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ, КРИВА ЛІНІЯ, ЛІНІЙЧАТИЙ КАРКАС, ДУГА ОБВОДУ, ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕНА КРИВА (ДПК), В-СПЛАЙНОВІ КРИВІ, ДИНАМІЧНА ПОВЕРХНЯ, ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ДИСКРЕТНА ІНТЕРПОЛЯЦІЯ, СПІРАЛЕПОДІБНА ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕНА КРИВА

ЗМІСТ

ВСТУП	12
РОЗДІЛ 1	13
НАУКОВИЙ ПОТЕНЦІАЛ, ОСНОВНІ ДОСЯГНЕННЯ ВЧЕНИХ	13
РОЗДІЛ 2	14
РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	14
2.1 Розробка математичних моделей та відповідного програмного забезпечення на основі методів інтелектуального аналізу даних та комп'ютерного зору при дослідженні явищ та процесів в АПК	14
2.1.1 Розробка математичних моделей та відповідного програмного забезпечення для проведення регресійно-кореляційного аналізу при порушенні умов теореми Гауса-Маркова.....	14
2.1.1.1.Мультиколінеарність в регресійному аналізі показника клейковини пшениці при зберіганні.....	14
2.1.1.2 Регресійний аналіз при дослідженні показників якості плодів черешні та вишні при наявності ефекту мультиколінеарності.....	22
2.1.2Розробкаалгоритму побудовизбалансованих ортогональних планів експерименту при великій кількості рівнів факторів, оптимального за критеріємD-efficiency	24
2.1.2.1 Побудова ортогональних збалансованих планів експерименту на основі спеціальних блокових операцій над матрицями при побудови математичної моделі пневмогравітаційного сепаратора насіння	28
2.1.3Розробка програмного модулю визначення показників пластичності і стійкості при оцінці гібридів сільськогосподарських культур на основі методу Еберхарда-Рассела і регресійного аналізу	30
2.1.4 Регресійнай аналіз залежності врожайності соняшника від агрокліматичних умов.....	36
2.1.5 Інформаційна система автоматизованого пошуку координат об'єкту на карті на основі фотографічних зображень земної поверхні на основі методу SIFT	37
2.2. Методика оптимізації аероіонного розподілення в приміщеннях	41
2.2.1Методика оптимізації аероіонного розподілення на комбінованій площині	42

2.2.2 Комп'ютерна система моделювання аероіонного розподілення на нахлонній площині	44
2.2.3 Моделювання аероіонного режиму на об'єктах зі штучним середовищем існування. Сучасні рішення управління розподіленням аероіонних полів	47
2.2.4 Інформаційна система забезпечення оптимального аероіонного режиму у приміщенні.....	48
2.2.5 Модель інформаційної системи мікроклімату закритого приміщення та розроблення програмного продукту на базі операційної системи Android.....	48
2.2.6 Автоматизована система управління мікрокліматом інкубаційної станції. Імітаційне моделювання аероіонного розподілення у приміщенні засобами математичного пакету Maple	49
2.3 Методологія проектування інформаційної системи АРМ і експертних систем	49
2.3.1 Методологія проектування інформаційної системи „АРМ-агронома ” ...	49
2.3.2 Методологія проектування експертної системи для тваринництва на прикладі вирощування овець	52
2.3.3 Розробка довідкової інтелектуальної експертної системи для вівчарства	54
2.4. Розробка алгоритмів роботи та програмного забезпечення для зчитування та аналізу агропоказників на основі платформи Arduino	55
2.4.1 Програмна реалізація алгоритму роботи системи зчитування показників вологості ґрунту на базі мікроконтролера Arduino	55
2.4.2 Методологія проектування Arduino в якості Web-client та Web-server з використанням датчика DHT11.....	57
2.5 Розробка інформаційних моделей, методів, технологій і засобів дистанційного та дуального навчання.....	59
2.5.1 Розробка інформаційної системи для дистанційного навчання з дисципліну «Проектування розподілених та паралельних систем»	60
2.5.2 Розробка програмного модулю для створення навчальних засобів дистанційного навчання з використанням технології Drag-and-drop	63
2.5.3 Розробка комп'ютерної навчальної програми-тренажера для дисципліни «Дослідження операцій» з теми «Транспортна задача»	67

2.5.4 Модель розпізнавання мовлення для вирішення задачі керування елементами веб-сайту	70
2.6.1. Геометричне моделювання кулачків зубозаточувальних верстатів у cad – системі unigraphics	71
2.6.2 Коригування косого зсуву багатоспектральних фотограмметричних зображень	76
2.6.3 Автоматизація процесу локальної інтерполяції точкового ряду із заданими вузловими дотичними на основі адаптивної схеми згущення ...	80
2.6.4 Автоматизація процесу моделювання складних геометричних поверхонь при вирішенні задач проектування неоднозначних ДПК на основі серединних перпендикулярів з використанням основної тотожності	85
2.6.5 Метод подання апроксимуючої функції.....	91
2.6.6 Формування геометричних характеристик монотонної кривої лінії.....	93
2.6.7 Розв’язання позиційних задач методами варіативного дискретного моделювання.....	97
2.6.8 Інформаційна технологія проектування та виготовлення робочих коліс турбокомпресора	100
2.6.9 Автоматизація процесу виготовлення різального інструменту для деревообробних верстатів	106
2.6.10 Початкові відомості про програмування обробки деталей на верстатах з ЧПУ токарної групи	110
2.6.11 Дискретне моделювання одновимірною просторового обводу на основі області можливого розташування кривих із заданими геометричними характеристиками.....	114
2.6.12 Розробка інформаційних систем для автоматизованого проектування функціональних поверхонь складних технічних виробів	115
2.6.13 Використання енергозберігаючих технологій при розробці екологічного будинку у програмному пакеті ArchiCAD	115
2.6.14 Використання енергозберігаючих технологій при розробці екологічного будинку у програмному пакеті ArchiCAD	116
2.6.15 Розробка керуючої програми та технологічної документації при програмуванні обробки на верстатах з ЧПК	117

2.6.16 Системотехнічна діяльність при розробці автоматизованих систем проектування.....	117
2.6.17 Моделювання одновимірних обводів із забезпеченням заданої точності інтерполяції.....	118
2.6.18 Формування обводів із заданими геометричними властивостями.....	121
2.6.19 Спосіб матричного опису поверхні гондоли кривою, яка задана в параметричній формі	122
2.6.20 Спосіб побудови дотичних у вузлах спіралеподібних дискретно представлених кривих із використанням спеціальної функції	125
2.6.21 Метод формування плоского одновимірного обводу із забезпеченням контролю максимальної абсолютної похибки інтерполяції.....	132
2.6.22 Формування плоских дискретно представлених кривих ліній на основі довільного точкового ряду за заданим законом зміни кривини	133
2.6.23 Геометричне моделювання робочих поверхонь змішувачів рідин.....	133
2.6.24 Інформаційна система аналізу груп складних видів дефектів ливарного виробництва	137
2.6.25 Розробка алгоритму програмного забезпечення для формування обводів по заданим геометричним умовам.....	140
2.7 Семантична обробка інформаційних ресурсів ринку праці.....	141
ВИСНОВКИ.....	145
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	157

ВСТУП

Комп'ютерне моделювання різноманітних явищ, процесів та конкретних прикладних завдань знаходить все більш широке та різнопланове застосування в багатьох областях науки і техніці для опису, дослідження та прогнозування процесів і явищ, як в цілому, так і аналізу, розрахунку та оптимізації окремих їхніх параметрів. Зростає кількість комп'ютерних моделей, спектр явищ та використаних в них сучасних науково-технічних ідей. Все більш в склад моделей, які відображають диференціальні та інтегральні явища входять комп'ютерні системи для створення, зміни, аналізу та оптимізації графічних проектів

Основною задачею комп'ютерного моделювання є дослідження та побудова моделей явищ і процесів в АПК та у виробництві для визначення їх динаміки і тому, як правило, моделі містять розробку алгоритмів, спроможних адекватно відобразити будь яку схему, або технологію протікання процесу. Іншими словами комп'ютерна модель містить аналітичну схему (професійне толкування взаємозв'язків факторів і параметрів процесів), математичний апарат і розрахункові алгоритми. Ускладнення дослідного явища або процесу веде за собою ускладнення моделі і для формування її необхідні нові, більш прогресивні, методи комп'ютерного моделювання.

Одним з найбільш ефективних шляхів розв'язання поставлених задач є розвиток методів дистанційного контролю за поточним станом сільськогосподарських об'єктів шляхом оптимізації параметрів та розробки відповідного програмного забезпечення обробки і інтерпретації отриманої інформації. Дослідження в цьому напрямку проводяться вченими Мелітопольської наукової школи прикладної геометрії у ТДАТУ.

Таким чином актуальною є проблема комп'ютерного моделювання і дослідження питань, пов'язаних з впровадженням новітніх технологій в АПК, які дозволять будувати більш повні, точні, адекватні моделі, що відповідають реальним процесам і явищам.

Все це в сукупності дозволить знайти ефективні шляхи розв'язання багатьох прикладних та практичних задач.

РОЗДІЛ 1

НАУКОВИЙ ПОТЕНЦІАЛ, ОСНОВНІ ДОСЯГНЕННЯ ВЧЕНИХ

Наукові дослідження за тематикою підпрограми «Комп'ютерне моделювання явищ та процесів в АПК» здійснювали 26 науково-педагогічних працівників, у т.ч. 4 доктори наук і професори, 14 кандидатів наук і доцентів; 69% науково-педагогічних працівників мають наукові ступені вчені звання.

Таблиця 1.1– Кількість НПП, задіяних у наукових дослідженнях

Показник	Рік				
	2016	2017	2018	2019	2020
Доктори наук і професори	1	2	2	3	4
Кандидати наук і доценти	9	8	8	13	14
Асистенти, старші викладачі	6	5	5	7	8

Таблиця 1.2– Основні показники науково-дослідної роботи професорсько-викладацького складу

Показник	Рік				
	2016	2017	2018	2019	2020
Захищено дисертацій у спецрадах, всього	1	-	-	-	1
з них: докторських	-	-	-	-	1
кандидатських	1	-	-	-	-
Опубліковано: монографій	-	1	2	-	-
рекомендацій для агровиробників	-	-	-	-	-
статей у наукових фахових виданнях, які входять у наукометричні бази	-	1	6	4	5
статей у міжнародних виданнях	2	1	-	2	4
фахові наукові видання	10	8	11	39	25
ематичні статті	16	37	27	12	9
тези доповідей	34	30	54	37	48
Отримано патентів та свідоцтв на ОПВ	-	1	1	2	1
Проведено семінарів, конференцій, всього	-	-	-	7	5
у т. ч.: міжнародних	-	-	-	-	-
всеукраїнських	-	-	-	3	2
вузівських, обласних, районних	1	1	1	4	3
Участь у конгресах, семінарах, з'їздах, симпозиумах, конференціях	56	73	78	60	103
Впровадження досягнень науки, техніки і передового досвіду	6	-	-	6	2

РОЗДІЛ 2 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Розробка математичних моделей та відповідного програмного забезпечення на основі методів інтелектуального аналізу даних та комп'ютерного зору при дослідженні явищ та процесів в АПК

Розроблено математичні моделі та відповідне програмне забезпечення для проведення інтелектуального аналізу даних експерименту при дослідженні та прогнозуванні показників урожайності сільськогосподарських культур в залежності від погодних факторів в умовах Південного Степу України при проявленні ефекту колінеарності та великої кількості факторів впливу на основі методу головних компонент [1-9]

2.1.1 Розробка математичних моделей та відповідного програмного забезпечення для проведення регресійно-кореляційного аналізу при порушенні умов теореми Гауса-Маркова

Методика дослідження – кореляційно-дисперсійний аналіз, методи діагностики ефекту колінеарності факторів впливу (кореляційні оцінки, VIF, статистичні тести); побудова і аналіз ступеня впливу кожного фактора окремо на показник врожайності культур методами LASSO, Рідж-регресії, гребеневої регресії, метод головних компонент

2.1.1.1. Мультиколінеарність в регресійному аналізі показника клейковини пшениці при зберіганні

У сучасних дослідженнях досить часто застосовують методи кореляційно-регресійного аналізу. Розрахунок коефіцієнтів кореляції дозволяє виявити тісноту і напрямки зв'язку досліджуваних показників. Регресійний аналіз, який є продовженням кореляційного аналізу, дозволяє визначити аналітичний вираз зв'язку результуючої величини з факторними показниками. Використання регресійної моделі дозволяє сформулювати важливі висновки про вплив кожного фактора на результуючу ознаку і оцінити ступінь цього впливу, прогнозувати результати управлінського впливу на зміну значень факторів даної моделі, аналізувати і визначати значення факторів для забезпечення оптимального значення результуючих ознак.

Ефективним інструментом для аналізу процесу зберігання пшениці є регресійна модель, яка побудована на підставі зібраних експериментальних спостережень.

Як відомо, для отримання незміщене заможних ефективних оцінок параметрів регресійної моделі повинні виконуватися умови теореми Гауса-Маркова.

Одна з умов теореми - вектора-фактори повинні бути лінійно незалежні. Серйозною перешкодою для побудови адекватної регресійної моделі може бути ефект коррелированности факторів, що впливають, тобто мультиколінеарності.

Ефект мультиколінеарності означає, що принаймні два чинники (незалежних змінних), які беруть участь в моделі пов'язані тісного кореляційного залежністю між собою. Питанню складнощів і негативному впливу мультиколінеарності на весь процес дослідження присвячено багато публікацій. Як описано в літературі, основна проблема при прояві мультиколінеарності - нестабільні і зміщені помилки, що означає велике значення p -values для оцінки статистичної значущості параметрів регресійної моделі. Як результат, це призводить до неефективних, неспроможних оцінками.

Мультиколінеарності серед незалежних перемінних- факторів робить практично неможливим адекватну інтерпретацію виявлення і оцінки впливу кожного фактора на результуючий ознака на підставі регресійній моделі. Це відбувається через ефект перекривається інформації. Як відомо, коефіцієнти регресійної моделі використовують для інтерпретації показника зміни очікуваного значення результуючого ознаки через посилення ролі фактора на одиницю при незмінних значеннях інших змінних. При прояві ефекту мультиколінеарності така інтерпретація не дає адекватного результату

Тому слід розглядати дві проблеми - як виявити ефект мультиколінеарності і як побудувати ефективну регресійну модель в умовах мультиколінеарності.

Для рішення першої проблеми відомо багато способів виявлення мультиколінеарності. Одним з широко використовуваних методів виявлення мультиколінеарності є метод з використанням variance inflation factor (VIF), який вимірює збільшення дисперсії в порівнянні з тим, яка б вона була в разі однофакторної регресії

$$VIF = \frac{1}{1-R_j^2}, \quad (2.1)$$

де - коефіцієнт детермінації регресії від інших пояснюють змінних. R_j^2 X_j

Вважається, що якщо, то присутній мультиколінеарності. Ознакою мультиколінеарності є велике значень коефіцієнта детермінації, адекватність моделі (яка підтверджується критерієм Фішера) і при цьому велика кількість незначних параметрів моделі (що перевіряється за критерієм Стюдента). $VIF > 10$

Щоб оцінки параметрів регресійної моделі, в разі виявленої мультиколінеарності, були ефективні і надійні, пропонується використовувати методи регуляризації, які коригують відхилення від нормального розподілу залишків. Таким методом є метод LASSO.

Для дослідження когнітивних впливів параметрів зовнішнього середовища (умов зберігання) зернохвища на показники якості пшениці (клейковини) були проведені експериментальні дослідження.

У лабораторії Таврійського державного агротехнологічного університету (м. Мелітополь, Україна) в експериментальному зернохвищі проведені дослідження процесу охолодження пшениці з використанням різних ре

жимів зберігання встановлені показники якості пшениці при зберіганні. Експериментальна установка для дослідження процесу охолодження зерна (рис. 2.1) складається з мінізернохраниліща, охолоджувальних пристроїв, датчиків температурних режимів.

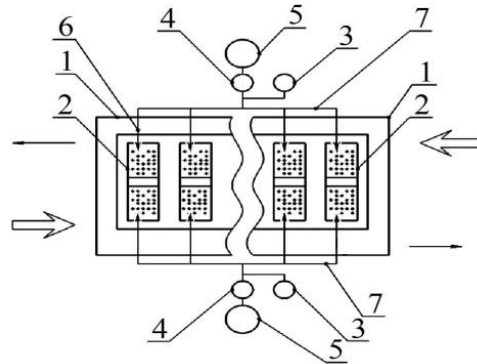


Рисунок 2.1 - Схема експериментальної установки для дослідження процесу охолодження зерна: 1 - зернохранилище; 2 - піддони; 3 - вентилятор; 4 - пневмоімпульсний барботер; 5 - охолоджувачі; 6 - колектори; 7 - трубопроводи

Зміни подачі холодоагенту проводилися за сет управління частоти обертання вентилятора хладогеніратора за допомогою автотрансформатора АОСН-20-220-75, який містить рухливий потіокоснімальний контакт у вигляді графітного ролика, що дає можливість змінювати величину напруги. Реєстрація частоти обертання приводного вала вентилятора виконувалася за допомогою бездротового тахометра UNI-T UT372. Для визначення маси використовувалися лабораторні ваги JADEVERSNUGII-150 з діапазоном вимірювання 0-500 м Температуру холодоагенту оцінювали сертифікованим термометром «Infrared Thermometer», інтегрованим в контролер температури «SPLIT». Для контролю вологості зерна був використаний вологомір «Wile-55». Забір зернової сировини виконувався методом точкового відбору з використанням лабораторного пробоотборника.

Результати вимірювань в нормованих значеннях наведені в таблиці 2.1. На рисунку 2.2 приведені графіки зміни показників отримані експериментально по нормованій шкалою, де - "Середня температура зерна в зернохраниліщі", - «Вологість зерна», - «Температура повітря в зернохраниліщі», - Об'ємна подача повітря, - «Температура холодоагенту». $x_1 x_2 x_3 x_4 x_5$

Нормовані значення факторів обчислюються за формулою

$$x_{ij} = \frac{z_{ij} - \bar{z}_i}{\bar{\sigma}_i}$$

де - реальні значення факторів; z_{ij}

$\bar{z}_i = \frac{\sum_{j=1}^n z_{ij}}{n}$ - середні значення факторів;

$\bar{\sigma}_i$ - дисперсії факторів.

У таблиці 2.1 наведені значення $i.\bar{z}_i\bar{\sigma}_i$

Таблиця 2.1 - Показники - $\bar{z}_i\bar{\sigma}_i$

i	1	2	3	4	5
$\bar{z}_i$	10,8107	12,4004	7,8107	17160,7143	2,9643
$\bar{\sigma}_i$	1,8745	0,3281	0,9726	1,8719	2,5601

На рисунку 2.2 показана динаміка зміни кожного показника по тижнях в нормованих значеннях.

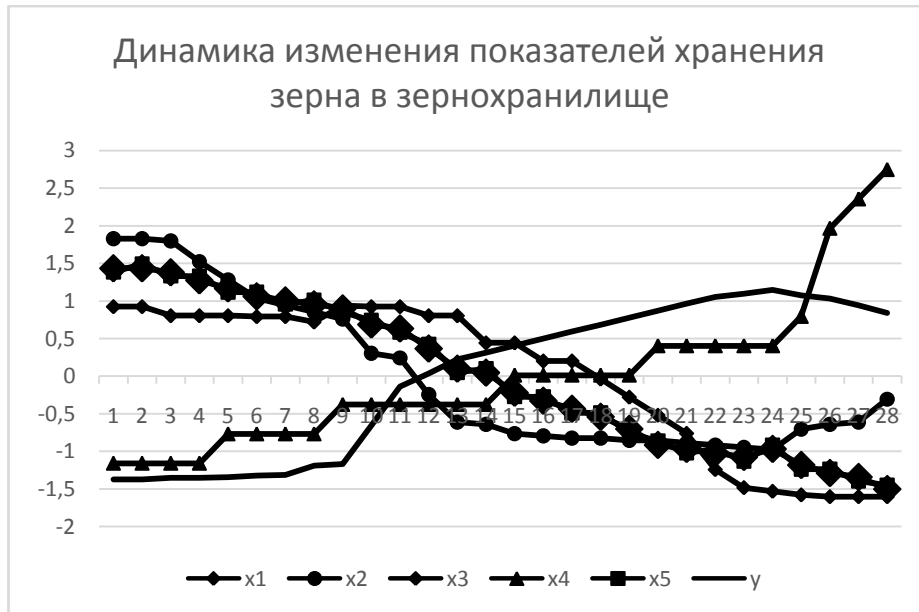


Рисунок 2.2 - Динаміка зміни показнику, наведена в нормованій шкалою, де - "Середня температура зерна в зерносховищі", - «Вологість зерна», - «Температура повітря в зерносховищі», - «Об'ємна подача повітря», - «Температура холодоагенту», - «Клейковина зерна, %». $x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 y$

Перед тим, як будувати регресійну модель проведено аналіз даних на наявність ефекту мультиколінійності. Матриця парних коефіцієнтів кореляції наведена в Таблиці 2.

Таблиця 2.2 - Парні коефіцієнти кореляції

	y	x1	x2	x3	x4	x5
y	1					
x1	-0,91396	1				
x2	-0,80668	0,8777	1			
x3	-0,91629	0,99828	0,8696376	1		
x4	-0,9179	0,90514	0,6307241	0,90963353	1	
x5	0,7035	-0,87999	-0,624816	-0,8797122	-0,8533333	1

Всі парні коефіцієнти кореляції між факторами мають значення близькі по модулю до одиниці, що вже говорить про високий рівень кореляційної зв'язку між ними.

Побудуємо лінійну регресійну модель виду

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5$$

і проведемо аналіз значущості параметрів регресійної моделі.

Рівняння регресії має вигляд

$$y = 43,51 - 0,3941x_1 - 0,952x_2 - 0,00000234x_3 - 0,0637x_4 - 0,02917x_5$$

Всі фактори за винятком, не значимі і при цьому значення коефіцієнта детермінації 0,976. При цьому, модель адекватна, згідно з критерієм Фішера при рівні значущості 0,05 (p-value <2.2e-16). Це свідчить про наявність сильної корелюваності факторів. Значення показника *VIF* для кожного фактора наведені в таблиці 3

Таблиця 2.3 - Значення показника *VIF* для кожного фактора

Фактор	Середня температура зерна в зернохосовищі, °C	Вологість зерна, %	Температура повітря в зернохосовищі, °C	Об'ємна подача повітря, м3 / рік)	Температура холодоагенту, °C
<i>VIF</i>	497.527660	26.922014	345.67023	20.11872	8.380607

Як видно, всі значення показника *VIF* перевищують 5, що говорить про сильну корелюваності факторів між собою. Іншими словами, присутній ефект мультиколінеарності.

Проблемі побудови адекватної регресійної моделі в умовах мультиколінеарності присвячено багато робіт. Частіше всього пропонується видалити з аналізу один з корелюють факторів. Однак, це призведе до втрати інформації. Ми не зможемо на підставі такої моделі оцінити ступінь впливу на результуючий ознака тих чинників, які ми видалили з розгляду. До того ж, в нашому випадку, корелюють між собою практично всі фактори, і видалення їх з моделі призведе до неефективності всього дослідження.

Для побудови регресійної моделі в умовах мультиколінеарності пропонується використовувати метод LASSO. Метод LASSO здійснює регуляризацию параметрів і дозволяє подолати недоліки методу найменших квадратів.

Суть регуляризації полягає в тому, що до функції втрат

$$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (2.5)$$

де - експериментальні значення показника; y_i

$\hat{y}_i$ - теоретичні значення показника, розраховані на підставі побудованого рівняння регресії,

яку мінімізують для визначення оцінок параметрів регресійної моделі МНК, додати додаткове доданок.

Тобто мінімізувати замість функції функцію RSS

$$L = RSS + \lambda \sum_{i=1}^n |\beta_i|, \quad (2.6)$$

де - заданий параметр (штраф); λ

β_i - коефіцієнти регресійної моделі.

Іншими словами, вводиться штраф за невиправдано великі значення параметрів. Причому, величина цього штрафу пропорційна величині параметра, за допомогою якого можна підібрати більш стійке рішення. $\beta_i \lambda$

Суть алгоритму визначення параметра полягає в наступному. Дані випадковим чином розбивають на підвибірок. Одна з підвибірок є контрольною, інші в сукупності утворюють загальну вибірку. Визначається вектор значень з деяким кроком. Для по навчальній вибірці будується регресійна модель. Для кожної моделі обчислюється помилка прогнозу, тобто сума квадратів залишків регресії $Q - 1 \lambda = \{\lambda_s\} \lambda_s$

$$RSS_{\lambda_s}^q = \sum_{i=1}^n (y_i - \sum_{j=0}^{k-1} \hat{b}_j(q, \lambda_s) x_{ij})^2 \quad (2.7)$$

де - номер блоку, обраного в якості вибірки; $q = \overline{1, Q}$

y_i - експериментальні значення залежної змінної;

x_{ij} - експериментальні значення незалежних змінних;

λ_s - параметр.

Потім обчислюється середнє значення цієї помилки по всіх блоках:

$$MSE_{\lambda_s} = \frac{1}{Q} \sum_{q=1}^Q RSS_{\lambda_s}^q \quad (2.8)$$

В якості відповідного вибирається таке, при якому буде мінімальним. $\lambda_s MSE_{\lambda_s}$

Провівши побудова регресійної моделі методом LASSO були виконаний аналіз регресії при різних значеннях параметра. На малюнку 3 наведено графік результатів проведення крос-валідації. На графіку показана залежність середньої квадратичної помилки прогнозування λMSE_{λ} від. Вертикальні відрізки в кожній точці показують інтервал відхилення величини на стандартну помилку. Перша пунктирна лінія показує положення мінімуму. Друга пунктирна лінія позначає точку, обрану за правилом «однієї стандартної помилки». Користуючись результатами крос-валідації визначаємо відповідні значення параметра. $lg(\lambda) MSE_{\lambda} MSE_{\lambda} \lambda$ Згідно з проведеним аналізом, обрані наступні значення: $i. \lambda_{min} = 0.001651433 \lambda_{1se} = 0.08219219$

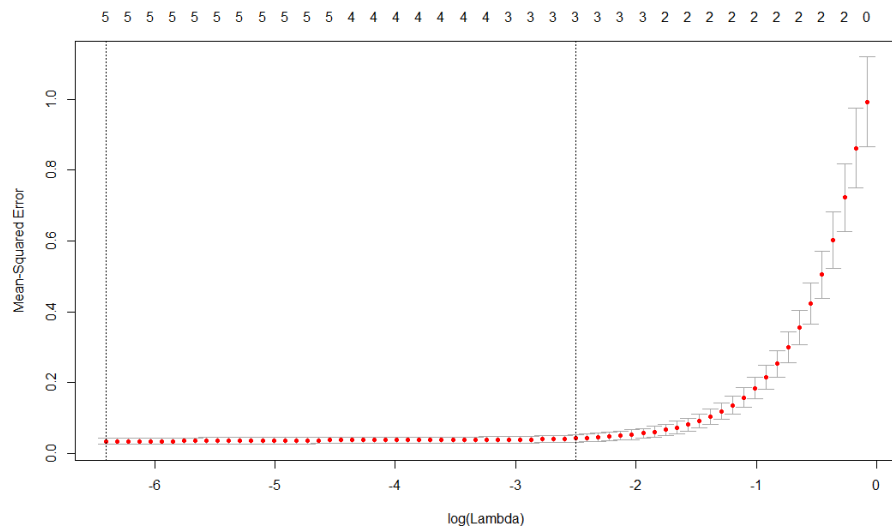


Рисунок 2.3 - Залежність значення середньоквадратичної помилки для моделі від. Вгорі показано кількість ненульових коефіцієнтів моделі в отриманій регресійній моделі. Виділено пунктирною лінією значення, при якому функція приймає мінімальне значення і значення, що відрізняється від мінімуму на величину стандартної помилки. $\lg(\lambda)$ $\hat{b}_i$ $\lg(\lambda)$

Коефіцієнти регресії при зазначених значеннях наведені в таблиці 2.4

Таблиця 2.4 - Коефіцієнти регресії

	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
Коефіцієнти регресії при $\lambda_{min} = 0.001651433$	44,9106	-0,2901	-1.0469	-0,0574	-0,0989	$-8,1717 \cdot 10^{-6}$
Коефіцієнти регресії при $\lambda_{1se} = 0.08219219$	44,9106	-0,1372	-1,2015	-0,0182	-0,1364	$-2,4676 \cdot 10^{-5}$

Наведемо оцінки дисперсії помилок для лінійної регресії, побудованої методом найменших квадратів і методом LASSO. В першому випадку (для МНК) оцінка дисперсії помилок становить 0,02274. Для регресії, побудованої методом LASSO при оцінка дисперсії помилок дорівнює 0,02278. Для регресії, побудованої методом LASSO при оцінка дисперсії помилок дорівнює 0,02587. $\lambda_{min} = 0.001651433$ $\lambda_{1se} = 0.0822$

Для оцінки ступеня впливу кожного фактора на показник клейковини при зберіганні знайдемо коефіцієнт детермінації, коефіцієнти еластичності, коефіцієнти $i.R^2 E_i \beta_i \Delta_i$

Коефіцієнт детермінації визначається за формулою

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

де - теоретичні значення клейковини, розраховані на підставі регресійної моделі, $\hat{y}_i$

y_i - експериментальні значення клейковини,

$\bar{y}$ - середнє значення показника клейковини.

Значення коефіцієнта детермінації, що говорить про сильний вплив факторів на показник клейковини в порівнянні з випадковими ми. $R^2 = 0,974658$

Коефіцієнт еластичності визначається по формулі

$$E_i = b_i \frac{\bar{x}_i}{\bar{y}},$$

де b_i - розраховані коефіцієнти регресійної моделі;

$\bar{x}_i$ - середні значення кожного фактора;

$\bar{y}$ - середнє значення результуючого ознаки.

коефіцієнт β_i визначається за формулою

$$\beta_i = b_i \frac{\bar{S}_{x_i}}{\bar{S}_y}$$

де b_i - розраховані коефіцієнти регресійної моделі;

$\bar{S}_{x_i}$ - середнє квадратичне відхилення фактора; x

$\bar{S}_y$ - середнє квадратичне відхилення показника клейковини. y

коефіцієнт Δ_i визначається за формулою

$$\Delta_i = \frac{\beta_i \cdot r_{yx_i}}{R^2},$$

де b_i - розраховані коефіцієнти регресійної моделі;

r_{yx_i} - парні коефіцієнти кореляції між показником клейковини і фактором; yx_i

R^2 - коефіцієнт детермінації.

Значення розрахованих показників E_i , β_i і Δ_i для кожного коефіцієнта регресійної моделі наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Коефіцієнти еластичності

	Середня температура зерна в зерносховищі, °C	Вологість зерна, %	Температура повітря в зерносховищі, °C	Об'ємна подача повітря, м ³ / рік)	Температура холодоагенту, °C
	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
E_i	-0,1162	-0,4811	-0,0286	-0,0052	-0,0063
β_i	-0,5592	-0,3531	-0,1904	-0,0349	-0,1510
Δ_i	0,5546	0,3447	0,1886	0,0293	-0,1166

На підставі коефіцієнта еластичності робимо наступний висновок. Збільшення фактора «Середня температура зерна в зерносховищі, °C» на 1% значення показника «Клейковина, %» зменшиться на 0,116%. Увеличення фактора «Вологість зерна, %» на 1% значення показника «Клейковина, %» зменшиться на 0,48%. Увеличення фактора «Температура повітря в зерносховищі, °C» на 1% значення показника «Клейковина, %» зменшиться на 0,02%. Увеличення фактора «Температура холодоагенту, °C» на 1% значення показника «Клейковина, %» зменшиться на 0,063%. Увеличення фактора «Об'ємна подача повітря, м³ / год.» на 1% значення показника «Клейковина, %» зменшиться на 0,052%.

На підставі коефіцієнтів впорядкуємо фактори за ступенем їх впливу на показник «Клейковина». Найбільший вплив надає фактор «Середня температура зерна в зерносховищі, °C», потім - «Вологість зерна, %», «Температура повітря в зерносховищі, °C», «Температура холодоагенту, °C» і «Об'ємна подача повітря, м³ / год.» β_i

За допомогою коефіцієнтів Δ_i оцінимо частку впливу кожного фактора на показник «Клейковина». Частка фактора «Середня температура зерна в зерносховищі, °C» становить 55%, частка фактора «Вологість зерна, %» -34%, частка фактора «Температура повітря в зерносховищі, °C» -18%, частка фактора «Температура холодоагенту, °C» - 11% і частка фактора «Об'ємна подача повітря, м³ / год.» становить 2,9%.

2.1.1.2 Регресійний аналіз при дослідженні показників якості плодів черешні та вишні при наявності ефекту мультиколінеарності

Одним з умов теореми Гауса-Маркова про побудову адекватної регресійної моделі є відсутність ефекту кореляції факторів (мультиколінеарності). Ефект мультиколінеарності означає, що принаймні дві незалежні змінні, які впливають на предикату мають тісний кореляційний зв'язок. Основна проблема при прояві мультиколінеарності є нестабільні і зміщені похибки параметрів регресійної моделі, що приводить до такого значення показника r -values, яке перевищує допустиме значення рівня значущості. Як результат,

це призводить до неефективних оцінок, які не дають можливості адекватного аналізу процесу на основі такої регресійної моделі. Ефект мультиколінеарності приводить до неадекватної інтерпретації оцінок впливу окремих змінних на предикату на основі регресійної моделі.

Таким чином, слід розглядати дві проблеми - виявлення мультиколінеарності і побудувати адекватної регресійної моделі при наявності мультиколінеарності.

Одним з широко використовуваних методів виявлення мультиколінеарності є метод на основі показника variance inflation factor (VIF), який показує, як збільшилася загальна дисперсія в порівнянні з дисперсією моделі однофакторної регресії

$$VIF = \frac{1}{1-R_j^2},$$

де R_j^2 - коефіцієнт детермінації в регресії предикати від змінної $x_j, j = 1..n$.

При значенні $VIF > 10$ присутній ефект мультиколінеарності. Також, ознакою мультиколінеарності є значень коефіцієнта детермінації близького до 1, адекватність моделі за критерієм Фішера, і, одночасно, велика кількість не значимих, за критерієм Ст'юдента, параметрів моделі.

У випадку, коли наявність мультиколінеарності підтверджена, пропонується наступні підходи до регресійного аналізу.

Перший підхід. Щоб оцінки параметрів регресійної моделі, в разі виявленої мультиколінеарності, були ефективними і надійними, пропонується використовувати методи регуляризації, які коригують відхилення від нормального розподілу залишків. Таким методом є метод LASSO (Least absolute shrink age and selection operator). На підставі запропонованої методики була побудована і проаналізована модель, яка описує вплив показників зберігання зерна (температура зернової маси, вологість зерна, температура повітря в зерносховище, температура холодоагенту і обсяг подачі повітря) на якісні характеристики зерна (клейковини).

Іншим підходом до усунення ефекту мультиколінеарності та побудови моделі регресії є видалення з розгляду корелюючих факторів.

З метою виявлення тих факторів, які слід залишити, пропонується побудувати регресійні моделі на різних наборах факторів та порівняти отримані моделі за набором критеріїв якості моделей.

По-перше, для порівняння якості моделей використовують критерій Акаїке AIC

$$AIC = 2k + n \left(\ln \left(\frac{2\pi \cdot RSS}{n} \right) + 1 \right),$$

де $RSS = \sum e_i^2$ - сума квадратів залишків регресії;

n - кількість спостережень;

k - кількість параметрів регресійної моделі.

По друге, для порівняння регресійних моделей з різною кількістю факторів використовують нормований коефіцієнт детермінації :

$$R_{adjusted}^2 = 1 - (1 - R^2) \cdot \frac{n - 1}{n - k}$$

де - R^2 - коефіцієнт детермінації регресійної моделі;

n – кількість спостережень;

k – кількість параметрів регресійної моделі.

Таким чином, в якості критеріїв для порівняння моделей пропонується наступні: кількість факторів, залучених в моделі, кількість незначущих факторів в моделі, кількість факторів, які мають значення показника $VIF > 10$ (тобто кількість факторів, які породжують ефект мультиколінеарності), значення оцінки моделі за критерієм AIC (вважається, що, чим краще модель, тим менше значення критерію), значення нормованого коефіцієнта детермінації. $R_{adjusted}^2$

Запропонований підхід був реалізований при регресійному аналізі урожайності вишні від кліматичних умов вирощування.

2.1.2 Розробка алгоритму побудови збалансованих ортогональних планів експерименту при великій кількості рівнів факторів, оптимального за критерієм D-efficiency

Розроблено алгоритм побудови збалансованого ортогонального плану експерименту та побудова на основі результатів такого експерименту регресійних моделей.

Об'єктом дослідження виступають матриці планів проведення експерименту. Методика досліджень – алгоритми побудови збалансованих ортогональних матриць за заданою кількістю рівнів факторів.

Одним із способів отримання повної інформації про об'єкт при зменшенні кількості необхідних експериментів є побудова дрібного плану. В цьому випадку можна використовувати не всю матрицю плану повного факторного експерименту, а тільки деякі її рядки. Матриця плану, при цьому, повинна бачи побудована таким чином, щоб навіть частина інформації досить повно відображала досліджуваного об'єкта, інакше кажучи, план повинен бути ефективним.

Одним з показників якості повноти плану є той факт, що кожен фактор на кожному рівні повторюється в матриці плану однаково кількість разів, тобто матриця такого плану утворює ортогональний масив і план є збалансованим.

Як відомо [6], прортогональний масив або ортогональна таблиця розміранад $OA_{\lambda}(t, k, v)$ $\lambda v^t \times k$ алфавітом з букв - це матриця, в якій для будь-якого набору з стовпців при обмеженні рядків матриці на ці стовпців кожна з комбінацій символів зустрічається рівно раз. $v \ t \ t \lambda$

План, побудований на основі ортогонального масиву, є збалансованим, тому що містить однаково кількість кожного рівня кожного фактора, кожна

пара факторів зустрічається однакову кількість разів. Якщо план є збалансованим і матриця його ортогональна, то критерій D-ефективності такого плану має найбільше значення.

Критерій D-efficient мінімізує визначник відповідної нормальної системи лінійних рівнянь. Згідно з цим критерієм, очікувана помилка прогнозу на підставі функції відгуку мінімальна. Значення критерію D-оптимальності розраховується за формулою:

$$D_{eff} = \frac{|M^T \times M|^{\frac{1}{m}}}{n \times m}, \quad (2.1.1.1)$$

де M - матриця плану експерименту;

M^T - транспонована матриця плану експерименту;

n - кількість факторів;

m - кількість рівнів.

На основі методики, пропонується алгоритм побудови матриці ортогонального плану типу m^n . При побудові такої матриці використовується операції Кронекера.

Якщо A - матриця розміру $m \times n$, B - матриця розміру $p \times q$, тоді добуток Кронекера є блокова матриця розміру $mp \times nq$

$$A \otimes B = \begin{bmatrix} a_{11}B & \dots & a_{1n}B \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{m1}B & \dots & a_{mn}B \end{bmatrix} \quad (2.1.1.2)$$

Розглянемо твір Кронекера матриць $A = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}$ і $A^T = [0 \quad 1 \quad 2 \quad 3]$

$$A \otimes A^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 2 & 3 \\ 0 & 2 & 4 & 6 \\ 0 & 3 & 6 & 9 \end{bmatrix} \quad (2.1.1.3)$$

Виконаємо над елементами матриці, отриманої як добуток Кронекера операцію «поділу за залишком», то мають на увазі обчислення залишку від ділення на k

Наприклад, твором Кронекера «по залишку 3» є матриця: $A \otimes A^T$

$$D_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix} \otimes [0 \quad 1 \quad 2 \quad 3] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 2 & 3 \\ 0 & 2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.1.1.4)$$

За аналогією з твір Кронекера в роботі [5] розглядається операція блочного підсумовування матриць. Блочне сума матриць і - це матриця виду: $A = \text{ду}: A = [a_{ij}] B = [b_{ij}]$

$$A \oplus B = \begin{bmatrix} a_{11} + B & \dots & a_{1n} + B \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} + B & \dots & a_{mn} + B \end{bmatrix}$$

Отримана матриця є основним блоком для побудови схеми ортогонального збалансованого плану експерименту виду, (n - кількість чинників, m - кількість рівнів). m^n

Розглянемо добуток Кронекера матриць $L_n = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ \dots \\ n \end{bmatrix}$ і $L_n^T = [0 \quad 1 \quad \dots \quad n]$

$$L_n \oplus L_n^T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & \dots & n \\ 1 & 2 & 3 & \dots & n+1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ n & n+1 & n+2 & \dots & 2n \end{bmatrix} \quad (2.1.1.6)$$

Побудуємо матрицю як результат застосування операції «залишок від ділення на" елементів матриці. $D_m m L_n \oplus L_n^T$

Побудуємо матрицю F як результат виконання операції блочного підсумовування стовпчика-матриці

і матриці D_m :

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ \dots \\ n-1 \end{bmatrix}$$

$$F = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ \dots \\ n-1 \end{bmatrix} \oplus D_m = \begin{bmatrix} 0 + D_m \\ 1 + D_m \\ \dots \\ n + D_m \end{bmatrix} \quad (2.1.1.7)$$

с подальшим виконанням операції «залишок від ділення» кожного елемента матриці-результату на m.

Наприклад, матриця ортогонального плану експерименту виду 5^5 ($m = 5$ - кількість рівнів факторів, $n = 5$ - кількість факторів), побудована за запропонованою схемою має вид:

$$[l_5, l_5 \oplus D_5] = \begin{bmatrix} l_5, & 0 + D_5 \\ l_5, & 1 + D_5 \\ l_5, & 2 + D_5 \\ l_5, & 3 + D_5 \\ l_5, & 4 + D_5 \end{bmatrix} \quad (2.1.1.8)$$

де l_5 - матриця виду $\begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ 4 \end{bmatrix}$.

Після виконання сортування рядків матриці по на одну колонку отримуємо матрицю плану експерименту виду 5^5 :

0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1
0	2	2	2	2	2
0	3	3	3	3	3
0	4	4	4	4	4
1	0	1	2	3	4
1	1	2	3	4	0
1	2	3	4	0	1
1	3	4	0	1	2
1	4	0	1	2	3
2	0	2	4	1	3
2	1	3	0	2	4
2	2	4	1	3	0
2	3	0	2	4	1
2	4	1	3	0	2
3	0	3	1	4	2
3	1	4	2	0	3
3	2	0	3	1	4
3	3	1	4	2	0
3	4	2	0	3	1
4	0	4	3	2	1
4	1	0	4	3	2
4	2	1	0	4	3
4	3	2	1	0	4
4	4	3	2	1	0

Після побудови плану слід провести відповідне ортогональне кодування. Кодування - це процес або заміна наших розрахункових факторів набором

індикаторів або закодованих змінних. Слід використовувати стандартизоване ортогональне контрастне кодування:

1 уровень	1,58	-0,91	-0,65	-0,50
2 уровень	0	1,83	-0,65	-0,50
3 уровень	0	0	1,94	-0,50
4 уровень	0	0	0	2,00
5 уровень	-1,28	-0,91	-0,65	-0,50

Таким чином, отримуємо прямокутний збалансований план, який має найкращий показник D-efficient серед планів такої ж розмірності.

Отже, пропонується наступний алгоритм побудови ортогонального дрібного плану експерименту типу m^n , (m - кількість рівнів факторів, n - кількість факторів):

Побудувати матрицю - результат добутку Кронекера матриць $l_n = \begin{bmatrix} 0 \\ \dots \\ n \end{bmatrix}$ и $l_n^T = [0 \dots n]$, (n - кількість факторів).

Провести по відношенню до побудованої матриці операцію «залишок від ділення» на $(- \text{кількість рівнів факторів})$ і отримати матрицю; mmD_m

Використовуючи операцію блочного підсумовування побудувати матрицю; $l_m \oplus D_m$

Додати до побудованої матриці стовпець і отримати матрицю; $l_n [l_n, lm \oplus Dm$

Відсортувати матрицю з п.4 по на одну колонку;

Виконати операцію ортогонального кодування.

2.1.2.1 Побудова ортогональних збалансованих планів експерименту на основі спеціальних блокових операцій над матрицями при побудови математичної моделі пневмогравітаційного сепаратора насіння

Запропонований алгоритм побудови матриці плану був використаний при проведенні експериментальних досліджень оптимальних значень параметрів роботи пневмогравітаційного сепаратора.

Схема пневмогравітаційного сепаратора насіння приведена на рис. 2.3.

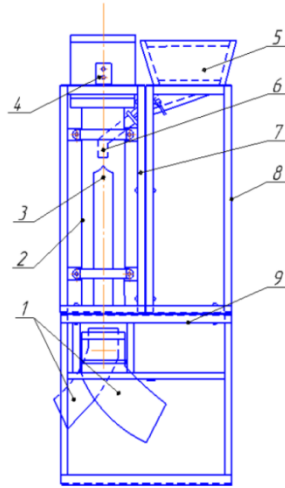


Рисунок 2.3 - Пневмогравітаційний сепаратора насіння: 1 - два розподільника; 2 - аспіраційний канал; 3 - дільник; 4 - вентилятор; 5 - бункер; 6 - патрубок поставки; 7 - ліва частина рами; 8 - верхня частина рами; 9 - нижня частина рами.

На підставі попередніх досліджень були визначені ступеня вплив окремих факторів і встановлені рівні їх варіювання. До факторів, що робить істотний вплив на процес сепарації, відносяться:

швидкість сходу насіння (м / с), v_0

кут введення насіння (град), α

швидкість повітря (м / с), v_v

довжина вертикального аспіраційного каналу (м), l

діаметр основного аспіраційного каналу (мм), d .

Як відгуку виступає величина середнього відхилення траєкторії руху зерна в місці вивантаження (м), y .

Кожен фактор варіював на п'яти рівнях. Значення рівнів варіювання факторів приведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 -Рівнем факторів

Фактори	натуральні позначення	кодовані позначення	інтервал варіювання	Рівні факторів				
				5	4	3	2	0
Швидкість сходу насіння (м / с)	v_0	x1	0,2	1	0,8	0,6	0,4	0.2
Кут введення насіння (град)	α	x2	20	100	80	60	40	20
Швидкість повітря (м / с)	v_v	x3	0,5	6	5,5	5	4,5	4
Довжина вертикального аспіраційного каналу (м)	l	x4	0,25	0,8	0,65	0,5	0,35	0.2
Діаметр основного аспіраційного каналу (мм)	d	x5	50	200	175	150	125	100

Для визначення раціональних параметрів роботи сепаратора була проведена серія експериментів, згідно з планом (9). В результаті проведення експериментів побудована наступна модель, з урахуванням тільки значущих чинників:

$$y = -64.829 + 0.067v_0 + 0.002\alpha + 0.92 \cdot 10^{-5}v_v - 0.042v_0^2 - 9.2 \cdot 10^{-6}v_v^2 - 2.5 \cdot 10^{-5}\alpha^2 + 1.115l + 0.32d.$$

На підставі побудованої моделі були визначені наступні оптимальні значення параметрів роботи сепаратора в діапазоні варіювання факторів:

швидкість сходу насіння, $v_0 = 0,8$ м/с

кут введення насіння (град), $\alpha = 40^\circ$

швидкість повітря, $v_v = 5$ м/с

довжина вертикального аспіраційного каналу, $l = 0,7$ м

діаметр основного аспіраційного каналу $d = 200$ мм.

Максимальна розділяє здатність сепаратора досягається при значенні середнього відхилення траєкторії руху зерна в місці вивантаження. $y = 0,018$ м

2.1.3 Розробка програмного модулю визначення показників пластичності і стійкості при оцінці гібридів сільськогосподарських культур на основі методу Еберхарда-Рассела і регресійного аналізу

Розробка програмного модулю визначення показників пластичності і стійкості при оцінці гібридів сільськогосподарських культур на основі методу Еберхарда-Рассела і регресійного аналізу. Застосування аналізу пластичності і стійкості дозволяє проводити комплексну оцінку нових гібридів з точки зору їх пристосування до умов вирощування і норми реакції генотипів на технологію вирощування

Застосування аналізу пластичності і стійкості дозволяє проводити комплексну оцінку нових гібридів з точки зору їх пристосування до умов вирощування і норми реакції генотипів на технологію вирощування.

В багатьох роботах останніх років, в яких розглядається питання екологічної пластичності, застосовується методика Eberhart і W.A. Russel. Це обумовлено, мабуть, тим, що вона дозволяє визначити не тільки пластичність будь-якого генотипу, але і його стабільність.

Згідно з методикою S.A. Eberhart і W.A. Russel сума квадратів взаємодії кожного сорту з умовами середовища ділиться на дві частини: лінійний компонент регресії (b_i) та нелінійну частину, яка визначається середнім квадратичним відхиленням від лінії регресії (S_i^2).

Коефіцієнт регресії (b_i) характеризує середню реакцію сорту (гібриду) на зміну умов середовища і дає можливість спрогнозувати зміну досліджуваної ознаки, у даному випадку врожайності, в рамках наявних у досліді умов.

Більша величина коефіцієнта регресії вказує на більшу норму реакції сорту (гібриду) при зміні умов вирощування. У більшості випадків b_i має позитивні значення, але може набувати від'ємних величин у разі впливу окремих абіотичних чи біотичних факторів: вилягання посівів, ураження хворобами і шкідниками тощо. Якщо значення b_i близьке до нуля, то це свідчить про те, що сорт (гібрид) не реагує на зміну умов вирощування. Мінливість показника (врожайності) характеризує коефіцієнт стабільності σ_d^2 : чим менше відхилення від 0, тим стабільнішим є сорт за цією ознакою. Коефіцієнт регресії врожайності сорту і умов середовища прийнято називати коефіцієнтом екологічної пластичності, а дисперсію відносно регресії – стабільністю.

Продуктивність соняшнику різнилася як по роках, так і залежно від гібриду (табл. 2.7). Найбільшу врожайність було відмічено у 2013 році, хоча він і був несприятливим за гідротермічним показником, але мінімальна відносна вологість повітря у період цвітіння була оптимальною (61.8 %).

Таблиця 2.7 - Продуктивність гібридів соняшнику (2013-2015 рр.)

Гібрид	Year			Сума врожаю гібридів по роках ($\sum Y_i$)	Середня врожайність гібридів (Y_i)	Лінійний компонент регресії (b_i)
	2013	2014	2015			
PR64LE19	26.9	13.1	30.1	70.1	23.4	1.00
PR64LE71	28.1	14.6	31.0	73.7	24.6	0.98
PR64LE11	27.6	13.0	22.7	63.3	21.1	0.92
PR64A89	32.3	13.5	23.1	68.9	22.9	1.14
PR64A71	31.9	16.7	24.1	72.7	24.2	0.91
PR64F66	32.8	19.1	25.1	77.0	25.7	0.81
PR64F50	30.6	10.5	22.4	63.5	21.2	1.24
$\sum Y_j$	210.2	100.5	178.5	489.2	23.3	
Y_j	30.0	14.4	25.5			
I_j	6.73	-8.94	2.20			

Гібриди, створені в інших кліматичних зонах, в більшості адаптовані саме до своїх умов і при 2-х – 3-х річному сортовипробуванні в Україні не встигають проявити свій рівень стійкості до всього комплексу можливих біотичних і абіотичних стресів. Вони, при несприятливих умовах, можуть давати найменшу врожайність, що й спостерігалось у 2014 році.

Середній врожай по досліді визначається за формулою:

$$Y = \frac{\sum Y_j}{v * n}$$

де $\sum Y_j$ – сума врожаю по гібридам та рокам досліджень;

v – кількість гібридів;

n – кількість років.

Для обчислення коефіцієнта лінійної регресії b_i спочатку визначали індекс умов середовища I_j :

$$I_j = [(\sum Y_j/v) - \sum Y_i/vn]$$

$\sum Y_j$ – сума врожаю всіх гібридів за певний рік;

$\sum Y_i$ – сума врожаю всіх гібридів протягом усіх років;

v – кількість гібридів;

n – кількість років.

Сукупність індексів характеризує мінливість умов, в яких вирощували гібриди в досліді. Індекс умов середовища може приймати як позитивні, так і негативні значення. Кращі умови для росту і розвитку генотипу склалися в пунктах з позитивними значенням індексу (2013 та 2015 роки), а найгірші – з негативними (2014 рік).

Нами було розраховано для кожного гібриду коефіцієнт регресії b_i :

$$b_i = \frac{\sum Y_{ij} * I_j}{\sum I_j^2}$$

$\sum Y_{ij}$ – сума врожаю певного гібрида в певному році;

I_j – індекс умов середовища;

$\sum I_j^2$ – сума квадратів індексів умов середовища.

Виходячи з моделі розрахунків S.A. Eberhart і W.A. Russel, найбільш цінними є ті сорти (гібриди), у яких $b_i > 1$. Такі сорти (гібриди) відносяться до високо інтенсивних. Вони добре реагують на покращання умов вирощування та характеризуються стабільною врожайністю. Сорти з високим показником b_i менш цінні, так як їх висока чутливість поєднується з низькою стабільністю врожаю. Ті генотипи, у яких $b_i < 1$, слабо реагують на покращання зовнішніх умов (напівінтенсивні), але мають достатньо високу стабільність врожайності.

У результаті опрацювання експериментальних даних можна зробити висновок, що тільки один гібрид соняшнику за своїми показниками пластичності за ознакою врожайності може бути віднесено до групи низько пластичних: PR64F66. Він демонструє кращі результати під впливом несприятливих умов вирощування, а поліпшення умов не викликає прибавки врожайності.

Водночас певній кількості генотипів притаманне середньо групове значення показника пластичності ознаки врожайності (тобто близьке до одиниці), а саме: PR64LE19, PR64LE71, PR64LE11, PR64A71. Отже, вони більшою мірою залежать від умов середовища і зміна урожайності в них визначається умовами вирощування.

З усього набору гібридів, які ми вивчали, заслуговують на увагу два високопластичних генотипи, які за умов покращання умов вирощування та агротехнічних заходів прогресивно змінюють урожайність. Це такі гібриди як: PR64A89, PR64F50. Але, стрімке збільшення пластичності гібридів призводить до зменшення їх пристосованості і стабільності, тому прагнути до збільшення фенотипової пластичності, не слід, так як це підвищує сприйнятливості гібриду не лише до сприятливих, але і до несприятливих умов. Стійкі до стресових ситуацій гібриди відрізняються відносно низькою нормою реакції на зміну умов вирощування, коефіцієнт регресії у них менше одиниці і з подальшим зниженням його, стійкість до несприятливих умов збільшується. В наших дослідженнях таким гібридом був PR64F66. Рослини цього гібриду

здатні менше знижувати урожайність у екстремальних умовах, менше реагують на зміну чинників зовнішнього середовища.

Аналіз ознаки стабільності цікавить нас більше в плані визначення середньо групової константи, так як ознака стабільності є більш умовною, ніж показник пластичності.

Для визначення стабільності спочатку визначали потенційну врожайність для кожного гібриду за наступною формулою (табл. 2.8):

$$Y_i = \bar{x}_i + b_i I_j$$

$\bar{x}_i$ – середній врожай певного гібриду по всім рокам досліджень, ц/га;

$b_i I_j$ – добуток коефіцієнта регресії певного гібриду на індекс умов середовища.

Таблиця 2.8 - Потенційна урожайність гібридів, ц/га

Гібрид	Year			Потенційна врожайність (Y_i)
	2013	2014	2015	
PR64LE19	30.1	14.4	25.6	23.4
PR64LE71	31.1	15.8	26.7	24.6
PR64LE11	27.3	12.9	23.1	21.1
PR64A89	30.6	12.8	25.5	22.9
PR64A71	30.4	16.1	26.2	24.2
PR64F66	31.1	18.4	27.5	25.7
PR64F50	29.5	10.1	23.9	21.2

Потенційна врожайність досліджуваних гібридів більша за 20 ц/га, що для південного Степу України є досить гарним показником.

Для визначення стабільності врожайності гібридів соняшнику ми розраховували відхилення фактичної врожайності від потенційної (табл. 2.9) за наступною формулою:

$$\sigma_{ij} = Y_{ij} - \hat{Y}_{ij}$$

Y_{ij} – фактична врожайність певного гібриду в певному році, ц/га;

$\hat{Y}_{ij}$ – потенційна врожайність певного гібрида в певному році, ц/га.

Середньоквадратичне відхилення (стабільність) обчислювали за формулою:

$$\sigma_d^2 = \frac{\sum \sigma_{ij}^2}{n - 2}$$

$\sum \sigma_{ij}^2$ – сума квадратів відхилення фактичної врожайності від потенційної;

n – кількість років.

Відповідно до розрахунків, наведених у таблиці 2.9, стабільність варіює від 0.29 у гібрида PR64LE11 до 32.51 у гібрида PR64LE19. Менше значення σ_d^2 вказує на менше відхилення фактичного врожаю від потенційного протягом усіх років досліджень, що підтверджує стабільність даного гібриду. На

одному рівні знаходяться гібриди PR64A89, PR64A71, PR64F66, стабільність яких становить 7.31 – 8.93. Значним відхиленням врожаю із значеннями стабільності 29.11 та 32.51 характеризуються гібриди PR64LE71 та PR64LE19.

Таблиця 2.9 - Відхилення фактичної врожайності від потенційної, ц/га

Гібрид	Year			Сума квадратів відхилення врожайності ($\sum \sigma_{ij}^2$)	Стабільність (σ_d^2)	Гомеостатичність, H_{om}
	2011	2012	2013			
PR64LE19	-3.22	-1.31	4.52	32.51	32.51	3.94
PR64LE71	-3.04	-1.24	4.28	29.11	29.11	4.20
PR64LE11	0.30	0.12	-0.43	0.29	0.29	4.21
PR64A89	1.69	0.69	-2.37	8.93	8.93	3.01
PR64A71	1.52	0.62	-2.14	7.31	7.31	5.21
PR64F66	1.67	0.68	-2.35	8.81	8.81	7.00
PR64F50	1.07	0.43	-1.51	3.60	3.60	2.29

При зміні умов вирощування, у рослин гібридів PR64LE71 та PR64LE19 змінюється їх екологічна пластичність, так як коефіцієнт лінійної регресії становить 1.00 та 0.98 відповідно, але в той же час ці гібриди є нестабільними.

Однаковий рівень стабільності гібридів PR64A89, PR64A71, PR64F66 не співпадає з їх екологічною пластичністю. Гібрид PR64F66 реагує слабше на зміну умов середовища, ніж у середньому весь набір, але він відзначився середньою стабільністю в порівнянні з іншими. Повну відповідність зміни врожайності при зміні умов вирощування мають гібриди PR64LE11 ($b_i = 0.92$) та PR64A71 ($b_i = 0.91$), але гібрид PR64LE11 характеризується мінімальним відхиленням фактичних врожаїв зі значенням 0.29 тоді як у PR64A71 відхилення становить 7.31. Вимогливими до високого рівня агротехніки виявилися гібриди PR64F50 ($b_i = 1.24$) та PR64A89 ($b_i = 1.14$), стабільність яких становила 3.6 та 8.9 відповідно.

Для оцінки стабільності гібридів соняшнику в наших дослідженнях визначено показник гомеостатичності (H_{om}), який характеризує цінність генотипу сорту (гібриду).

$$H_{om} = \frac{x}{\sigma(x_{opt} - x_{lim})}$$

Чим вищим є значення цього показника, тим вище оцінюється сорт (гібрид) за придатністю до умов вирощування. Найбільше значення цього показника отримано у гібридів PR64A71 та PR64F66.

Для порівняння реакції гібридів на умови навколишнього середовища, нами було побудовано лінії регресії врожайності гібридів (рисунок 2.4).

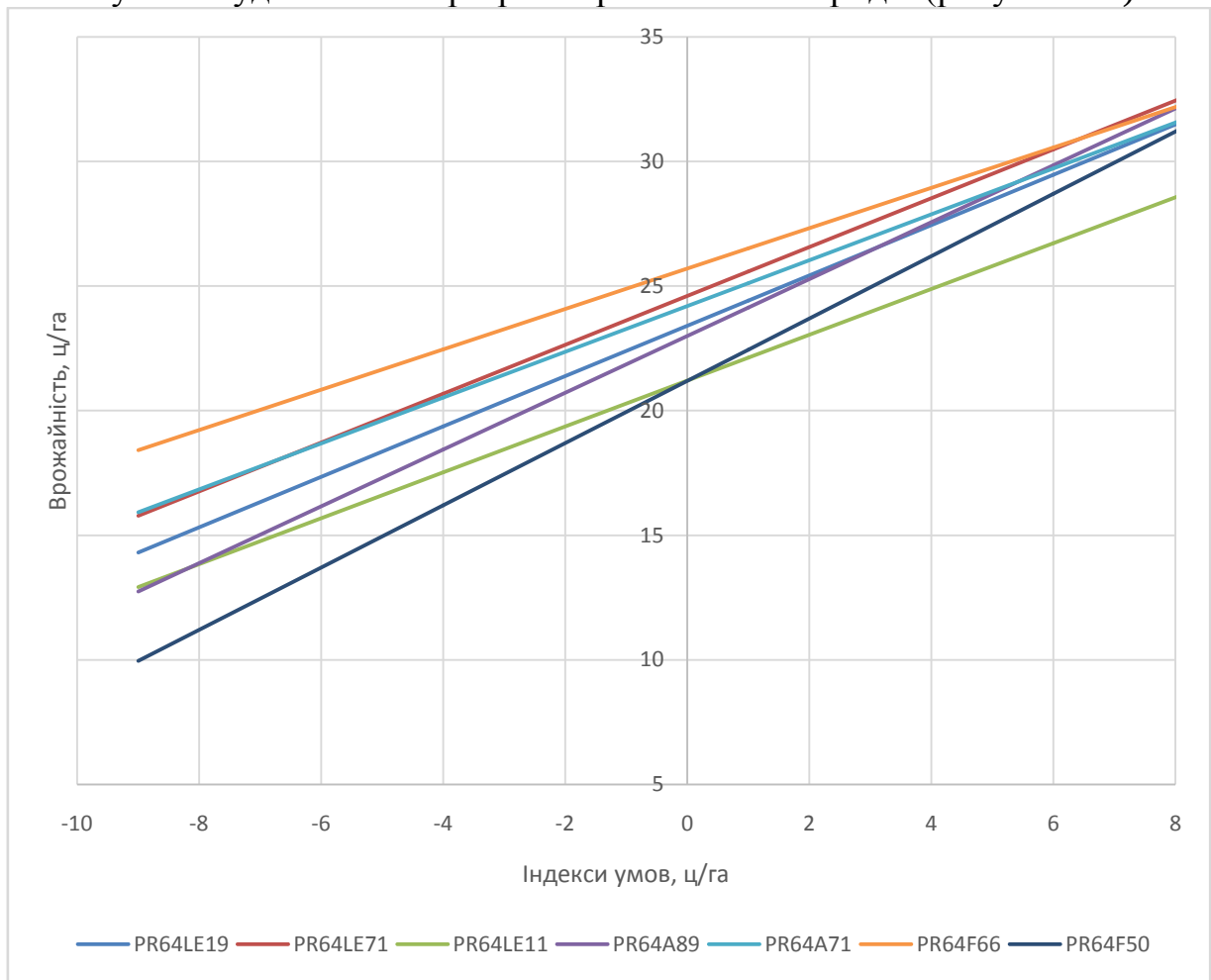


Рисунок 2.4 - Лінії регресії врожайності гібридів на зміни навколишнього середовища

Лінії регресії врожаю гібридів PR64F66, PR64A71 та PR64LE71 пересікають ординату вище за інші досліджувані гібриди. Це пояснюється більш високим врожаєм у середньому за усіма пунктами дослідження. Величина нахилу ліній регресії дає більш вичерпну інформацію про поведінку гібридів відносно один до одного. Гібрид PR64F50 характеризується дуже низькою чутливістю на покращення умов вирощування.

Достовірність відмінностей між коефіцієнтами регресії можна перевірити за допомогою F-критерію, який виражає відношення середнього квадрата взаємодії «гібриди x умови» до середнього квадрата узагальнених відхилень («Гібриди x умови» / MS узагальнених відхилень):

$$F_{\phi}[(v-1), v(n-2)] \approx MS$$

У прикладі при оцінці відмінностей між коефіцієнтами регресії $F_{\phi} = 0.21$

Порівняння отриманого результату з $F_{\text{табл}}(3.87)$ показало відсутність істотних відмінностей між коефіцієнтами регресії в даному наборі гібридів.

Тобто серед досліджуваних гібридів відсутні ті, стійкість продуктивності яких була б специфічною та достовірно перевищувала мінливість серед усього набору гібридів. Таким чином, уся мінливість продуктивності цих гібридів пов'язана тільки з умовами зовнішнього середовища, а не з їх генетичними особливостями.

2.1.4 Регресійний аналіз залежності врожайності соняшника від агрокліматичних умов

Планування врожаю сільськогосподарських культур є невід'ємною частиною економіки держави в цілому, особливо соняшнику. З цією метою було проаналізовано основні агрометеорологічні показники за останні 12 років (таблиця 1).

На основі експериментальних даних був проведений регресійний аналіз та побудована лінійна регресійна модель залежності врожайності соняшника від основних агрометеорологічних показників.

Множинний коефіцієнт кореляції $r_{yx_1x_2x_3} = 0,9435$ показав наявність сильної лінійної кореляційної залежності між врожайністю (y , т/га) та кількістю опадів (x_1 , мм), мінімальною відносною вологістю повітря у період цвітіння (x_2 , %) та сумою активних температур за період вегетації, (x_3 , °C).

Таблиця 2.10 – Основні агрометеорологічні показники

Рік	Кількість опадів (x_1 , мм)	Мінімальна відносна вологість повітря у період цвітіння (x_2 , %)	Сума активних температур за період вегетації, (x_3 , °C).	Середня врожайність соняшнику (y , т/га)
2005	266,4	46,8	3142	12,8
2006	302,9	35,6	2826	13,2
2007	92,0	26,3	3292	7,5
2008	110,5	35,0	2886	9,7
2009	153,4	32,3	3077	11,1
2010	245,0	51,5	3093	13,1
2011	249,0	49,9	2787	15,2
2012	128,4	32,8	2889	11,0
2013	120,1	61,8	2996	15,5
2014	233,4	36,9	2869	11,7
2015	154,5	45,8	2756	12,1

Лінійна регресійна модель побудована за методом найменших квадратів. Шляхом розв'язання системи лінійних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} b_1 \sum_{i=1}^n x_{1i} + b_2 \sum_{i=1}^n x_{2i} + b_3 \sum_{i=1}^n x_{3i} + nb_0 = \sum_{i=1}^n y_i, \\ b_1 \sum_{i=1}^n x_{1i}^2 + b_2 \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} + b_3 \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{3i} + b_0 \sum_{i=1}^n x_{1i} = \sum_{i=1}^n x_{1i}y_i, \\ b_1 \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} + b_2 \sum_{i=1}^n x_{2i}^2 + b_3 \sum_{i=1}^n x_{2i}x_{3i} + b_0 \sum_{i=1}^n x_{2i} = \sum_{i=1}^n x_{2i}y_i; \\ b_1 \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{3i} + b_2 \sum_{i=1}^n x_{2i}x_{3i} + b_3 \sum_{i=1}^n x_{3i}^2 + b_0 \sum_{i=1}^n x_{3i} = \sum_{i=1}^n x_{3i}y_i; \end{array} \right.$$

були визначені параметри та побудована регресійної модель

$$\hat{y} = 12,6885 + 0,0094 x_1 + 0,1619 x_2 - 0,0031 x_3,$$

де y – врожайність, т/га;

x_1 – кількість опадів, мм;

x_2 – мінімальна відносна вологість повітря у період цвітіння, %;

x_3 – сума активних температур за період вегетації, $^{\circ}\text{C}$.

На основі значення коефіцієнт детермінації $R^2_{yx_1x_2x_3} = 0,8902$ зроблено висновок, що досліджувані фактори (кількість опадів (x_1 , мм), мінімальна відносна вологість повітря у період цвітіння (x_2 , %), сума активних температур за період вегетації (x_3 , $^{\circ}\text{C}$)) мають високий рівень впливу на врожайність соняшнику, у порівнянні з дією випадковостей.

Адекватність побудованої регресійної моделі було перевірено за критерієм Фішера-Снідекора при рівні значимості $\alpha = 0,05$. На основі значення критерію $F_{\text{набл}} = 18,93$ зроблено висновок про адекватність побудованої регресійної моделі.

2.1.5 Інформаційна система автоматизованого пошуку координат об'єкту на карті на основі фотографічних зображень земної поверхні на основі методу SIFT

Об'єктом дослідження виступають автоматизовані системи визначення координат об'єктів на карті на основі фотографічних зображень земної поверхні. Методика досліджень - локалізація окремих ділянок місцевості на загальній карті та побудова маршруту польоту безпілотної літальної апарату. У якості інструментів обрано об'єктно-орієнтовану мову програмування C# та бібліотеку комп'ютерного зору OpenCV. Зокрема,

застосовано включений до бібліотеки модуль алгоритму методу пошуку локальних дескрипторів SIFT (Scale Invariant Feature Transform), за допомогою якого виконується пошук подібних елементів на різних зображеннях[13].

Процес аналізу зображення та побудови маршруту польоту БПЛА умовно можна розділити на п'ять етапів. На першому користувач в діалоговому режимі завантажує до програми необхідні зображення у строго визначеному порядку – спочатку загальне зображення місцевості, потім – зображення локальних ділянок у порядку дати та часу їх створення. На другому етапі, за необхідності, виконується попередня обробка зображень, в процесі якої з них видаляються сторонні відблиски, тіні та шуми, здатні завадити ефективній роботі алгоритму.

Третій етап – залучення методу SIFT, в процесі роботи якого відбувається пошук так званих ключових точок (тобто точок, які значно виділяються на загальному фоні) на всіх зображеннях та побудова їх дескрипторів (ідентифікаторів). Враховуючи той факт, що робочим для алгоритму є зображення у форматі «відтінки сірого», єдиною можливою характеристикою кожного окремого пікселя є його яскравість по шкалі від 0 до 255, де 0 відповідає чорний колір, 255 – білий. Таким чином, дескриптор кожної точки зображення будується на основі показників її яскравості та яскравості її найближчих сусідів. У випадку, якщо різниця яскравості між ними перевищує заданий поріг, точка вважається ключовою. На даному етапі виконується попарне порівняння ключових точок всіх зображень локальних ділянок з ключовими точками загальної фотографії місцевості. У випадку, якщо рівень подібності двох дескрипторів перевищує поріг, заданий користувачем (від 0 до 1), будується відповідність між двома ключовими точками.

Четвертий етап – відображення відповідностей між ключовими точками шляхом побудови кольорових ліній від точки на зображенні локальної ділянки місцевості до відповідної цьому ж об'єкту точки на загальному фото. Масив побудованих відповідностей дозволяє однозначно локалізувати окрему ділянку на загальному зображенні. П'ятий етап – побудова маршруту польоту БПЛА на основі даних щодо послідовності виконання знімків та збереження отриманих даних.

Задача локалізації окремих зображень на загальному зображенні є однією з класичних задач комп'ютерного зору. Її суть полягає в тому, що необхідно не тільки виділити на обох зображеннях певні ключові точки, які можна буде легко знайти на фотографії, але й побудувати між ними відповідність, тим самим виконавши безпосередню локалізацію окремої ділянки місцевості на загальній карті.

В цілому, це завдання можна сформулювати наступним чином. На кожному зображенні знаходяться так звані ключові точки, які виділяються на загальному фоні. Далі між ними попарно будується відповідність і, в разі, якщо рівень подібності точок вище заданого користувачем, вони відносяться до

одного і того ж реальному об'єкту. Іншими словами, приймається, що це одна і та ж точка на різних зображеннях.

Головною проблемою в даному випадку є те, що обидва зображення можуть бути зроблені в різних умовах і схильні до різних деформацій, які не в змозі нівелювати попередня обробка. Зрозуміло, завдання всіх можливих перешкод і спотворень практично нерозв'язна, але більшу їх частину нівелювати можна, в першу чергу, такі, що можна інтерпретувати як афінні перетворення.

З математичної точки зору, перетворення площини називається афінним, якщо воно взаємно однозначно і образом будь-якої прямої є пряма. Перетворення називається взаємно однозначним, якщо воно різні точки переводить в різні, і в кожного образу є один прообраз.

Перетворення - це відображення нескінченності на саму себе. Відображення називається взаємооднозначним, якщо різні елементи переходять в різні, і в кожен елемент переходить якийсь елемент.

В контексті аналізу цифрових зображень, афінні перетворення це такі перетворення, які зберігають відстань між будь-якими двома точками незмінним, а саме паралельні переноси, повороти, симетрії і їх комбінації.

Інша властивість афінних перетворень – це інваріантність до розтягування і стиснення відносно деякої прямої.

Іншими словами, під афінними перетвореннями розуміють такі перетворення, в результаті яких все зображення або його частина піддається певній деформації. В контексті розв'язуваної задачі основними будуть наступні перетворення, щодо яких необхідно отримати інваріантність: зсунення; поворот; масштаб (один і той же об'єкт може бути різних розмірів на різних зображеннях); зміна яскравості; зміна положення камери. Особливо актуальним є третій пункт, так як аерофотозйомка проводиться з різної висоти. На великій висоті буде виконуватися фотозйомка загальної карти місцевості, на низькій БПЛА буде безпосередньо проводити робоче фотографування підстильної поверхні.

Загалом, на першому етапі головна проблема - визначення і локалізація ключових точок, для вирішення якої буде використовуватися алгоритм виділення особливих точок і їх дескрипторів SIFT (Scale Invariant Feature Transform). Однією з причин подібного вибору є також його стійкість до афінних перетворень, що видно з назви (Scale Invariant - стійкий до масштабування). Ключовими точками, в даному випадку, вважаються точки, що інваріантні до афінних перетворень, тобто у випадку перетворення зображення дану точку все рівно можна однозначно ідентифікувати.

У методі SIFT дескриптори обчислюються наступним чином. Вибирається вікно - околиця особливої точки розміром 8x8 пікселів, і в кожній точці цієї околиці обчислюється градієнт, що дозволяє позбутися від невеликих змін освітленості. Далі градієнти множаться на вагову гауссову функцію з центром в особливій точці і значенням σ , рівним половині розміру вікна, що дозволяє компенсувати невеликі помилки у визначенні положення ключової

точки. Далі будується грубіша сітка розміром 4×4 , і значення градієнтів для всіх пікселів, що потрапили в укрупнені осередки, осереднюються. Після цього для градієнтів будуються гістограми, відповідні вісьмом основним напрямкам, отриманим поворотом горизонтальної осі на кут $\pi/4$. В результаті виходить вектор характерних ознак, що складається з $4 \times 4 \times 8 = 128$ елементів. Для зниження впливу можливої зміни освітленості цей вектор нормується таким чином, щоб він став одиничної довжини. Після цього локальне зображення в околиці особливої точки повертається в напрямку, відповідному максимальному елементу гістограми - за рахунок цього досягається інваріантність до повороту, і дескриптор перетворюється шляхом виконання відповідного повороту.

В цілому, алгоритм порівняння зображень зводиться до наступного:

- визначити градієнт, при перевищенні якого точка вважається особливою
- виділити особливі точки зображення.
- визначити напрямок градієнта кожної виділеної точки.
- побудувати дескриптор кожної особливої точки.
- повторити кроки 1-4 для другого зображення.
- порівняти всі обчислені дескриптори двох зображень між собою.

Результати роботи інформаційної системи.

Після натиснення кнопки «Знайти на загальній карті» з меню «Аналіз» запускається програмна реалізація алгоритму SIFT, який знаходить на обох зображеннях ключові точки та відповідність між ними. Також відбувається попереднє їх відображення (рис. 2.5-2.8).

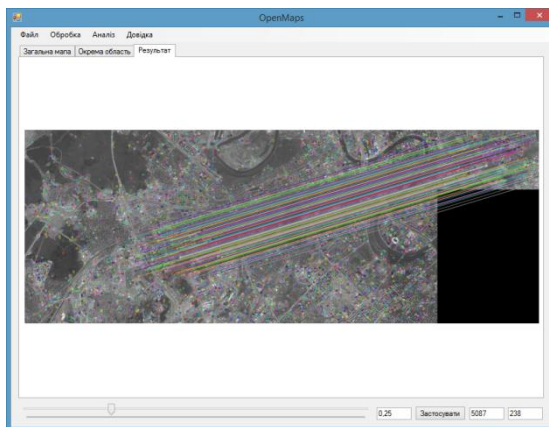


Рисунок 2.5 – Результат роботи

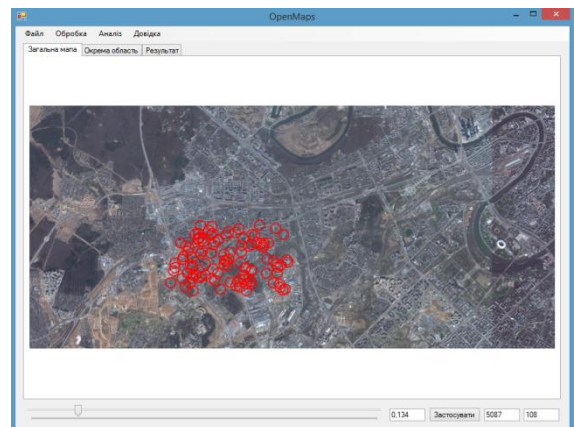


Рисунок 2.6 – Ключові точки на загальній карті

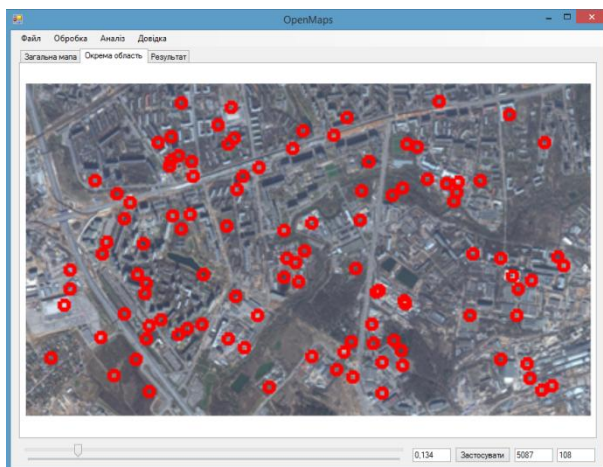


Рисунок 2.7 – Ключові точки локальної області

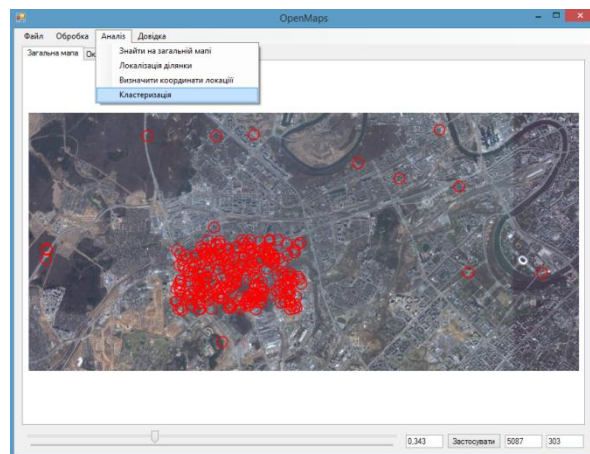


Рисунок 2.8 – Фільтр ключових точок

Інструмент «Кластеризація» дозволяє виділити окреме (максимальне) скупчення ключових точок в ситуаціях, коли це важно зробити за допомогою методу SIFT. Суть роботи інструменту – розбиття зображення загальної карти на окремі квадрати розміром 100 на 100 пікселів, підрахунок кількості ключових точок всередині кожного та виділення квадрата з найбільшою їх кількістю. Також до програми додано інструмент «Локалізація ділянки», який дозволяє з високою точністю локалізувати на загальній карті все зображення окремої ділянки місцевості, а не лише ключові точки.

2.2. Методика оптимізації аероіонного розподілення в приміщеннях

Об'єктом досліджень виступала методика визначення аероіонного розподілення від штучних джерел аероіонного випромінювання, яка дозволяє визначити картину розповсюдження концентрації аероіонів на площині та виконати корегування місця розташування джерела аероіонного випромінювання [14-22]

В наш час моделювання аероіонного поля на об'єктах зі штучним середовищем можливе за допомогою спеціалізованих програмних продуктів. Існуючі програмні продукти призначені для моделювання аероіонного розподілення у вигляді ізоліній – ліній однакового рівня концентрації від'ємних аероіонів. Аероіонний розподіл відбувається у деякому просторі, тому моделювання саме проторової моделі є актуальним на даний час.

Для програмної реалізації поставленого завдання було виконано проектування даної системи за допомогою мови проектування UML, на основі якої визначені основні програмні компоненти системи та їх взаємодія.

Робота програмного модулю базується на використанні законів розповсюдження концентрації від'ємних аероіонів у просторі, отриманих в наукових роботах Чіжевського А.Л., Чуракова А.Я. Моделювання аероіонного розподілення від штучного джерела аероіонів на комбінованій площині було розроблено на мові програмування Java та за допомогою програмного забез-

печення Android Studio, який дає можливість програмування математичних формул, використання віджетів та побудови графічних результатів роботи.

2.2.1 Методика оптимізації аеріонного розподілення на комбінованій площині

Об'єктом досліджень виступала методика визначення аеріонного розподілення від штучних джерел аеріонного випромінювання, яка дозволяє визначити картину розповсюдження концентрації аеріонів на площині та виконати корегування місця розташування джерела аеріонного випромінювання

Аеріонне розподілення від штучних джерел аеріонів на горизонтальній розрахунковій площині змінюється зворотно-пропорційно квадрату відстані від проекції джерела аеріонів на цій площині до розрахункової точки і графічно позначається як кола із центром-проекцією джерела. При визначенні аеріонного розподілення на нахиленій площині враховується кут нахилу α даної площини до горизонтальної площини, відстань від джерела аеріонного випромінювання до розрахункової точки на нахиленій площині r та координати проекції центру джерела аеріонного випромінювання на нахиленій площині x :

$$n = \frac{1}{a(r)^2 + b} 2^{-2 \times \alpha}$$

У випадку комбінованої розрахункової площини (рис. 2.9,а) аеріонне розподілення визначається ізолініями аеріонів однакової концентрації, які мають дві складові – горизонтальну (відповідає горизонтальній площині Δ) і нахилену (відповідає нахиленій площині Δ'). Аеріонний розподіл від одного аеріонізатора на горизонтальній площині являє собою концентричні кола (рис. 2.9,б), на нахиленій – витягнутий еліпс (рис. 2.9.в).

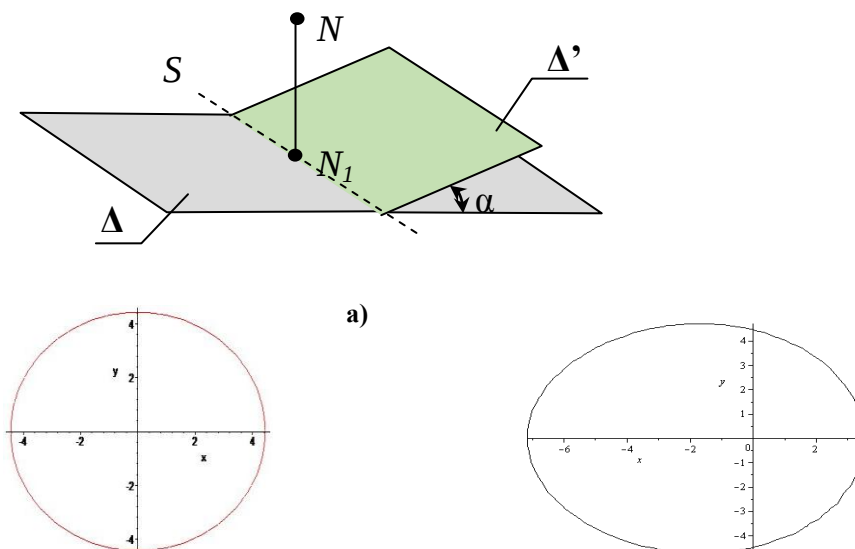


Рисунок 2.9 - Положення комбінованої площини

В наслідок того, що при зміні кута нахилу змінюється і форма ізоліній концентрації від'ємних аероіонів, необхідно визначити коефіцієнт корегування, який забезпечить оптимальне аероіонне розподілення.

Нехай джерело аероіонного випромінювання знаходиться на певній відстані H від горизонтальної площини (рис. 2.10). Проекція даного джерела лежить на лінії переходу S горизонтальної площини у нахилу. Так як аероіонне випромінювання розповсюджується від джерела сферичними хвилями, у даному випадку утвориться ізолінія концентрації від'ємних аероіонів, яка має два фокуси: один фокус N'_1 утвориться на нахиленій площині, а другий – безпосередньо, проекція центру джерела на лінію переходу

Необхідно визначити нове положення джерела аероіонного випромінювання з метою отримання ізоліній концентрації від'ємних аероіонів у формі кіл на горизонтальній і на похилій розрахункових площинах. Вирішення поставленої задачі дозволить більш оптимально розмістити робочі місця у приміщенні.

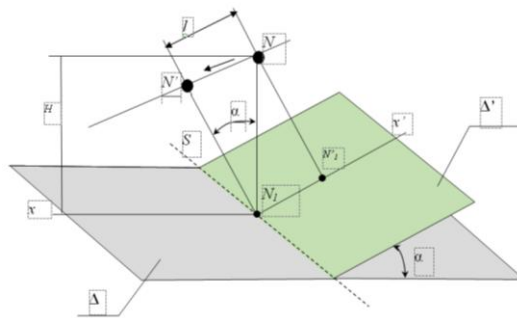


Рисунок 2.10 - Визначення оптимального положення джерела аероіонного випромінювання

Алгоритм визначення нової координати розташування одного джерела від'ємних аероіонів в приміщеннях, які володіють комбінованим типом розрахункової площини, міститься у наступному. З проекції джерела на розрахункову площину N_1 проводиться промінь N_1N' під кутом α до прямої NN_1 . При цьому $N_1N'=H$. Далі через точки N і N' проводиться пряма.

Довжина відрізка NN' визначається за формулою:

$$NN' = 2H \sin \frac{\alpha}{2}$$

Позначимо пряму NN' через коефіцієнт k , який надалі може використовуватися при розрахунках приміщень з комбінованим типом розрахункової площини з метою забезпечення раціонального аероіонного режиму у заданій робочій зоні шляхом керування координатами розташування джерел аероіонного випромінювання у цій зоні.

Запропонована у статті методика може бути використана для моделювання аероіонного розподілення за допомогою комп'ютерної техніки: як стаціонарної так мобільної. Одним із прикладів такого використання на

рис. 2.11 приведений результат роботи алгоритму визначення аероіонного випромінювання від двох аероіонізаторів, реалізований на операційній системі Windows.

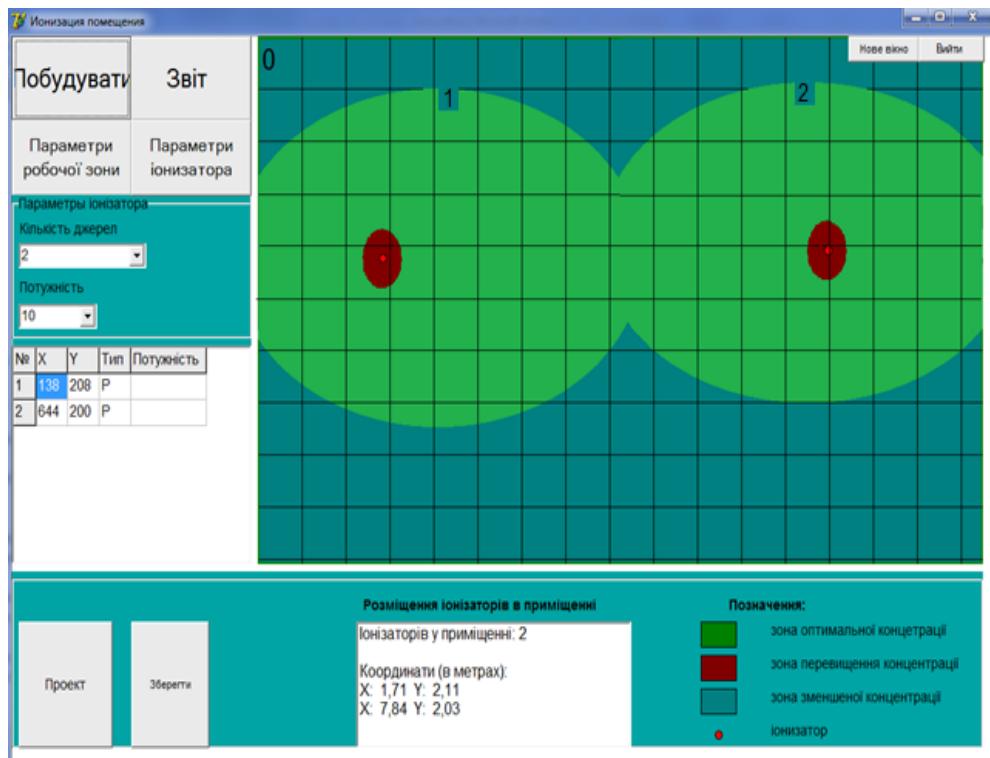


Рисунок 2.11 - Результат роботи алгоритму визначення аероіонного випромінювання від двох аероіонізаторів

2.2.2 Комп'ютерна система моделювання аероіонного розподілення на наклонній площині

Питанням визначення картини поширення негативних аероіонів від аероіонізаторів на розрахунковій площині присвячені наукові роботи, в яких розроблений спосіб геометричного моделювання розподілу негативних аероіонів, що дозволяє визначити зони аероіонного комфорту і дискомфорту у виробничому приміщенні від одного і більше за іонізатори на горизонтальній площині. Недоліком запропонованого способу визначення аероіонного розподілу від іонізаторів є неможливість його застосування для похилих площин, які розташовані під деяким гострим кутом α до горизонтальної площини (рисунок 2.12). Такий тип площин мають такі приміщення як лекційні аудиторії, зали кінотеатру та т.п.

На рисунку 2.13: $\Sigma 1$ - горизонтальна площина; $\Sigma'1$ - площина похилої; α - кут нахилу площини, відносно якої ведуться розрахунки (площина похилої); N - центр аероіонізатора; N1 - проекція центру аероіонізатора на розрахункову площину; A_i' - точка інцидентна заданій ізолінії концентрації негативних аероіонів.

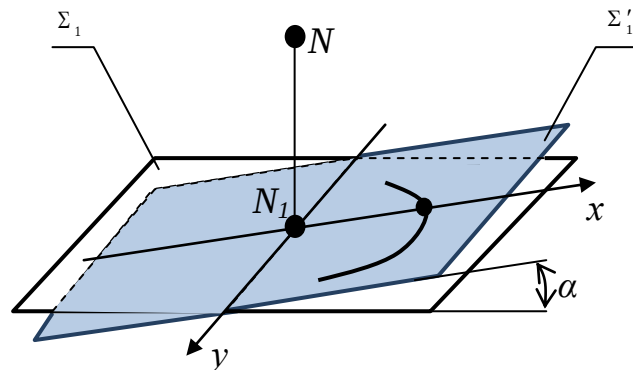


Рисунок 2.12 - Положення розрахункової площини

Відомо, що зі зміною кута нахилу α розрахункової площини, для якої ведуться розрахунки, міняються і координати точок A'_i , інцидентних заданим ізолініям негативних аероіонів. З метою прогнозування і візуалізації процесу розподілу концентрації негативних аероіонів при зміні положення розрахункової площини пропонується комп'ютерна система моделювання цього розподілу.

Враховуючи закон розподілу концентрації негативних аероіонів на горизонтальній площині від джерела аероіонів і кут нахилу α розрахункової площини відносно горизонтальної, рівняння для моделювання розподілу концентрації негативних аероіонів на похилій площині матиме вигляд:

$$n' = \frac{1}{a(x^2 + y^2) + b} 2^{-x \operatorname{tg} \alpha},$$

де n' - рівень концентрації негативних аероіонів в розрахунковій точці на похилій площині, іон/см³;

a, b - коефіцієнти, які характеризують силу випромінювання аероіонізатора;

α - кут нахилу розрахункової площини відносно горизонтальної, °;

x, y - координати проекції центру аероіонізатора на похилій площині, м.

На підставі закономірності (3.2.1) складемо алгоритм моделювання розподілу концентрації негативних аероіонів на похилій площині від одного аероіонізатора в середовищі математичного процесора Maple.

Алгоритм містить наступні кроки:

- 1) задаються значення коефіцієнтів a і b , які характеризують випромінювальну здатність аероіонізатора;
- 2) задаються координатами аероіонізатора відносно прийнятої системи координат;
- 3) визначається необхідний рівень концентрації негативних аероіонів;
- 4) визначається кут нахилу розрахункової площини α ;
- 5) використовуючи закон аероіонного поширення моделюється картина цього розподілу у вигляді кривої - ізолінії заданої концентрації негативних аероіонів.

Як особливий випадок на рисунку 2.13 представлений лістинг програми (а) і результат роботи цієї програми (б).

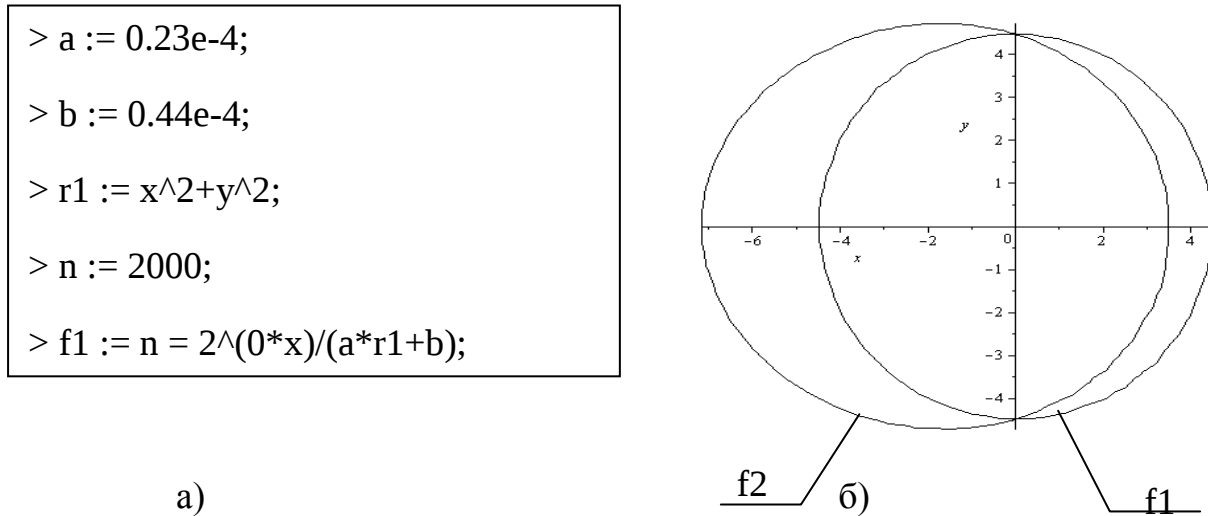


Рисунок 2.13 - Ізолінії концентрації негативних аероіонів

На рисунку 2.13,б приведені дві криві: f1 - крива при $\alpha=0^0$; f2 - крива при $\alpha=20^0$. Аналіз отриманих ізоліній показує, що при зміні кута нахилу розрахункової площини відбувається зміщення координат відповідних точок заданої кривої.

На рисунку 2.14 приведені ізолінії концентрації аероіонів від одного джерела аероіонного випромінювання на похилій площині. Кожна ізолінія відповідає певним значенням концентрації негативних аероіонів : 2000, 4000, 6000 і 10000 іон/см³ при вугіллі нахилу розрахункової площини $\alpha=5^0$ і $\alpha=10^0$.

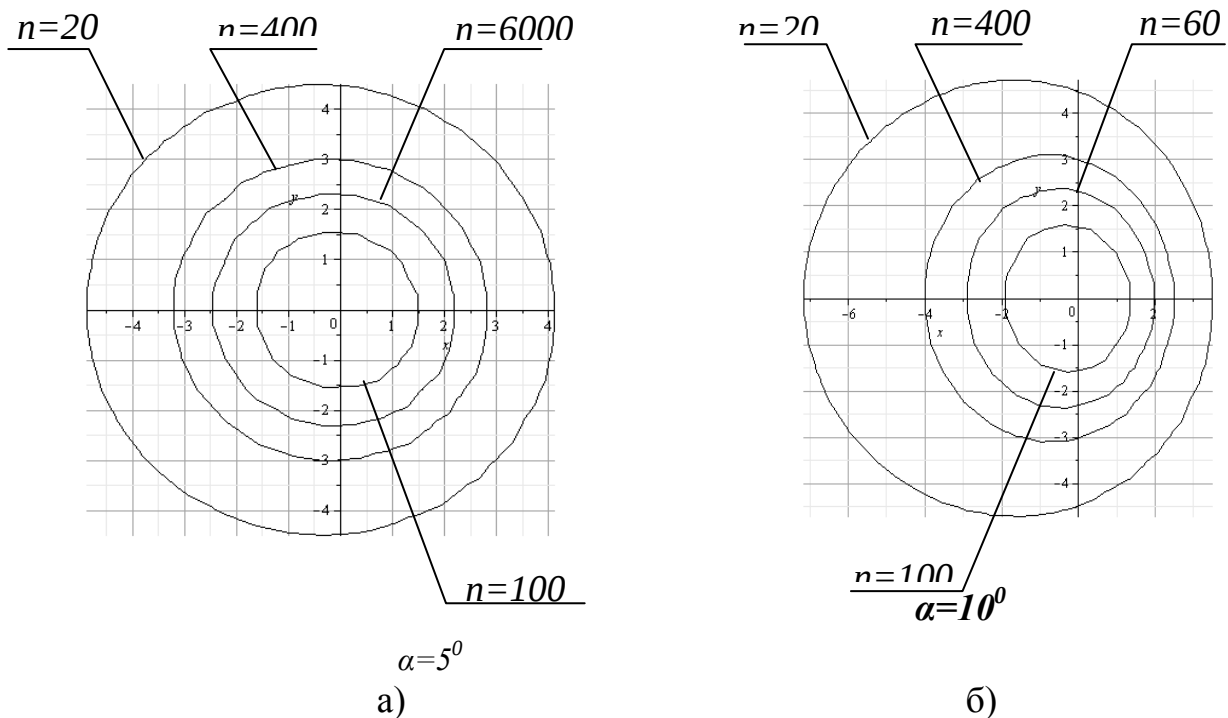


Рисунок 2.14 - Ізолінії концентрації негативних аероіонів

При порівнянні отриманих ізоліній можна зробити висновок, що зі збільшенням кута нахилу розрахункової площини відносно горизонтальною збільшується викривлення ізоліній. При певних вхідних параметрах ізолінія розривається, наприклад, для рисунку 2.15 ($\alpha=200$) - $n=2000$ іон/см³ і $n=4000$ іон/см³. Чим більше значення заданої концентрації негативних аероіонів, тим більше вірогідності існування ізоліній концентрації аероіонів.

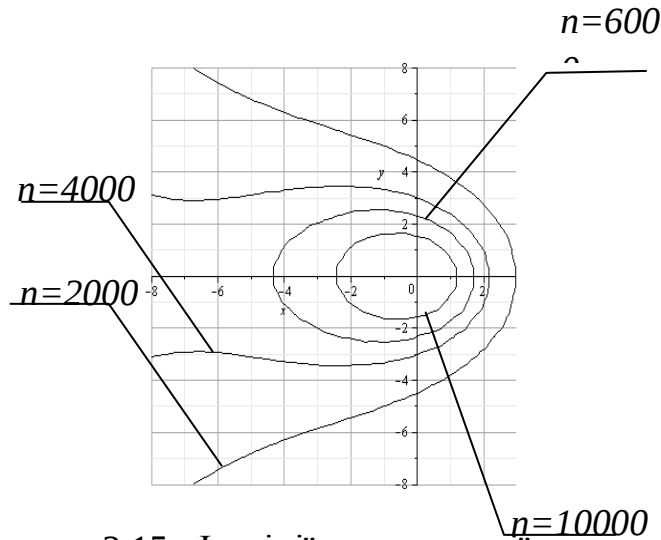


Рисунок 2.15 - Ізолінії концентрації негативних аероіонів при $\alpha=20^\circ$.

2.2.3 Моделювання аероіонного режиму на об'єктах зі штучним середовищем існування. Сучасні рішення управління розподіленням аероіонних полів

Перевагами запропонованого програмного забезпечення для моделювання просторового аероіонного розподілу на об'єктах зі штучним середовищем існування від розсіювальних аероіонізаторів та аероіонізаторів спрямованого аероіонного випромінювання є представлення аероіонного поля у вигляді сім'ї ізоліній. Даний алгоритм дає можливість візуалізувати процес моделювання за допомогою графічних процесорів і виконати аналіз аероіонного розподілу в зоні дихання людини. Це в свою чергу дасть змогу оптимізувати аероіонний режим згідно вимог до мікроклімату на об'єктах зі штучним середовищем існування.

Розроблений програмний модуль проектування розміщення аероіонізаційного джерела у закритому приміщенні. Перевагами такої комбінованої моделі є забезпечення заданої концентрації аероіонів в приміщенні з економією коштів за рахунок зменшення витрат на кількість іонізаційного обладнання. Також такий спосіб використання джерел аероіонів забезпечує потрапляння необхідної кількості аероіонів у місця, що є важкодоступними для охоплення аероіонізацією великих площ. Система дозволяє ефективно автоматизувати процес розміщення аероіонізаційних приладів, внаслідок чого відбувається розміщення робочих місць в найбільш сприятливе місце для роботи. Розроблений програмний продукт може бути застосований в учбових приміщеннях та лабораторіях ВНЗ, у виробничих приміщеннях великих та малих підприємствах, а також у медичних закладах.

2.2.4 Інформаційна система забезпечення оптимального аероіонного режиму у приміщенні

Проаналізована просторова модель розподілення відємних аероіонів у робочому просторі. Встановлено, що робоча зона являє собою шар певної висоти, в якому аероіонний розподіл представляється у вигляді площини із заданим рівнем концентрації відємних аероіонів. З метою візуалізації просторової моделі розподілення відємних аероіонів у робочому просторі створене спеціалізоване програмне забезпечення, яке дозволяє моделювати та прогнозувати даний процес.

2.2.5 Модель інформаційної системи мікроклімату закритого приміщення та розроблення програмного продукту на базі операційної системи Android

Об'єкт дослідження - система поливу ґрунту та методи автоматизації систем поливу ґрунту на платформі мікроконтролера Arduino. Методика досліджень - вирішити питання раціонального поливу ґрунту можна за рахунок постійного моніторингу вологості ґрунту. Для цього пропонується застосування автоматизованих систем поливу. Для реалізації задачі автоматизованого поливу сільськогосподарських культур було прийнято рішення використати мікроконтролер Arduino. Для розроблення автоматизованої системи поливу ґрунту використано плату Arduino Uno, в якій як конвертер використовується контролер Atmega8 у SMD-корпусі. Для оптимального вибору датчику вологості виконано порівняльний аналіз ємнісного датчику вологості з аналоговим (резистивним) датчиком вологості ґрунту – YL 69. Для проведення експерименту використано сухий піщаний ґрунт.

Запропонована інформаційна система моделювання мікроклімату закритого приміщення, яка розширює можливості системи моделювання і забезпечує мобільність програмного продукту (використання на планшетах та мобільних телефонах) за рахунок розроблення програмного продукту на базі операційної системи Android. Алгоритм роботи запропонованого програмного продукту базується на використанні законів розподілу аероіонів на горизонтальній і нахилений площині і містить: засоби введення вхідних параметрів приміщення і режиму іонізації; засоби відображення заданих параметрів приміщення, кількості і координат аероіонізаторів (план-екран); засоби моделювання аероіонного розподілу.

Експериментальні дослідження показали, що переваги використання ємнісного датчику вологості досить значні. Тому рекомендується використовувати ємнісні датчики у автоматизованих системах для визначення вологості ґрунту.

З метою автоматизації запропонованої системи здійснена програмна реалізація алгоритму роботи системи на базі мікроконтролеру Arduino для зчи-

тування показників вологості ґрунту. Розроблена система дозволяє виконувати автоматизований полив ґрунту без участі людини.

2.2.6 Автоматизована система управління мікрокліматом інкубаційної станції. Імітаційне моделювання аероіонного розподілення у приміщенні засобами математичного пакету Maple

Об'єктом досліджень виступала комп'ютерна система моделювання аероіонного розподілу на нахлонній площині, виконана в середовищі Maple, яка дозволяє візуалізувати та прогнозувати процес розподілення концентрації аероіонів у приміщенні

Автоматизована система управління мікрокліматом інкубаційної станції. Імітаційне моделювання аероіонного розподілення у приміщенні засобами математичного пакету Maple

Запропонована комп'ютерна система дозволяє візуалізувати процес розповсюдження концентрації від'ємних аероіонів від аероіонізаторів у заданому просторі і виконати аналіз отриманої картини.

Розроблена автоматизована система управління мікрокліматом інкубаційної станції призначена для контролювання і регулювання температурного і режиму вологості у виробничому приміщенні інкубаційної станції.

2.3 Методологія проектування інформаційної системи АРМ і експертних систем

Проектування інтелектуальних систем в АПК одна з важливих задач, які вирішують засобами комп'ютерних технологій [30-36, 42].

2.3.1 Методологія проектування інформаційної системи „АРМ-агронома”

Дана система була розроблена за допомогою мови програмування C# в середовищі Visual Studio 2020. Опишемо поетапно та покроково методологію її проектування:

1 етап. Аналіз предметної області проектування.

Докладний розгляд предметної області проектування, а саме: визначаємо проблематику теми; актуальність теми; виконуємо аналіз останніх досліджень з теми інших вчених-дослідників; розглядаємо проблеми проектування.

2 етап. Аналіз ресурсів та цілей при проектуванні системи.

Аналіз ресурсів при проектуванні системи, а саме: визначаємо спроможність фінансування та її джерело; визначаємо керівника теми та людей-виконавців; ставимо цілі, задачі та терміни виконання завдання.

3 етап. Виконання проектування технічного завдання системи.

На руки програміст отримує технічне завдання від заказчика (господарства, підприємства, тощо) системи.

4 етап. Визначення основних вхідних факторів при проектуванні системи.

По нормам, довідникам та вимогам до вирощування соняшника визначаються основні критерії (фактори) для даної технології за технічним завданням господарства (дивись п. 3).

5 етап. Опис предметної області проектування.

Блок вхідних даних АРМ-системи буде має наступні елементи: А - напрямок вирощування: соняшникова олія; насіння соняшнику; біопаливо; Б - ґрунт: чорнозем; піщаний; степний; В - вид: сорт; гібрид; Г - період дозрівання: ранньостиглі; середньоранні; середньостиглі; середньопізні; Д - регіон висаджування: південь; північ; схід; захід.

Блок вихідних факторів буде мати відповідні вікна, куди будуть виводитися відповідні до агротехнології рекомендації, а саме: рекомендована сівозміна; рекомендовані добрива; рекомендований полив; заходи щодо захисту сходів соняшника; передбачена врожайність соняшника; рекомендовані сорти та гібриди.

6 етап. Проектування функціональної моделі IDEF0 системи.

7 етап. Виконання декомпозиції діаграми IDEF0.

Декомпозиція контекстної діаграми необхідна для того, щоб встановити основні етапи проектування АРМ-системи. При більш детальному розгляді основної задачі АРМ-системи про вибір агротехнології вирощування соняшника, виділені наступні підзадачі: вибір напрямку вирощування; вибір ґрунту; вибір періоду дослідження; вибір регіону посадки.

8 етап. Визначення найбільш вагових вхідних факторів системи.

Для кожного з вхідних критеріїв (факторів) визначаються найбільш важомі фактори, які впливають на процес вирощування соняшника.

9 етап. Визначення основних продукційних правил системи.

Визначаються основні продукційні правила, за якими буде проводитися програмування системи, а саме модулю логічної обробки знань, для даної технології. Це і є вхідними параметрами (факторами) при проектуванні АРМ-системи.

10 етап. Визначення основних вихідних даних системи.

Визначаються основні вихідні дані системи, тобто що саме буде бачити користувач на виході після роботи системи: які рекомендації, поради, довідки, тощо. Вихідними правилами (факторами або рекомендаціями) для даної АРМ-системи, яка розробляється, будуть наступні:

- рекомендовані сорти та гібриди соняшника;
- передбачена врожайність соняшника;
- заходи щодо захисту сходів соняшника;
- рекомендований полив соняшника;
- рекомендовані добрива соняшника;
- рекомендована сівозміна для соняшника.

11 етап. Проектування інтерфейсу системи.

Виконується проектування інтерфейсу користувача згідно поставленого технічного завдання на розробку системи. Визначається місце розташування основних елементів меню, кнопок, вікон, тощо.

12 етап. Врахування додаткових вимог до системи.

Додатково (за необхідністю або за вимогою заказчика) на формі АРМ-системи проектуються додаткові кнопки або вікна для більш зручного її використання. Наприклад – кнопки очищення вікон, кнопка зберігання рекомендацій у окремий текстовий файл, кнопка виходу з системи, тощо.

13 етап. Проектування самої системи (етап кодування).

Програміст системи виконує розробку системи на мові програмування С# за допомоги середовища Visual Studio. Для даної системи у відповідності зі всіма попередніми етапами проектування була спроектована АРМ-система для рослинництва на прикладі вирощування соняшника.

14 етап. Тестування системи.

Зазвичай проводять тестування зробленої системи (експерт, користувач та заказник). У разі потреби виконується доведення та редагування інтерфейсу або коду до виконання всіх вимог. Проведена верифікація даної системи повинна показати повну відповідність результатів всіх поточних етапів розробки системи умовам, сформованим на початку кожного етапу. Тестування розробленого програмного забезпечення повинно показати, що створена система працює швидко, надійно та якісно.

15 етап. Завершення проектування системи та надання заказнику.

Завершення проектування та прийняття готової розробленої системи заказником від програміста та її виправлення у роботу та користування.

16 етап. Супроводження системи (за вимогою).

За вимогою заказчика може бути проведено етап супроводження розробленої системи експертом або програмістом (або обом зразу) для того щоб в подальшому проводити періодичне редагування системи у разі потреби. Зазвичай ця процедура оплачується окремо від всіх інших вищенаведених кроків.

Визначені нові принципи та етапи для проектування інформаційної системи „АРМ агронома-рослинника”:

1 етап. Проектування макету-інтерфейсу системи згідно технічного завдання.

2 етап. Проектування на формі блоку вхідних даних системи

3 етап. Проектування керуючих елементів системи (керуючі кнопки, меню, тощо).

4 етап. Проектування на формі блоку вхідних даних системи

5 етап. Проектування головної керуючої кнопки

6 етап. Збереження розрахункових даних

7 етап. Тестування АРМ-системи. Блок збереження даних

8 етап. Тестування АРМ-системи. Верифікація розробленої системи

9 етап. Тестування АРМ-системи. Швидкість, надійність та якість роботи

10 етап. Супроводження програмного забезпечення

Створену АРМ-систему можна розширювати, як функціонально (інтерфейсно), так і програмно (наприклад, збільшити об'єм бази знань).

Як перспектива для розвитку, є можливість написання додаткових модулів у дану систему, а саме використовувати її як основа для створення інших АРМ-систем, але вже для різноманітних сільськогосподарських культур різного профілю. Тому, розроблена програмна система є досить широко профільною, що дозволить її використання для всіх господарств різного напрямку у майбутньому.

2.3.2Методологія проектування експертної системи для тваринництва на прикладі вирощування овець

Об'єктом дослідження є методи експертного оцінювання технології вирощування в тваринництві якінтелектуальної комп'ютерної програми, в якій використовуються знання та процедури логічного виводу для розв'язання завдань прийняття рішень на основі продукційних моделей. Методики досліджень, які були використані при роботі – комп'ютерне моделювання, використання професійних прикладних програм (MiniExpertSystem) та сучасних мов програмування (Prolog) та при проектуванні експертних систем різної складності для різних прикладних задач.

Розглянута методологія та виконано проектування експертної системи для тваринництва на прикладі вирощування овець. Визначено, що для успішного проектування даної системи (або схожих систем) потрібно виконати як мінімум 16 етапів. Створена експертна система розроблена за допомогою мови програмування C# в середовищі Visual Studio. Система реалізує всі поставлені задачі, а саме: відповідає вимогам кросплатформності; має простий, зручний та логічний інтерфейс; на основі створеної бази знань користувачу надаються відповідні рекомендації з вирощування овець. Розроблену систему можна розширювати, як функціонально за рахунок ускладнення або доповнення користувальницького інтерфейсу, так і програмно за рахунок збільшення об'єм бази знань.

Дана експертна система розроблена за допомогою мови програмування C# в середовищі Visual Studio 2012.

Опишемо поетапно та покроково методологію проектування даної спеціалізованої експертної системи.

1 етап. Аналіз предметної області проектування.

Виконуємо докладний розгляд предметної області проектування, а саме: визначаємо проблематику теми; актуальність теми; виконуємо аналіз останніх досліджень з теми інших вчених-дослідників; розглядаємо проблеми проектування.

2 етап. Аналіз ресурсів та цілей при проектуванні системи.

Виконуємо аналіз ресурсів при проектуванні системи, а саме: визначаємо спроможність фінансування та її джерело; визначаємо керівника теми та людей-виконавців; ставимо цілі, задачі та терміни виконання завдання.

3 етап. Виконання проектування технічного завдання системи.

Отримання технічного завдання від заказчика (господарства, підприємства) експертної системи.

4 етап. Визначення основних вхідних критеріїв (факторів) при проектуванні системи.

Згідно літератури та вимог до вирощування овець визначаються основні критерії (фактори) для даної технології за технічним завданням господарства (дивись п. 3).

5 етап. Опис предметної області проектування.

6 етап. Проектування функціональної моделі IDEF0 системи.

7 етап. Виконання декомпозиції діаграми IDEF0.

8 етап. Визначення найбільш вагових вхідних факторів системи.

Для кожного з вхідних критеріїв (факторів) визначаються найбільш вагомі фактори, які впливають на процес вирощування овець.

9 етап. Визначення основних продукційних правил системи.

Визначаються основні продукційні правила, за якими буде проводитися програмування системи, а саме модулю логічної обробки знань, для даної технології. Це і є вхідними параметрами (факторами) при проектуванні експертної системи.

Продукційні правила для даної ЕС наступні:

Правило №1: якщо використовувати термінологію агротехнології - „Содержание овец” у господарстві, то вказати яке саме - „пастбищно-стойловое” або „стойлово-пастбищное”.

Правило №2: якщо використовувати термінологію агротехнології - „Кондиция овец” у господарстві, то вказати яку саме - „высшая кондиция”, „средняя кондиция” або „нижесредняя кондиция”.

Правило №3: якщо використовувати термінологію агротехнології - „Направление выращивания” у господарстві, то вказати яке саме - „мясное”, „молочное”, „мясо-молочное” або „получение шерсти”.

Правило №4: якщо використовувати термінологію агротехнології - „Кормление овец” у господарстві, то вказати яке саме - „ярок мясо-шерстных овец”, „баранчиков мясо-шерстных овец” або „подсосных маток в лактацию”.

Правило №5: якщо використовувати термінологію агротехнології - „Методы разведения” у господарстві, то вказати які саме – „чистопородное” або „скрещивание”.

10 етап. Визначення основних вихідних даних системи.

Визначаються основні вихідні дані системи, тобто що саме буде бачити користувач на виході після роботи системи: які рекомендації, поради, довідки, тощо.

Вихідними правилами (факторами або рекомендаціями) для даної експертної системи, яка розробляється, будуть наступні:

Рекомендація №1: „Рекомендации по содержанию овец”;

Рекомендація №2: „Рекомендации по лечению болезней овец”;

Рекомендація №3: „Рекомендации по кормлению овец”;

Рекомендація №4: „Убой овец и хранение продукции”;

Рекомендація №5: „Рекомендуемые породы овец”;

Рекомендація №6: „Рекомендации по разведению овец”;

Рекомендація №7: „Характеристика продукции”.

11 етап. Проектування інтерфейсу системи.

Виконується проектування інтерфейсу користувача згідно поставленого технічного завдання на розробку системи. Визначається місце розташування основних елементів меню, кнопок, вікон, тощо.

12 етап. Врахування додаткових вимог до системи.

Додатково (за необхідністю або за вимогою заказчика) на формі експертної системи проектуються додаткові кнопки або вікна для більш зручного її використання. Наприклад – кнопки очищення вікон, кнопка зберігання рекомендацій у окремий текстовий файл, кнопка виходу з ЕС, тощо.

13 етап. Проектування самої системи (етап кодування).

Програміст системи виконує розробку системи на мові програмування C# за допомоги середовища Visual Studio 2012.

Для даної системи у відповідності зі всіма попередніми етапами проектування було спроектовано та розроблено експертну систему для тваринництва на прикладі вирощування овець.

14 етап. Тестування системи.

Виконується тестування зробленої системи експертом, користувачами та заказником. У разі потреби виконується доведення та редагування інтерфейсу або коду до виконання всіх вимог.

15 етап. Завершення проектування системи та надання заказнику.

Завершення проектування та прийняття готової розробленої системи заказником від програміста та її виправлення у роботу та користування.

16 етап. Супроводження системи (за вимогою).

У разі потреби заказник може запропонувати провести супроводження розробленої системи експерту або програмісту (або обом зразу) для того щоб в подальшому проводити періодичне редагування системи у разі потреби. Зазвичай ця процедура оплачується окремо від всіх інших вищенаведених кроків.

2.3.3 Розробка довідкової інтелектуальної експертної системи для вівчарства

Система дозволяє: робити запити у базу даних та виводити рекомендації та поради на екран ПК з теми технології розведення овець, а також друкувати отриманні дані. Система дозволяє давати рекомендації найбільш раціональної та ефективно технології вирощування овець для приватних господарств країни в залежності від вхідних критеріїв (даних). Впровадження та використання такої системи дозволить різним приватним господарствам або окремим фермерам (вівчарям) передбачити, а у подальшому і збільшити виробництво та якість м'яса, вовни, смушок та хутра розведення вівців. А це в свою чергу дозволить зменшити витрати на технологію при їх розведенні, зберегти час фермеру, при пошуку інформації для їх вирощування, заощади-

ти на ліках, кормах, що в свою чергу підвищить прибутки та рентабельність окремого господарства.

У якості перспективи щодо розвитку розробленої системи, можна вказати те, що вона є досить широкопрофільною, що дозволить її використання (саму оболонку системи) для всіх господарств різного напрямку (не тільки вівчарства) та під будь-яку галузь тваринництва після її модифікації та доробки правил логічного виведення та інтерфейсу.

Розроблена інтелектуальна інформаційна система для птахівництва.

Практична значимість. Кросплатформна інтелектуальна інформаційна система, розроблена за допомогою мови Java та середовища IntelliJ IDEA, реалізує всі поставлені задачі, а саме: відповідає вимогам кросплатформності; має простий, зручний та логічний інтерфейс; на основі створеної бази знань користувачу надаються відповідні рекомендації з вирощування курей. Використання даної системи дозволить приватним господарствам зберегти час на пошук потрібної інформації щодо технології вирощування м'ясних порід курей, що, в свою чергу, підвищить економічні показники господарств та принесе прибуток. Розроблену систему можна розширювати, як функціонально за рахунок ускладнення користувацького інтерфейсу, так і програмно за рахунок збільшення об'єм бази знань. У якості перспективи щодо розвитку інформаційної інтелектуальної системи для птахівництва маємо намір створити додаткові модулі та використовувати її як основу для розробки систем, які мають інші напрямки у птахівництві або тваринництві.

2.4.Розробка алгоритмів роботи та програмного забезпечення для зчитування та аналізу агропоказників на основі платформи Arduino

Arduino (Ардуіно) – це апаратна обчислювальна платформа для аматорського конструювання, основними компонентами якої є плата мікроконтролера з елементами вводу/виводу та середовище розробки Processing/Wiring на мові програмування, що є підмножиною мови C/C++. Arduino може використовуватися як для створення автономних інтерактивних пристроїв, так і підключатися до програмного забезпечення, яке виконується на комп'ютері. Сама електрична плата Arduino складається з мікроконтролера Atmel AVR, а також елементів обв'язки для програмування та інтеграції з іншими пристроями. На багатьох платах наявний лінійний стабілізатор напруги +5В або +3,3В. Тактування здійснюється на частоті 16 або 8 МГц кварцовим резонатором. У мікроконтролер записаний завантажувач (bootloader), тому зовнішній програматор не потрібен. Плати Arduino дозволяють використовувати значну кількість виводів мікроконтролера як вхідні/вихідні контакти у зовнішніх схемах [27, 28, 37, 45, 47]

2.4.1Програмна реалізація алгоритму роботи системи зчитування показників вологості ґрунту на базі мікроконтролеру Arduino

Arduino може відчувати навколишнє середовище отримуючи вхідні дані від різних датчиків і може вплинути на своє оточення, контролюючи лампи, двигуни та інші приводи. Мікроконтролер на платі програмується з використанням мов програмування Arduino (на підключення) і розвитку навколишнього середовища Arduino (на основі обробки). Arduino-проекти можуть бути автономними або спілкуватися з програмним забезпеченням, яке працює на комп'ютері. Плати можуть бути побудовані самостійно або куплені попередньо зібраними; програмне забезпечення можна завантажити безкоштовно.

Само інтегроване середовище розробки Arduino - це багатоплатформовий додаток на Java, що включає в себе редактор коду, компілятор і модуль передачі прошивки в плату. Середовище розробки засноване на мові програмування Processing. Програми Arduino пишуться на мові програмування C або C++. Середовище розробки Arduino поставляється разом із бібліотекою програм «Wiring».

У сучасному сільському господарстві при вирощуванні рослин, з використанням автоматизованих систем поливу, кількість поливу рослин дуже важлива і впливає на врожайність. Тому в таких випадках завжди використовують датчики вологості ґрунту. Ці датчики дають найбільш точну інформацію про кількість вологи у кореневої системи рослин. Існуючі методології вимірювання вологості також залежать від оптичних, гравіметричних, ємнісних, резистивних, п'єзорезистентних та магнітоупругих властивостей вибраних матеріалів.

Один із способів визначення вологості середовища - це вимір її питомого електричного опору. Тобто в найпростішому варіанті для визначення вологості ґрунту нам досить увіткнути в ґрунт два електроди і заміряти опір між ними. Однак, проблема в тому, що отримані дані будуть сильно відрізнятися в залежності від наявності солей і мінералів в ґрунті. Тому для вирішення даної проблеми в якості найпростішого рішення нами було вирішено використати двосторонній текстоліт та мікросхему серії 555.

Для реалізації проекту нами була спроектована експериментальна установка та виконана схема підключення датчиків до мікроконтролеру плати Arduino. Для поливу ґрунту ми додали водяну помпу та реле, яке було перемикачем насосу. Тобто коли датчик вологості буде показувати високий показник опору (для ємнісного датчику мінімальне значення – 9000, а максимальне – 1200, а для резистивного мінімальне становить 700, а максимальне 200), то до реле буде подаватися сигнал на включення водяної помпи у результаті чого відбувається постачання води в ґрунт.

Експериментальні дослідження показали, що переваги використання ємнісного датчику вологості досить значні. Тому рекомендується використовувати ємнісні датчики у автоматизованих системах для визначення вологості ґрунту.

З метою автоматизації пропонованої системи здійснена програмна реалізація алгоритму роботи системи на базі мікроконтролеру Arduino для зчи-

тування показників вологості ґрунту. Розроблена система дозволяє виконувати автоматизований полив ґрунту без участі людини.

2.4.2 Методологія проектування Arduino в якості Web-client та Web-server з використанням датчика DHT11

Створений електронний пристрій дозволяє вимірювати температуру та вологість повітря у приміщенні з використанням Arduino Uno та передавати данні GET-запитом через Ethernet Shield на веб-сервер. На основі цього дослідження можна зробити висновок, що власник або користувач технології «розумного дому» може мати доступ до всіх систем, мати змогу керувати ними на відстані та отримувати інформацію про стан кожної з них цілодобово. Автоматизація управління різними сферами життя людини з розвитком технологій розумного будинку все частіше показує себе ефективніше, ніж ціла команда операторів, які цілодобово слідкують за показниками кожного окремого сектору або навіть кожного окремого будинку або теплиці.

Розглянемо а покроково методологію проектування Ардуіно в якості веб-серверу.

1 крок.

Для того, щоб усі комплектуючі могли коректно працювати, треба спочатку імпортувати певні бібліотеки, а саме такі: SPI.h, Ethernet.h, Wire.h та DHT.h.

2 крок.

Ініціюємо константи та номери контактів датчику температури та вологості. Введемо наступний код:

```
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN,DHTTYPE);
```

3 крок.

Вводимо mac-address контролера. Код:

```
byte mac[] = {0x10, 0xBF, 0x48, 0xDD, 0xB5, 0xDA};
```

4 крок.

Введемо IP-адрес Ethernet shield.

Примітка: Обов'язково треба перевірити, щоб IP-адрес Ethernet shield не співпадав з ір адресою іншого пристрою в мережі. При необхідності треба змінити останній байт. Код:

```
byte ip[] = {192,168,1,100};
byte subnet[]={255,255,255,0};
EthernetServer server(80);
EthernetClient client;
String readString;
```

5 крок.

Отримання даних з датчику DHT11 розрахунку та відображення результатів на екрані.

6 крок.

Закінчення роботи циклу обробки даних. Код:

```
client.println("</html>");
break;
if (c == '\n')
{ currentLineIsBlank = true;}
elseif (c != '\r')
```

7 крок.

Отримання даних в поточному рядку. Код:

```
currentLineIsBlank = false;
```

8 крок.

Надання в браузер даних з Arduino. Код:

```
delay(1);
client.stop();
Serial.println("clientdisconnected");
```

9 крок.

Перерахуємо данні з градусів Цельсія до Фаренгейта. Код:

```
doubleFahrenheit(doublecelsius)
{ return 1.8 * celsius + 32; }
```

10 крок.

Перерахуємо данні з Цельсія до Кельвіна:

```
doubleKelvin(doublecelsius)
{ returncelsius + 273.15;}
```

У результаті на веб-сторінці ми побачимо результат як на рисунку 1.

Далі розглянемо покроково методологію проектування Ардуіно вже в якості веб-клієнта.

1 крок.

Для того, щоб використати Ардуіно в якості веб-клієнта, ми використали бібліотеки SPI.h, Ethernet.h, Wire.h, DHT.h та ініціалізували датчик температури та вологості.

2 крок.

Вводимо мак-адресу та IP-address серверу.

3 крок.

Використовуємо функцію delay (), яка зупиняє виконання програми на задане в параметрах значення - кількість мілісекунд (1000 мілісекунд в 1 секунд).

4 крок.

Для того, щоб використати Ардуіно в якості веб-клієнта потрібно ще використати такі функції:

- client () - створює клієнта, який підключається до сервера по вказаному в параметрах IP-адресою і порту. Client (ip, port), де ip - IP-адреса підключення клієнта (масив з 4 байтів); port - порт підключення клієнта.

- `EthernetClient ()` - створює клієнта, який підключається до сервера. параметрів підключення (IP-адреса і порт) визначаються в функції `client.connect ()`;

- `write ()` - відправляє на сервер дані з підключеного клієнта;

- `print ()` - відправляє дані на сервер з підключеного клієнта. При цьому число відправляється як послідовність цифр даного числа;

- `println ()` - відправляє дані на сервер з підключеного клієнта. аналогічна функції `print ()` з додаванням в відправку символу переходу на новий рядок;

- `available ()` - повертає число байтів, доступних для читання (тобто обсяг даних, який був відправлений сервером для клієнта);

- `read ()` - отримує наступний (після останнього, отриманого командою `read ()`) байт від сервера або -1, якщо даних більше немає;

- `flush ()` - скидає отримані від сервера, але ще не прочитані дані;

- `stop ()` - відключає клієнта від сервера.

5 крок.

Проектуємо в програмі цикл, який дозволяє отримати данні з датчику вологості та температури.

6 крок.

Проектування коду для відправки даних за допомогою GET-запиту на сервер.

7 крок.

Далі данні з датчику DHT11 ми помістили в базу даних phpMyAdmin (рис. 2) за допомогою файлів `write_hum.php` та `write_temp.php`, які підключаються до бази даних.

8 крок.

Об'являємо змінну та вносимо данні температури та вологості. Код:

```
$sql_insert = "insert into sensor_temp_hum (humedad, time) values ($humedad, time());";
```

9 крок.

Використавши мови програмування PHP, CSS, HTML та AJAX створюємо сторінку відображення даних температури та вологості на графіку.

2.5 Розробка інформаційних моделей, методів, технологій і засобів дистанційного та дуального навчання

Усе частіше на заняттях використовуються такі нетрадиційні форми контролю як реферати, конкурсні проекти, дидактичні ігри. У якості підсумкового контролю може служити проект, що відбиває як теоретичні знання студентів, так і рівень прикладних навичок роботи з різними програмними продуктами. Методи контролю — це способи діяльності викладача та студентів, у ході яких виявляються засвоєння навчального матеріалу та оволодіння студентами необхідними знаннями, уміннями та навичками [10, 11, 12, 38, 39, 44, 48].

2.5.1 Розробка інформаційної системи для дистанційного навчання з дисципліни «Проектування розподілених та паралельних систем»

Мети контролю визначають вибір методів, при цьому слід урахувати, що названі методи можуть застосовуватися у всіх видах контролю. Але тільки комплексне їхнє застосування дозволяє регулярно та об'єктивно виявляти динаміку формування системи знань і вмінь студентів. Кожний метод контролю має свої переваги і недоліки та область застосування, але жоден з них не може бути єдиним, здатним діагностувати всі аспекти процесу навчання. Тільки правильна і педагогічно доцільна комбінація всіх типів сприяє підвищенню якості навчально-виховного процесу.

Для забезпечення якісного та глибокого процесу навчання студентів, нами було вирішено розробити та спроектувати програмну систему для вивчення певної дисципліни, при викладанні для студентів ВНЗ спеціальності „Інформатика”.

При проектуванні цієї системи були проаналізовані схожі аналоги. Було виявлено, що вони всі мають дещо схожу будову. А саме, мають однотипні меню, як то: лекції, практичні або лабораторні роботи, література і майже все.

При проектуванні системи вирішено було додати в нього додатковий тестувальний модуль (блоку), який дозволяє проводити тестування з даної дисципліни та оцінювати їх результати. Це є одною з найважливіших переваг розробленої системи. До важливих переваг тестового контролю слід віднести:

- більшу об'єктивність і, як наслідок, більше позитивний стимулюючий вплив на пізнавальну діяльність студента;
- виключається вплив негативного впливу на результати тестування таких факторів як настроїв, рівень кваліфікації та ін. характеристики викладача;
- орієнтованість на сучасні технічні засоби на використання в середовищі комп'ютерних (автоматизованих) навчальних систем;
- універсальність, охоплення всіх стадій процесу навчання;
- підвищення швидкості перевірки якості засвоєння знань і вмінь учнями;
- можливість математико-статистичної обробки результатів контролю, і як наслідок, підвищення ефективності педагогічного контролю;
- можливість збільшення частоти та регулярності контролю за рахунок зменшення часу виконання завдань і автоматизації перевірки.

Після проведеного попереднього теоретичного аналізу проблеми, було виконано проектування системи. При реалізації системи - у якості дисципліни, яка читається для студентів у нашому ВНЗ, було обрана дисципліна - „Проектування розподілених та паралельних систем” (ПРПС), як одна з базових та важливих у курсі програмування для майбутніх фахівців-інформатиків.

Проектування системи проводилося з використанням мови програмування Delphi. При програмній реалізації тестувального модулю використовувались продукційні правила у вигляді зв'язків (умовних операторів) „IF-THEN”. Саме тому, враховуючи наявність у системі даних (у тестовому модулі), які реалізуються за допомогою продукційних правил було вирішено назвати систему як експертна система, що і відобразилося у її назві.

Розглянемо інтерфейс системи, яка спроектована (рисунок 2.5.1.1).

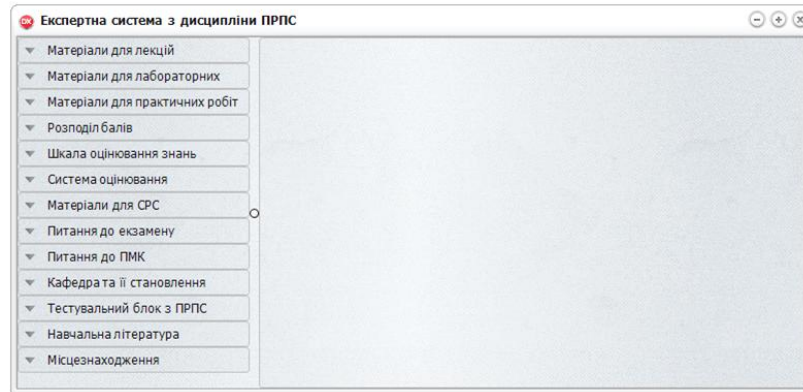


Рисунок 2.5.1.1 – Головний інтерфейс системи

Головний інтерфейс системи складається з однієї загальної форми, на якій зліва розташовані меню (підрозділи) системи (рис. 2.5.1.1). З правої частини розташоване поле для виведення поточних даних (інформації). Рядок заголовку містить назву системи – „Експертна система з дисципліни ПРПС”. Наведемо перелік меню системи з поясненнями. Воно містить:

1. Меню „Матеріали для лекцій”. Міститься лекційна база (рисунок 2.5.1.2).

2. Меню „Матеріали для лабораторних”. Міститься база лабораторних робіт з дисципліни (рисунок 2).

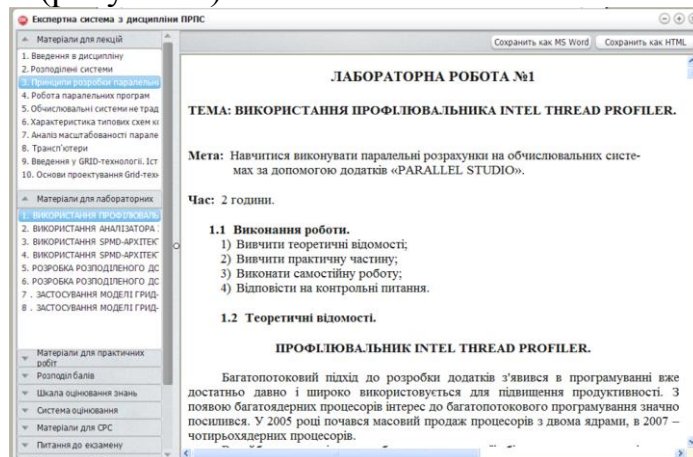


Рисунок 2.5.1.2 – Розкриті меню „Матеріали для лекцій” та „Матеріали для лабораторних” (з відкритим правим текстовим вікном)

3. Меню „Матеріали для практичних робіт”. Міститься база практичних робіт з дисципліни.

4. Меню „Розподіл балів”. Міститься розподіл балів, які отримують студенти при вивченні дисципліни.

5. Меню „Шкала оцінювання знань”. Міститься інформація про структуру оцінювання знань студентів у системі ECTS.

6. Меню „Система оцінювання”. Міститься загальна інформація про прийняту шкалу оцінювання та зарахування, перезарахування кредитів у системі ECTS, а також перелік посилань та частини нормативних документів для зрозуміння оцінювання у системі ECTS.

7. Меню „Матеріали для СРС”. Містяться методичні вказівки для виконання самостійної роботи студентів.

8. Меню „Питання до екзамену”. Міститься перелік питань, які виносяться на іспит для студентів при вивченні даної дисципліни (рисунк 2.5.1.3).

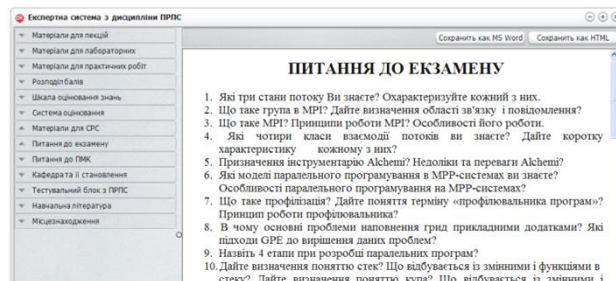


Рисунок 2.5.1.3 – Розкрите меню „Питання до екзамену” (з текстовим вікном)

9. Меню „Питання до ПМК”. Міститься перелік питань, які виносяться до ПМК-1 та ПМК-2 при вивченні даної дисципліни.

10. Меню „Кафедра та її становлення”. Міститься інформація про становлення кафедри в університеті, її наукову та методичну роботи за останні роки та штатний перелік осіб кафедри – професорсько-викладацький та лаборантсько-інженерний склад на сьогодні.

11. Меню „Тестувальний блок з ПРПС”. Містяться тести по 1 блоку (ПМК-1) та 2 блоку (ПМК-2) для оцінювання знань студентів (рисунки 2.5.1.4 та 5).

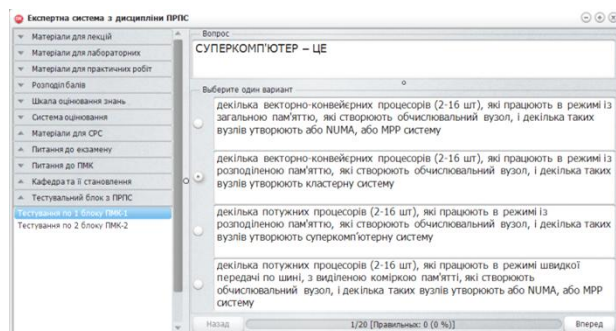


Рисунок 2.5.1.4 – Розкрите меню „Тестувальний блок з ПРПС” (з вікном тестів)

12. Меню „Навчальна література”. Міститься перелік основної та додаткової навчальної літератури для викладання дисципліни ПРПС.

13. Меню „Місцезнаходження”. Міститься карта розташування та контактні дані університету.

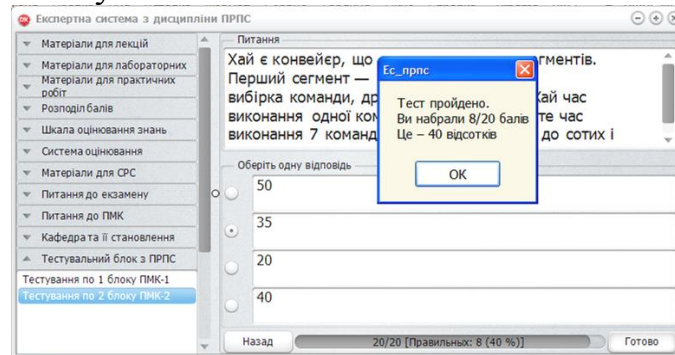


Рисунок 2.5.1.5 – Розкрите меню „Тестувальний блок з ПРПС” (з вікном повідомлення про результати тестування студентом)

2.5.2 Розробка програмного модулю для створення навчальних засобів дистанційного навчання з використанням технології Drag-and-drop

Технологія Drag-and-drop – це форма виконання дій в графічних інтерфейсах користувача, яка припускає використання комп’ютерної миші. Ця технологія полегшує роботу програмістів та користувачів з різними масивами інформації. В сучасних додатках прийом отримав широке застосування і є одним з головних способів взаємодії користувача з комп’ютером в графічному інтерфейсі. Все частіше цей технологічний прийом використовується у навчальних інформаційних засобах [10, 11].

Drag-and-drop (в перекладі з англійської означає «тягни-кидай») - спосіб оперування елементами інтерфейсу (як графічним, так і текстовим, де елементи GUI реалізовані за допомогою псевдографіки) за допомогою маніпулятора «миша» або сенсорного екрану.

Базовими і самими простими прикладами Drag-and-drop дій є переміщення об’єкта або інформації, переміщення об’єкта з панелі управління до поля виводу.

Об’єктами для переміщення можуть бути наступні елементи інтерфейсу - значки (іконки), плаваючі панелі інструментів, текстові рядки, елемент керування DataGridView, елементи OLE. Переміщення об’єктів може виконуватися у межах певної визначеної області, в межах одного вікна, між панелями одного вікна, між різними вікнами.

Подія «перетягування» має ініціюватися якою-небудь дією користувача. Найчастіше цією дією є натискання лівої кнопки миші на елементі (MouseDown), який може бути переміщений у своєму контейнері. Деякі ком-

поненти володіють власними подіями Drag-n-Drop - наприклад, TreeView має подію ItemDrag.

Для розробки програмного навчального засобу, який використовує технологію Drag-and-drop необхідна побудова програмного коду на мові програмування, наприклад на C#. Для розробки таких програмних кодів користувачеві необхідно володіти професійними знаннями програміста та мати спеціальну підготовку в області інформаційних технологій. Для спрощення вирішення проблеми розробки програмних засобів з використанням технології Drag-and-drop пропонується програмний модуль, який дозволить непідготовленому користувачеві самостійно створювати елементи керування та визначати їх властивості.

Комп'ютерна програма «Середовище автоматизованої розробки програмного засобу на основі технології Drag-and-drop» призначена для створення навчальних програмних засобів з використанням алгоритму динамічного створення елементів та технології Drag-and-drop.

Комп'ютерна програма застосовує технологію Drag-and-drop – «захоплення» об'єкта на панелі елементів та «перетягування» його в поле виведення. За допомогою цієї технології користувач прийомом «перетягування» розміщує елементи на формі та дані в необхідних полях. В даній роботі застосовувалася мова програмування C#, яка дозволяє створити максимально зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс.

Розроблюваний програмний продукт забезпечує наступні дії - вибір елементу на панелі; перетаскування елементу за допомогою технології Drag-and-drop в поле виведення;

можливість закріплення та відкріплення елементу в полі виведення; порівняння даних різних полів і виведення результату порівняння.

У якості елементів управління, які може створити користувач та налагодити його властивості виступають об'єкти - «Кнопка», «Текстове поле», «Таблиця», «Рисунок».

Процес створення елементу управління складається з семи етапів.

Перший етап – занесення розмірів та розташування елементу (Рис. 3.5.2.1, Рис. 3.5.2.2).

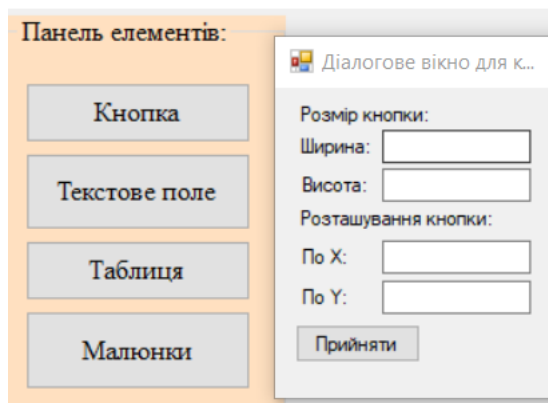


Рис. 3.5.2.1. Занесення розмі-

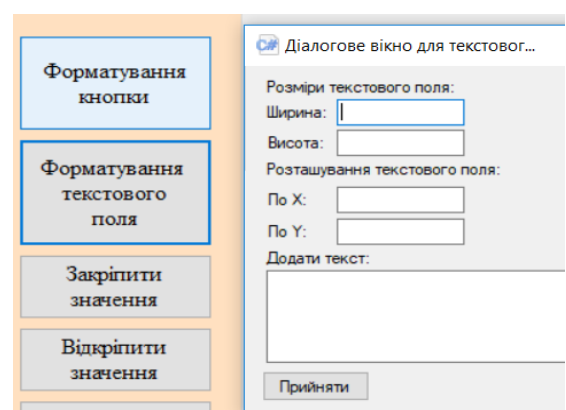


Рис. 3.5.2.2. Занесення розмі-

рів та розташування
менту «Кнопка»

еле- рів та розташування елемента
«Текстове поле»

Другий етап – створення елементів відповідно до занесених розмірів та положень (Рис. 3.5.2.3).



Рис. 3.5.2.3. Створення елементів керування

Третій етап – розташування створеного елемента в полі виводу.

Четвертий етап – визначення властивостей елементів.

Передбачені наступні властивості об'єктів керування:

- «Видалити» – видаляє елемент з поля;
- «Закріпити» – закріплює елемент на полі (забороняє перетаскування);
- «Відкріпити» – відкріплює елемент на полі (дозвіл перетаскування);
- «Дозволити перетаскування» (підключення властивості Drag-and-drop);

П'ятий етап – форматування внесених даних (зміна шрифту, розміру, і т.д.) (Рис.3.5.2.4).

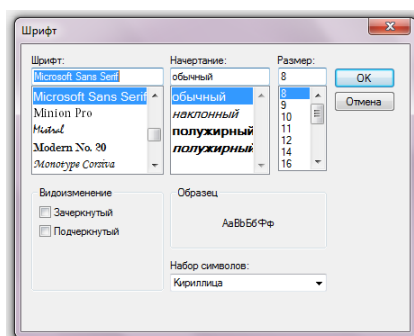


Рис. 3.5.2.4. Зміна розміру та шрифту даних

Шостий етап – перенесення даних з одного елемента в інший - функція «Дозволити перетаскування» (Рис. 3.5.2.5).

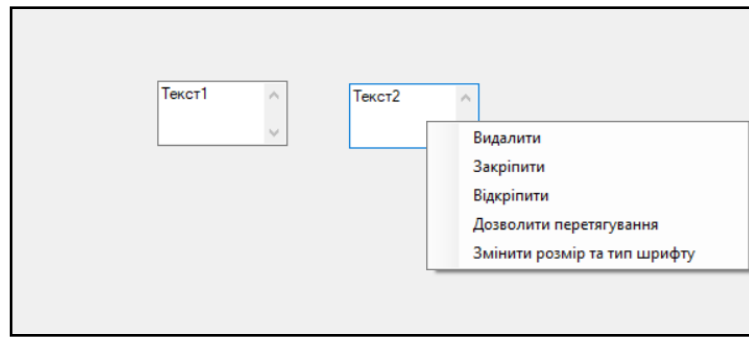


Рис. 3.5.2.5. Перенесення даних з одного елементу в інший

Сьомий етап – порівняння даних (Рис. 3.5.2.6). Результат порівняння даних між змістом двох елементів виводиться наступним чином - елемент «Кнопка» має червоний колір, якщо дані не співпадають (відповідь не вірна), елемент «Кнопка» має зелений колір – дані співпадають (відповідь вірна).

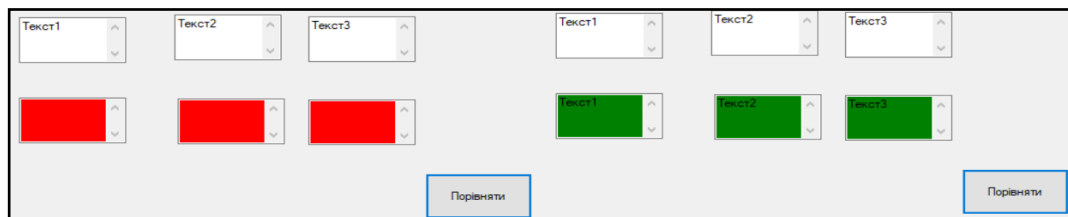


Рис. 3.5.2.6. Порівняння даних

Загальний алгоритм створення програмного засобу:

- 1) Вибір типу елементу керування;
- 2) Налаштування властивостей елементу керування;
- 3) Розташування елементу в області вікна програми;
- 4) Введення текстової інформації в поле елементу;
- 5) Закріплення елементу (Рис. 3.5.2.7);
- 6) Занесення інформації про елемент до списку за допомогою клавіш F2 – перший список, F3 – другий список;
- 7) Підключення функції «перетягування» на основі технології Drag-and-drop (Рис.3.5.2.8);
- 8) «Перетягування» інформації з одного елементу в інший (Рис. 3.5.2.9), забезпечення можливості подальшого порівняння;
- 9) Перевірка правильності виконаних дій.

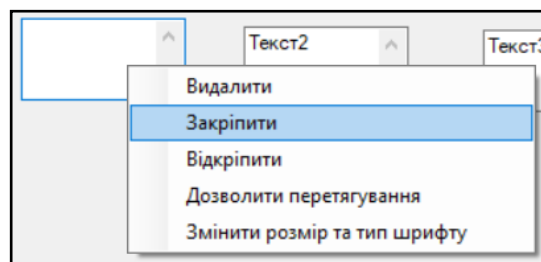


Рис. 3.5.2.7. Закріплення елементу керування

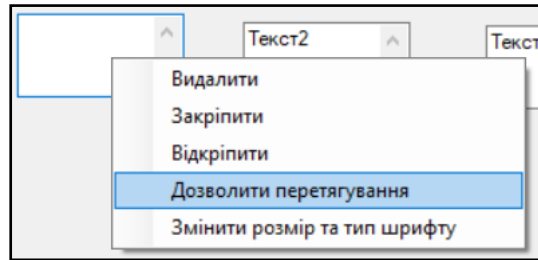


Рис. 3.5.2.8. Підключення функції «перетягування»

Пропонуються наступні додаткові функції:

- «Закріпити значення» – дозволяє закріпити всі значення інформації після внесення, не дає можливість змінювати їх;
- «Відкріпити значення» – дозволяє змінювати всі значення інформації;
- «Форматування» – дозволяє налаштувати тип, розмір та форматування шрифту у всіх елементах управління;
- «Заборонити перетягування» – дозволяє зняти можливість перетаскування інформації з одного елемента в інший;
- «Очистити список» – дозволяє очистити інформацію про елементи управління з подальшою неможливістю їх порівняння (функція застосовується коли користувач неправильно вказав елементи для порівняння).

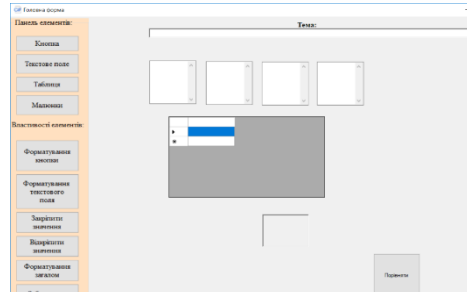


Рис. 3.5.2.9. Загальний інтерфейс програми

2.5.3 Розробка комп'ютерної навчальної програми-тренажера для дисципліни «Дослідження операцій» з теми «Транспортна задача»

Серед усього різноманіття електронних засобів навчального призначення дослідники виділяють кілька груп за вирішуваними педагогічними завданнями: довідково-інформаційними, демонстраційно-моделюючими, навчально-контролюючими [12].

Електронні тренажери належать до групи навчально-контролюючих електронних засобів навчального призначення, які призначені для передачі змісту навчання і формування знань, умінь і навичок.

Змістовна частина тренажеру повинна містити вправи, які допоможуть сформувати у студентів уміння будувати математичну модель транспортної задачі в матричній постановці, будувати базисний план перевезень на основі

методу південно-західного кута, визначати оптимальність побудованого плану перевезень, розраховувати потенціали і будувати на основі методу потенціалів удосконалений план перевезень.

Тренажер розроблений у вигляді локального Windows-додатку, який не потребує спеціальних комп'ютерних ресурсів і може бути легко встановлений на персональному комп'ютері в аудиторії або вдома. Тренажер може функціонувати у двох режимах - тренування і контролю. Використовувати тренажер можна і під час занять і в процесі самостійної роботи.

Навчальний тренажер відрізняється від інших видів навчальних засобів обов'язковою наявністю сценарію перевірки дій, які повинен виконати студент для досягнення поставленої задачі. В процесі виконання дій і команд в тренажері виконується перевірка очікуваних дій по сценарію, після виводиться результат користувачу. Після чого, у випадку неправильних дій, користувачу дається можливість виправити помилки. І тільки після виправлення, користувач може перейти до наступного етапу розв'язання задачі. Таким чином, користувач отримує зворотній зв'язок, дізнається про свої помилки і має можливість їх виправити.

Сценарій описує послідовність дії, які повинен виконати студент в процесі роботи з тренажером.

Сценарій роботи програми-тренажера «Транспортна задача»:

Етап 1 – введення вихідних даних – кількість пунктів призначення, кількість пунктів відправлення, потреби кожного пункту призначення (a_i), запаси в кожному пункті відправлення (b_j), тарифи перевезень вантажу (c_{ij}). На основі вихідних даних будується вихідна матриця.

Етап 2 - побудова базисного плану методом північно-західного кута.

Етап 3 – визначення потенціалів кожного пункту відправлення α_i і кожного пункту призначення β_j , розрахунок значень Δ_{ij} та перевірка оптимальності побудованого плану. Якщо план є оптимальним – розв'язок задачі отримано, якщо ні – будується цикл перерахунку і новий план перевезень.

На рисунку 3.5.3.1 наведено реалізацію першого етапу – побудови матриці перевезень. Студент вводить в клітини таблиці значення тарифів для кожного перевезення, величини запасів вантажу в пунктах відправлення і величини потреб в пунктах отримання вантажу.

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	a_i
A1	1	1	4	4	1	3	300
A2	1	5	3	2	4	1	200
A3	3	3	3	2	1	1	400
b_j	120	150	270	100	100	160	

Рис. 3.5.3.1 – Введення вихідних даних задачі

На рисунку 3.5.3.2 наведено другий етап - побудова базисного плану перевезень методом північно-західного кута. Студент за допомогою прийому «Drag-and-drop» вибирає значення перевезень для відповідної клітини використовуючи значення поставок та потреб, які розташовані у клітинах стовпця a_i або строки b_j . Після введення значення перевезень в клітину, студент перераховує, у випадку необхідності, значення a_i і b_j . Для цього він використовує клітини в поля «Перерахунок запасів» і «Перерахунок і потреб». Перерахунок за формулами виконується, також, за допомогою прийому «Drag-and-drop». Якщо план побудований з помилками, клітини таблиці, у яких неправильно визначено перевезення висвітлюються червоним кольором. Студент повинен перерахувати помилкові значення і тільки після чого стає можливим перехід до наступного етапу.

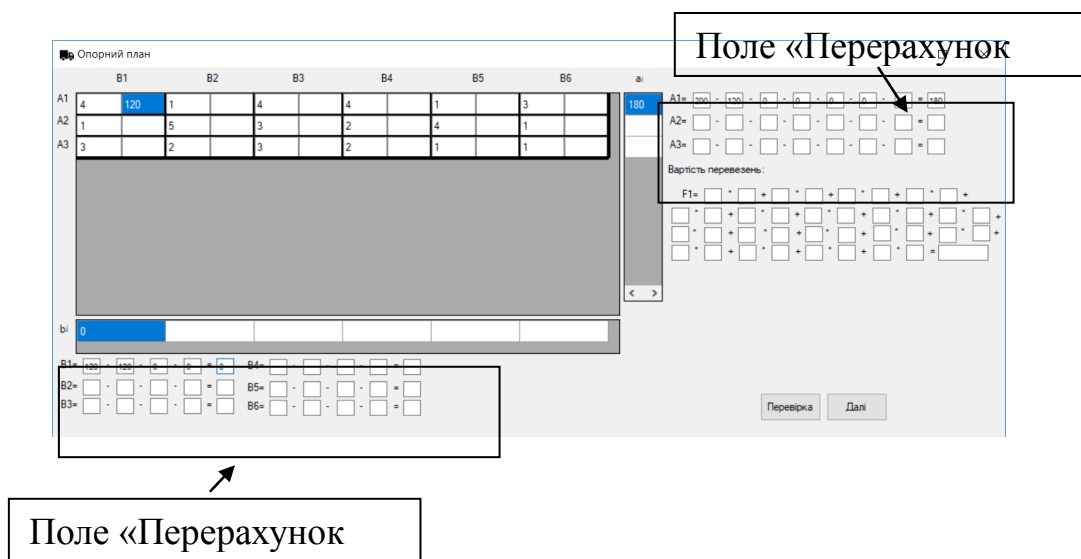


Рис. 3.5.3.2 – Побудова базисного плану і визначення вартості перевезень

Після побудови базисного плану перевезень, переходимо на другий етап алгоритму розв'язання задачі. На цьому етапі відбувається визначення потенціалів α_i і β_j та перевірка плану на оптимальність на основі розрахованих значень Δ_{ij} . Розрахунок потенціалів виконується в формі «Потенціали» за допомогою прийому «Drag-and-drop» (рис.3). Після визначення значень Δ_{ij} студент повинен вирішити, чи побудований план є оптимальним. Якщо потрібна наступна ітерація, використовується спеціальна кнопка «План оптимальний?».

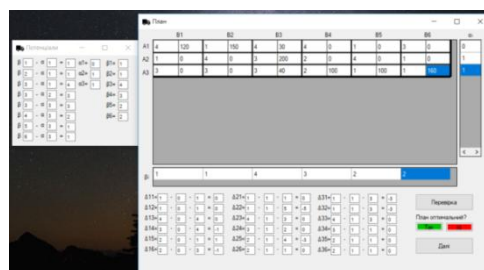


Рис. 3.5.3.3 – Розрахунок потенціалів та перевірка оптимальності плану

На третьому етапі розв'язку студент будує цикл перерахунку плану перевезень. Визначається клітина, для якої буде побудований цикл перерахунку. Для цього студент прийомом «Click» по відповідній клітині таблиці і по клітинам, які беруть участь у циклі, будує цикл у вигляді замкненої ламаної, що відображається у таблиці. Після цього у клітинах, які увійшли до циклу перерахунку студент вказує величину перерахунку циклу.

Якщо розрахунок виконано неправильно, то після натиснення кнопки «Перевірка», помилкові значення виділяються червоним кольором. Потім студент повинен перерахувати неправильні значення і тільки після правильних розрахунків можливо перейти до наступного етапу.

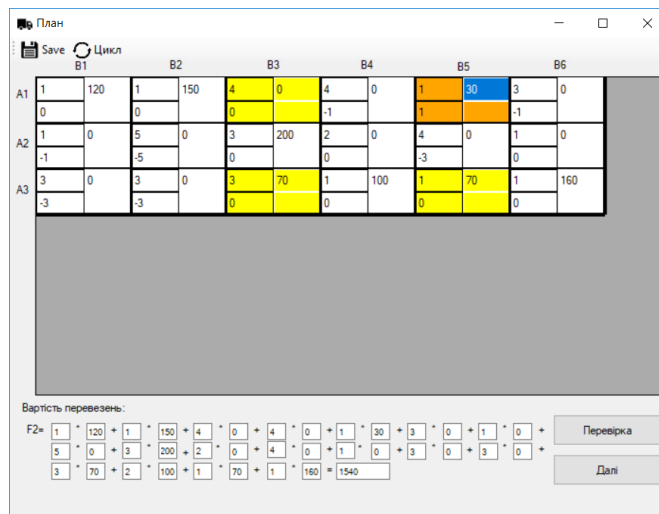


Рис. 3.5.3.4 – Побудова циклу перерахунку перевезень

Після проведення третього етапу і перерахунку плану перевезень переходять до другого етапу, на якому для нового плану розраховуються потенціали і вирішується, чи є побудований план оптимальним. Якщо побудований план не є оптимальним, то необхідно повернутися до третього етапу.

2.5.4 Модель розпізнавання мовлення для вирішення задачі керування елементами веб-сайту

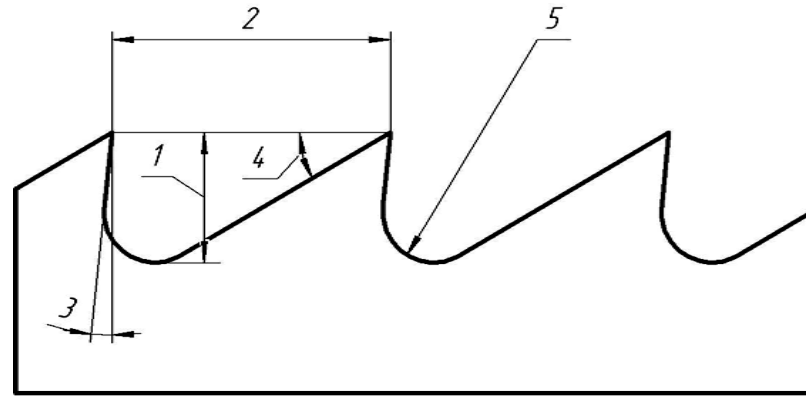
Розглянуто метод розпізнавання мовлення, а саме можливість використання цієї технології для мовного керування елементами веб-сайтів [24]. Особливістю запропонованої моделі є виконання розпізнавання мовлення не на сервісі або за допомогою будь-яких програмних модулів, як це відбувається у більшості випадків, а на самому пристрої із застосуванням лише мікрофону. У вже існуючу конструкцію можна легко додавати будь-які команди. Розпізнавання мови реалізовано на сторінці веб-сайту за допомогою мови програмування Javascript. Робота скрипта базується на використанні інтерфейсів SpeechRecognition Web Speech API та SpeechGrammarList API Web Speech. На сьогоднішній день керування за допомогою голосового мовлення може застосовуватися майже на різноманітних пристроях: на стаціонарних

комп'ютерах, мобільних пристроях, годинниках, безпілотних літальних апаратах тощо (Davies, Biddulph, & Balashek, 1952). Збільшення обчислювальних потужностей таких пристроїв дозволило для них удосконалювати вже існуючі та створювати нові програми з функцією розпізнавання мовлення. Для розпізнавання голосового мовлення у веб-браузері існує багато сервісів, серед яких: Google, MozillaWebSpeech API, Siri та багато інших. В основі актуальної версії голосового пошуку Google лежить покращений алгоритм для навчання нейронних мереж, створений спеціально для аналізу і розпізнавання акустичних моделей (Klass, 1962). Тобто звичайний алгоритм покращений за допомогою нейронних мереж, він дає більш точне розпізнавання голосового мовлення, але при цьому втрачає швидкість розпізнавання. В нашому випадку необхідно розпізнавати невеликі фрази при мінімальній витраті ресурсів. Для вирішення даної задачі найкраще підходить розпізнавання на основі обмеженого словника (Jurafsky, & Martin, 2009). Слід відмітити те, що веб-браузери не дозволяють веб-сайтам користуватися камерою користувача, мікрофоном та іншими приладами без згоди на те користувача. Крім того, потрібно, щоб на веб-сайті стояв ssl-сертифікат, який створює захищене з'єднання по протоколу https. Якщо такий сертифікат є, з'являється повідомлення, яке запитує у користувача дозвіл на використання його пристроїв для роботи на цьому веб-сайті. У методі, який пропонується, розпізнавання голосового мовлення реалізовано на сторінці веб-сайту за допомогою мови програмування Javascript. Було додано скрипт, який при натисканні на іконку з мікрофоном на робочому столі користувача починає записувати мовну команду. Це дозволить підвищити точність та швидкість розпізнавання саме для конкретного набору слів та дає можливість використання алгоритму на будь-якому веб-сайті. У роботі використано відкриту технологію розпізнавання мовлення MozillaWebSpeech API.

2.6.1. Геометричне моделювання кулачків зубозаточувальних верстатів у cad – системі unigraphics

Згідно запропонованої методики проектування процес проектування профілю кулачка розбивається на декілька етапів [49].

На першому етапі визначаються полярні координати точок профілю кулачка, який забезпечує заданий закон переміщення зубозаточувальної головки верстату. Вихідними даними для подальших розрахунків є профіль зуба стрічкової пили. Геометричну схему профілю зуба представлено на Рисунок 2.6.1



1 – висота зуба; 2 – крок зуба; 3 – передній кут зуба;
4 – задній кут зуба; 5 – радіус основи зуба

Рисунок 2.6.1.1 - Геометрична схема профілю зуба стрічкової пили

На основі геометричної схеми профілю зуба визначається таблично заданий закон руху штовхача кулачкового механізму зубозаточувального верстату.

Взявши за основу отриманий табличний закон руху штовхача та використовуючи відому методику, визначаються полярні координати точок профілю кулачка.

Як було зазначено вище, для кулачкових механізмів заточувальних верстатів, які мають низьку обертальну швидкість дуже важлива відсутність прямолінійних ланок профілю кулачка великої довжини для забезпечення їх надійної та якісної роботи, а, при використанні розрахункової схеми отримання полярних координат точок профілю кулачка виникнення прямолінійних ланок дискретно представленої кривої (ДПК) профілю неменуче. Тому виникає необхідність корекції прямолінійних ділянок спіралеподібної ДПК профілю кулачка.

Для виконання такої корекції пропонується алгоритм згущення прямолінійних ділянок спіралеподібних ДПК на основі кутів суміжності ланок супровідної ламаної лінії (СЛЛ). Розглянемо геометричну схему прямолінійної ділянки СЛЛ, наведену на Рисунок 2.6.1.2.

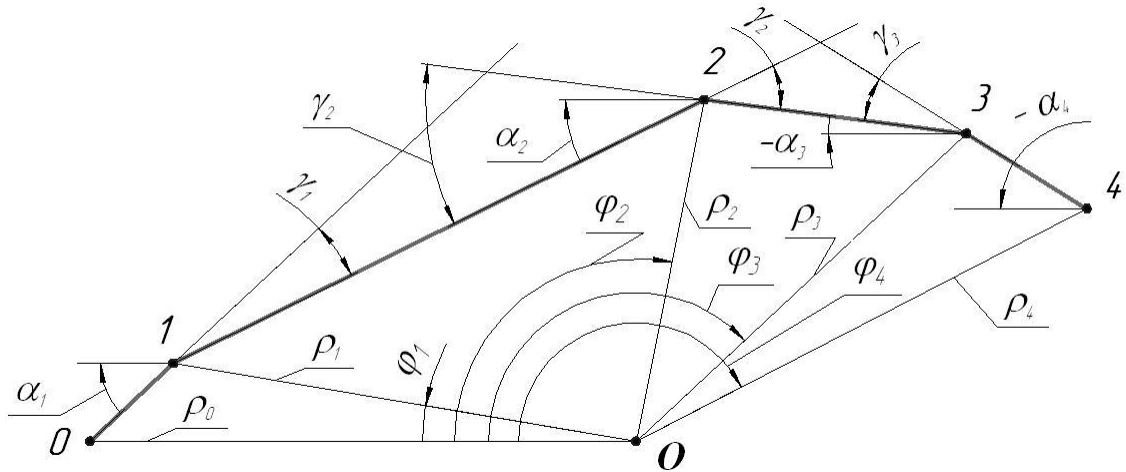


Рисунок 2.6.1.2 Геометрична схема прямолінійної ділянки СЛЛ

де ρ_i радіус-вектори точок на довільній сітці кутів φ_i , $i = 0, n$;

α_i - кути нахилу ланок супроводжувачої ламаної лінії (СЛЛ) до горизонтальної осі;

γ - кути суміжності ланок СЛЛ

В якості критерію опуклості моделюючої ДПК виступають суміжні кути γ_i нахилу ланок супровідної ламаної лінії (СЛЛ).

Алгоритм згущення прямолінійних ділянок полягає в наступному:

1. Визначаємо значення кутів суміжності ланок супровідної ламаної лінії (в нашому випадку – кутів γ_1 та γ_2 (див. Рисунок 2.6.1.2));
2. Знаходимо значення прирощення Δ кутів суміжності за формулою

$$\Delta = \frac{|\gamma_2 - \gamma_1|}{m},$$

де m – кількість ланок СЛЛ після згущення;

3. Розраховуємо значення радіус – векторів згущеної ланки.

Для розрахунку значень радіус – векторів згущеної прямолінійної ділянки СЛЛ в загальному випадку розглянемо схему, наведену на Рисунок 2.6.1.3.

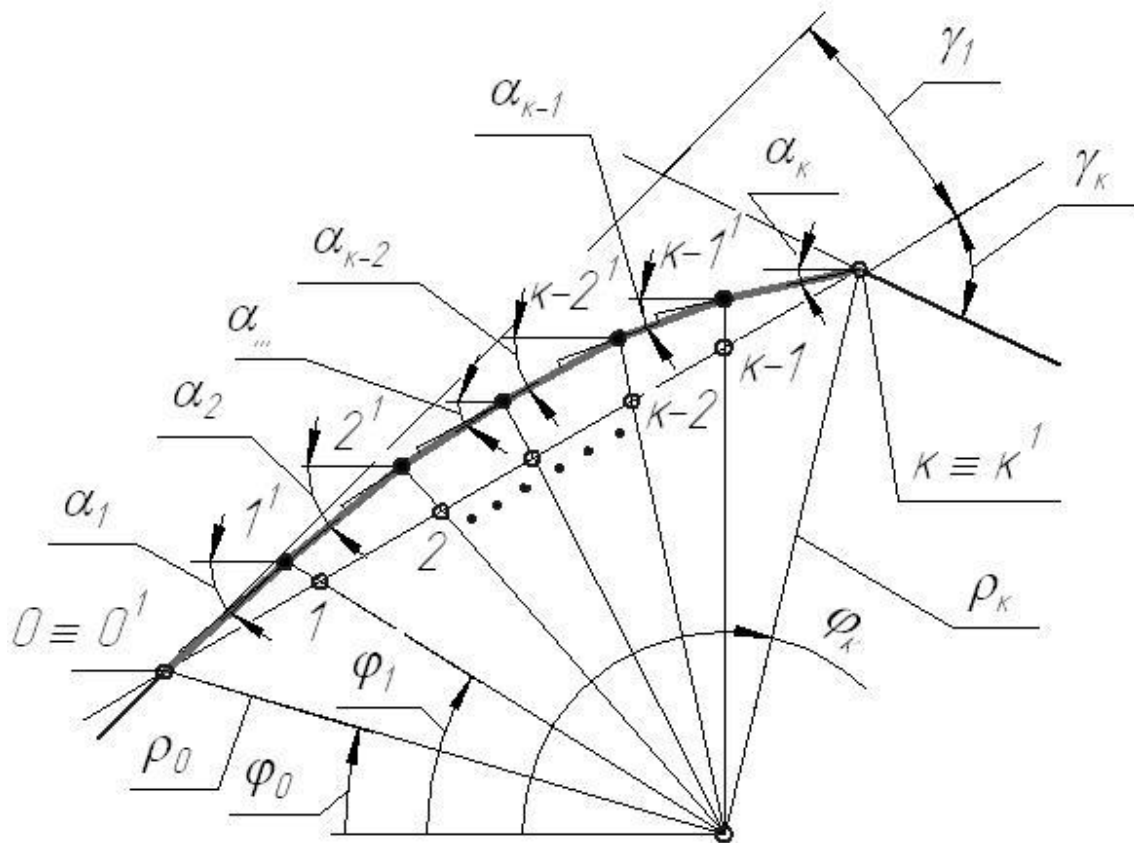


Рис 2.6.1.3. Згущення прямолінійної ділянки $(0;k)$ СЛЛ

В загальному вигляді отримання значень полярних радіусів на ділянці $(0;k)$ має вигляд:

$$\rho_k = \rho_0 \cdot \frac{\sin(\bar{\alpha} + (m-k-1)\Delta + \varphi_{k-1})}{\sin(\bar{\alpha} + (m-k-1)\Delta + \varphi_k)} \cdot \frac{\sin(\bar{\alpha} + (m-k-2)\Delta + \varphi_{k-2})}{\sin(\bar{\alpha} + (m-k-2)\Delta + \varphi_{k-1})} \times$$

$$\times \dots \frac{\sin(\bar{\alpha} + m\Delta + \varphi_0)}{\sin(\bar{\alpha} + m\Delta + \varphi_1)};$$

де k - кількість точок, обраних на прямолінійній ділянці, $\bar{\alpha}$ - кут нахилу прямолінійної ділянки до полярної осі.

На другому етапі моделювання профілю кулачка, після розрахунку остаточних координат точок профілю, здійснюється побудова тривимірної моделі спроектованого кулачка в середовищі Unigraphics.

Процес моделювання здійснюється у діалоговому режимі між комп'ютером і користувачем.

Інтерфейс програми, на основі якого буде проводитися діалог оператора-користувача та програмного забезпечення, представлений головною формою програми, на якій розміщено функціональні області для введення та представлення отриманих даних, набір кнопок для виклику обробника події натискання кнопки згідно закладеного алгоритму, повного меню інструментальної панелі з дублюванням кнопок присутніх в головній області в традиціях «класичної інструментальної панелі».

Зображення головного вікна програми (Рисунок 2.6.1.4) умовно розбито на дві табличні частини: першу – для введення початкових даних; другу – для представлення отриманих результатів розрахунку. Зміст функціональних складових розподілений в області головного вікна таким чином, щоб досягнути наступних якісних характеристик розробленого інтерфейсу:

- оптимальної інтуїтивності інтерфейсу;
- максимальної відповідності до умов розв’язання реалізованого програмним забезпеченням завдання;
- зручності організації ведення розрахунків та представлення вихідної та отриманої інформації;
- відповідного презентаційного вигляду, при дотриманні умов раціонального розміщення функціональних елементів програми, відповідних кольорових характеристик;
- високої інформативності інтерфейсу, завдяки відсутності нагромадження великої кількості інформації в головному вікні, її виведення підлеглими формами за потребою користувача.

Комп’ютерне моделювання профілю кулачка проводяться на основі закладених в програмний продукт кінематичних залежностей, що виникають в механізмі «кулачок-штовхач» під впливом загальних залежностей всього кулачкового механізму приводу руху зубозаточувальної головки верстату.

The screenshot shows a software window with a menu bar (Файл, Выполнить расчеты, График) and a toolbar (Выберите файл данных, Открыть файл, Сохранить, Сохранить как). Below the toolbar are input fields: 'Открытый файл:' (E:\Испиратура\Магистры\Глибовар\...), 'Шаг полосы диф. проекций' (1), 'Выполнить расчеты' (button), 'Высота выдавливания' (2,00), and 'Экспорт в AutoCAD' (button). The main area contains two tables. The first table has columns '#', 'Угол', and 'SI'. The second table has columns '#', 's'', 's'', '1 прибл.', '2 прибл.', 'W', and 'R'. Below the tables are buttons for 'График S(s)', 'График s'', 'График s''', and 'Полоса диф. проекций'.

#	Угол	SI	#	s''	s''	1 прибл.	2 прибл.	W	R
1	0	0	1						
2	1	0,0005	2			0,0011	0,001025		
3	2	0,0022	3	0,00226		0,0023	0,00115	2,80761672872	0,00318276609
4	3	0,0051	4	0,00338		0,0034	0,001075	3,58800260354	0,00612943716
5	4	0,009	5	0,00445	0,001018	0,00445	0,00105	4,45919329547	0,01004004482
6	5	0,014	6	0,0055	0,000924	0,0055	0,00105	5,37433361600	0,01504160895
7	6	0,02	7	0,00651	0,000804	0,00655	0,001	6,31649139927	0,02104524886
8	7	0,0271	8	0,00748	0,000649	0,0075	0,00092500000	7,26999501358	0,02811867706
9	8	0,035	9	0,00838	0,000503	0,0084	0,00087499999	8,23554498072	0,03599388837
10	9	0,0439	10	0,00921	0,000294	0,00925	0,00079999999	9,20766842250	0,04486393317
11	10	0,0535	11	0,01016	3,40000000000	0,01	0,00095000000	10,1847836159	0,05442655601
12	11	0,0639	12	0,01077	-0,000267	0,01115	0,000675	11,1727521299	0,06486549545
13	12	0,0758	13	0,01127	-0,000594	0,01135	9,99999999999	12,1486318914	0,07664504224
14	13	0,0866	14	0,01171	-0,000832	0,01135	0,00045000000	13,1303195620	0,08734061197
15	14	0,0985	15	0,01207	-0,001105	0,01225	0,00067499999	14,1237301898	0,09925881572
16	15	0,1111	16	0,0126	-0,001339	0,0127	0,00032499999	15,1138173923	0,11182352167
17	16	0,1239	17	0,01288	-0,001239	0,0129	0,00017500000	16,1037424377	0,12456973950
18	17	0,1369	18	0,01327	-0,00021699999	0,01305	0,00042500000	17,0950378835	0,13752058936
19	18	0,15							
20	19	0,1644							

Рисунок 2.6.1.4 - Результат обработки входных данных

Для наочного контролю процесу моделювання користувач має змогу побудувати графіки отриманих залежностей, щоб мати змогу виявити осцилюючі ділянки і своєчасно внести зміни.

Заключним етапом роботи програми є отримання полярних координат та побудова профілю кулачка механізму приводу руху зубозаточувальної головки верстату, на основі конструкторського додатку NX у середовищі Unigraphics. Вікно автоматично-побудованої 3D моделі кулачка зображене на рисунку 2.6.1.5.

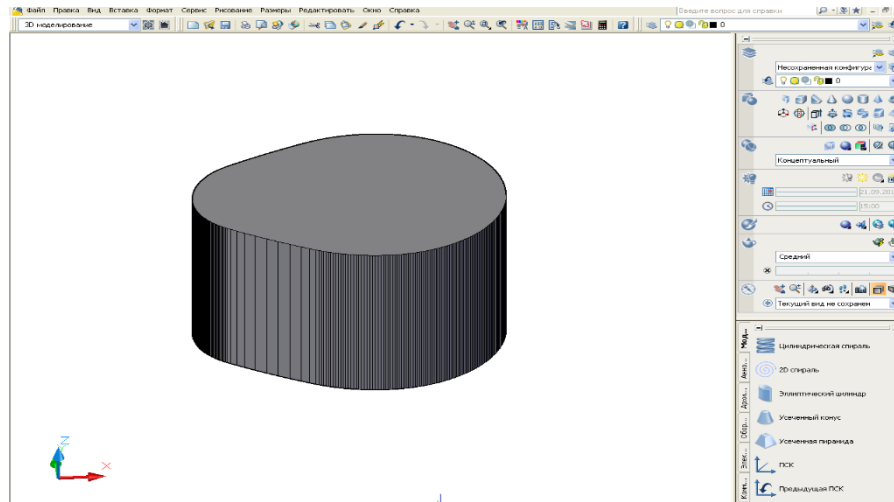


Рисунок 2.6.1.5 – Генерована 3D-модель кулачка

Розроблена на основі застосування конструкторського додатку NX середовища Unigraphics 3D-модель кулачка береться за основу при розробці керуючої програму для станка з ЧПУ в програмному забезпеченні середовища Unigraphics, а саме – модуля підготовки управляючих програм для верстатів з ЧПУ NX CAM..

2.6.2 Коригування косого зсуву багатоспектральних фотограмметричних зображень

Одним з важливих моментів за коригування спотворень є визначення картинної площини спектрального каналу [50], стосовно якої здійснюватиметься корекція розподілів яскравостей зображень інших спектральних каналів (опорне зображення). У якості такого зображення оберемо найбільш інформативне з поміж усіх зображень спектральних каналів. Для оцінювання інформативності зображень використовуємо сигнальну ентропію (інформативність одного пікселу цифрового зображення, усереднена по їхній множині), яка визначається співвідношенням [6]

$$E = - \sum_{n=0}^{M-1} P_n \log_2 P_n, \quad (2.6.1)$$

де $P_n = \frac{n N_n}{\sum_{m=0}^{M-1} m N_m}$, N_n - кількість пікселів з рівнем яскравості n
 $n \in [0, M - 1]$

Розглянемо косий зсув зображення в цілому, як такий, що складається з двох незалежних компонент: косого зсуву за віссю Ox та косого зсуву за віссю Oy . Зупинимо увагу на косому зсуву за віссю Ox .

Якщо прийняти, що координати елементів еталонного зображення x та y , а координати елементів спотвореного зображення $\bar{x}$ та $\bar{y}$, то можна встановити між ними певний аналітичний зв'язок:

$$\begin{aligned}\bar{x} &= x + a y \\ \bar{y} &= y,\end{aligned}\tag{2.6.2}$$

де a – параметр косого зсуву за віссю Ox .

За аналогією, якщо зсув відбувся за віссю Oy , система рівнянь набуває вигляду:

$$\begin{aligned}\bar{x} &= x \\ \bar{y} &= y + b x,\end{aligned}\tag{2.6.3}$$

де b – параметр косого зсуву за віссю Oy .

Отримавши нову систему координат $(\bar{x}, \bar{y})$ за допомогою методів інтерполяції визначаються нові рівні яскравості, що відповідають цій системі.

Отже, для коригування зображення, потрібно визначити пару параметрів косого зсуву a та b . Спочатку віднайдемо параметр a . Для цього використовуємо наступний вираз:

$$S_a = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} |F_{\bar{o}}(n, m) - F_k(n, m, a)|}{\sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} |F_{\bar{o}}(n, m)|},\tag{2.6.4}$$

де $F_{\bar{o}}$ – функція розподілу яскравості зображення базового каналу; F_k – функція розподілу яскравості для системи координат, що визначається виразом (2.6.2); n, m – номери пікселів.

Задаючи діапазон зміни величини a та визначивши для нього усі значення S_a , отримаємо функцію залежності $S(a)$. Значенню мінімуму цієї функції буде відповідати шукане значення параметру a , яке ми використовуємо для обчислення нової системи координат та побудови нового, частково скоригованого зображення з функцією розподілу яскравості F_k^a .

Далі, задаючи діапазон зміни параметру b , визначаючи нові системи координат згідно виразу (2.6.3), обчислюємо значення S_b за формулою:

$$S_b = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} \left| F_{\bar{o}}(n, m) - F_k^a(n, m, b) \right|}{\sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=0}^{M-1} \left| F_{\bar{o}}(n, m) \right|}, \quad (2.6.5)$$

Визначивши мінімум функції $S(b)$, і відповідне значення параметру b , будемо остаточно скориговане зображення з функцією розподілу яскравості $F_k^{a,b}$.

Для кількісної оцінки змін інформативності зображень використаємо такий показник, як ентропія зображення Y при умові спостереження за зображенням X ($E(Y|X)$). Спільна ентропія двох зображень X та Y дорівнює:

1. Якщо зображення X та Y не пов'язані між собою

$$E(XY) = E(X) + E(Y)$$

2. Якщо зображення X та Y мають зв'язок

$$E(XY) = E(X) + E(Y|X) = E(Y) + E(X|Y)$$

Ентропія $E(Y|X)$ визначається наступним чином:

$$E(Y|X) = - \sum_{i=0}^{255} \left[p(x_i) \sum_{j=0}^{255} p(y_j|x_i) \log_2 p(y_j|x_i) \right],$$

$$\text{де } p(x_i) = \frac{n N(n)}{\sum_{m=0}^{255} m N(m)},$$

$N(n)$ - кількість пікселів з рівнем яскравості n ,

$$p(y_j|x_i) = \frac{n(y_j|x_i)}{\sum_{j=1}^{256} n(y_j|x_i)},$$

$n(y_j|x_i)$ - визначає, скільки пікселів зображення Y , що мають рівень яскравості j , знаходяться на тих самих позиціях, де у зображенні X знаходяться піксели, що мають рівень яскравості i .



Рисунок 2.6.2.1 -Зображення базового (червоного) каналу

На Рисунок 2.6.2.1-2.6.2.5 подані відповідно зображення базового (червоного) каналу (каналу з найбільшим значенням сигнальної ентропії), зображення зеленого каналу до та після корегування та зображення синього каналу до та після корегування. У обох цих випадках значення параметрів a та b відповідно дорівнюють 0.07 та 0.09.



Рисунок 2.6.2.2. Зображення зеленого каналу до коригування



Рисунок 2.6.2.3. Зображення зеленого каналу після коригування



Рисунок 2.6.2.4. Зображення синього каналу до коригування



Рисунок 2.6.2.5. Зображення синього каналу після коригування

В таблиці 2.6.2.1 наведені значення сигнальної ентропії зображень, середньоквадратичного відхилення (СКВ) рівнів яскравості зображень спектральних каналів до та після корегування, а також ентропії $E(Y|X)$ зображення, що корегувалося (Y), при умові спостереження зображення базового каналу (X).

Таблиця 2.6.2.1-Значення сигнальної ентропії зображень

	Сигнальна ентропія	СКВ	$E(Y X)$
Базовий канал (червоний) (Рисунок1)	7.3328	46.2659	--/--
Зелений канал до коригування (Рисунок2)	7.1512	45.9126	5.1828
Зелений канал після коригування (Рисунок3)	7.1643	46.2654	8.6140
Синій канал до коригування (Рисунок4)	6.3923	44.7844	6.3098
Синій канал після коригування (Рисунок5)	6.4113	45.0779	9.1060

Як видно з даних таблиці, спостерігається певне зростання сигнальної ентропії скоригованих зображень по відношенню до відповідних їм первинних, що свідчить про збільшення інформативності після коригування. Цей висновок також підтверджується збільшенням значень середньоквадратичного відхилення рівнів яскравості скоригованих зображень. Слід відзначити, що у обох випадках виявляється значне підвищення ентропії корегованих зображень при умові спостереження зображення базового каналу, тобто зростає частка нової інформації, яку містить зображення (Y), по відношенню до зображення (X).

2.6.3 Автоматизація процесу локальної інтерполяції точкового ряду із заданими вузловими дотичними на основі адаптивної схеми згущення

Основною особливістю адаптивної схеми локального згущення є те, що процес згущення здійснюється в одному напрямку (від меншого кута до більшого) [51], оскільки точка згущення повинна знаходитися на лінії зв'язку нижче нижньої точки перетину дотичних з заданою лінією зв'язку. Інакше можлива поява осциляції.

Розглянемо локальне згущення ділянки $(i, i + 1)$ ДПК (Рисунок 2.6.3.1), де у вузлах i і $i + 1$ задані дотичні y'_i і y'_{i+1} , відповідно. Розіб'ємо ділянку $(i, i + 1)$, довжина якої l , на n частин, що утворюють рівномірну сітку з кроком h , і на цій сітці побудуємо точки згущення згідно з запропонованим алгоритмом.

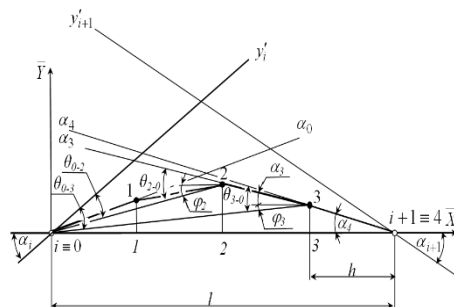


Рисунок 2.6.3.1. Схема адаптивного згущення

Розглянемо алгоритм запропонованої адаптивної схеми згущення:

1) Кут α_{i+1} і α_i , утворені дотичними y'_{i+1} і y'_i у вузлах $i+1$ і i , відповідно, порівнюються з вихідною ланкою $(i, i+1)$, та визначається менший з них. Згідно з Рисунком 1 – це кут α_{i+1} ;

2) Зі сторони меншого кута α_{i+1} проводиться промінь під кутом α_s до вихідної ланки $(i, i+1)$

$$\alpha_s = \arctg (p_s \cdot \tg \alpha_{i+1}), s = \overline{2; n},$$

де p – коефіцієнт, який залежить від числа розбивок n вихідної ланки

$$(i, i+1), p_d = 1 - (1 - \mu)^{\frac{\ln d}{\ln 2}},$$

де d – число розбиття ділянки;

3) Потім визначається ордината точки згущення за формулою:

$$\overline{y}_s = \overline{y}_{s+1} + \overline{h} \cdot \tg \alpha_{s+1}, s = \overline{2; n-1}, \quad (3.7.2)$$

4) Після цього отримана точка згущення (т.3) з'єднується з вузловою точкою (т.0) лінією зв'язку (0-3), згідно Рисунок 1 та визначається кут нахилу отриманої хорди з вихідною ланкою ДПК:

$$\varphi_s = \arctg \left(\frac{\overline{y}_s}{\overline{l} - s \cdot \overline{h}} \right), s = \overline{2; n}, \quad (3.7.3)$$

5) Наступним етапом є визначення кутів θ :

$$\theta_{s-i} = \alpha_s + \varphi_s, s = \overline{2; n-1},$$

$$\theta_{i-s} = \alpha_i - \varphi_s, s = \overline{2; n-1}. \quad (3.7.4)$$

де i – індекс вузла, що відповідає більшому з кутів, утвореному дотичною в даному вузлі і вихідною ланкою.

Для Рисунку 2.6.3.1 це:

$\theta_{3-0} = \alpha_4 + \varphi_3$ – кут, що утворює хорда (0-3) і промінь α_4 ;

$\theta_{0-3} = \alpha_i - \varphi_3$ – кут, що утворює хорда 0-3 і дотична y'_i ..

6) Наприкінці порівнюються кути θ і виявляється менший з них (для вибору схеми згущення). Далі повертаються до пункту 2 алгоритму) і т.д.

Було запропоновано різні схеми згущення відповідно з того в якому напрямку буде здійснюватися процес згущення (з якого боку буде розташований менший з кутів). Але суть залишається та сама – процес згущення продовжується зі сторони меншого з кутів. На рисунках 3.7.2-3.7.4 наведені ще три можливі варіанти здійснення адаптивного згущення.

На основі даного алгоритму було здійснено програмну реалізацію адаптивної схеми згущення на мові програмування Delphi.

На рисунку 2.6.3.6 наведено інтерфейс розробленого програмного модулю та результат його роботи (Рисунок 2.6.3.6).

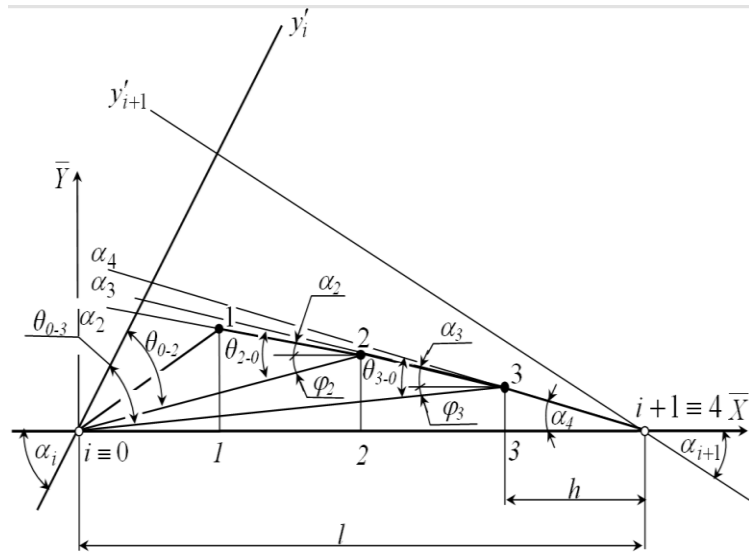


Рисунок 2.6.3.6 - Схема адаптивного згущення при заданих у вузлах дотичних (схема 2)

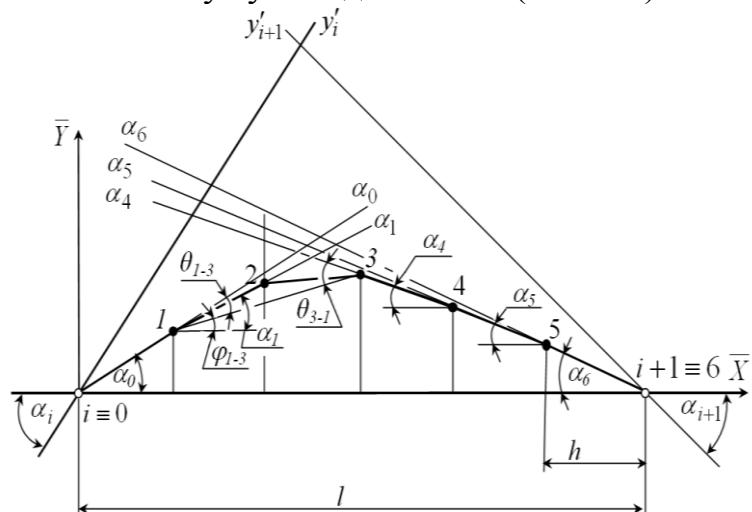


Рисунок 2.6.3.7 - Схема адаптивного згущення при заданих вузлах (схема 3)

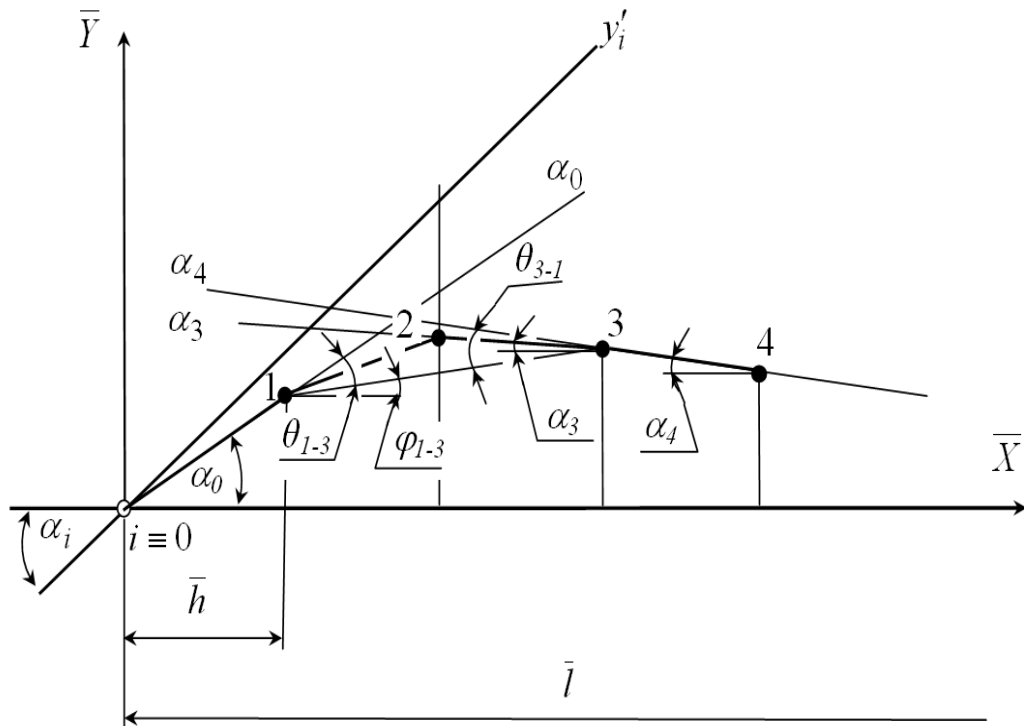


Рисунок 2.6.3.8 - Схема адаптивного згущення призаданих у вузлах дотичних (схема 4)

На основі наведених вище схем адаптивного згущення дискретно представлених кривих запропонована програмна реалізація методики геометричного моделювання перетинів складних поверхонь.

На Рисунок 2.6.3.8 наведено головне вікно програмного модулю визначення координат точок профілю лискретно представленої кривої лінії профілю нормального перетину заданої поверхні, а на Рисунок 2.6.3.9 наведено результат згущення вихідного точкового ряду за пропонованою методикою.

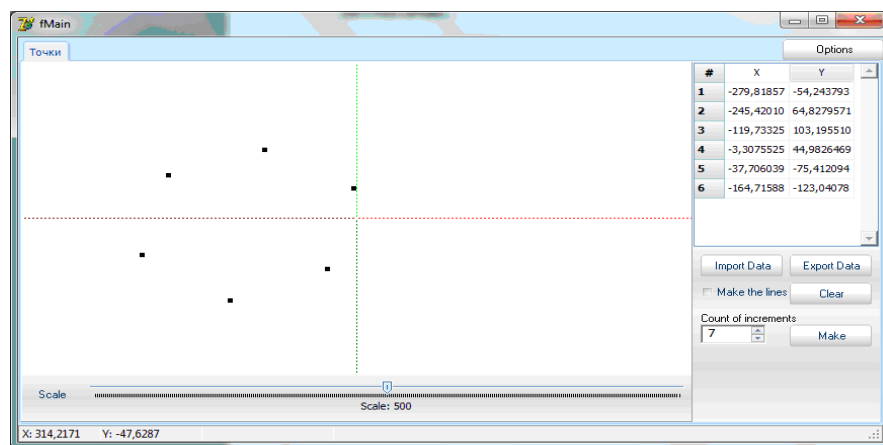


Рисунок 2.6.3.8 - Головне вікно інтерфейсу розробленого програмного модуля

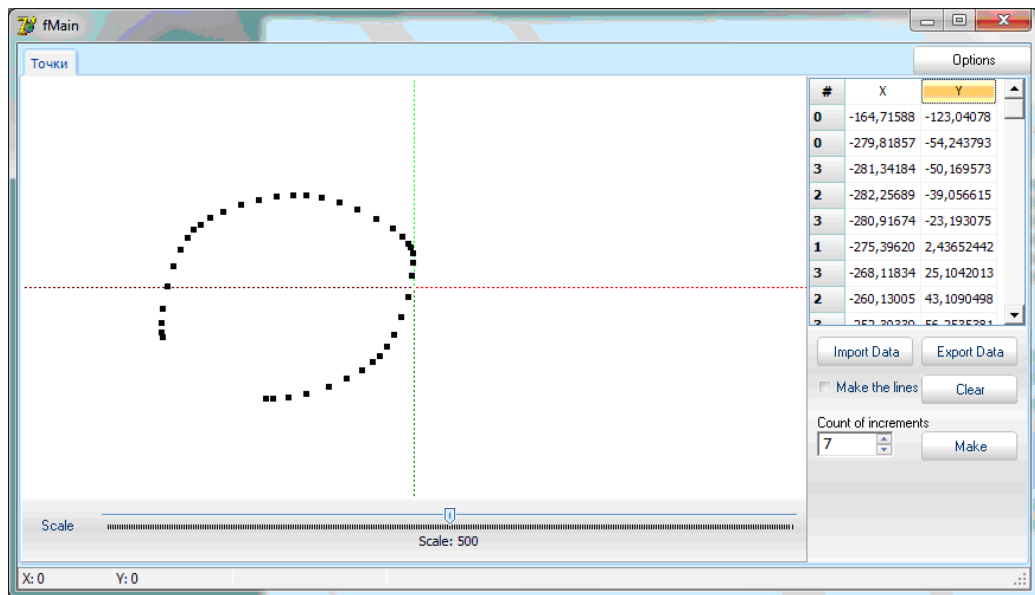


Рисунок 2.6.3.9 - Результат згущення вихідного точкового ряду

Розроблений програмний модуль діє за наступним принципом:

- в полі вводимо координати вихідного точкового ряду;
- в полі вводиться число, що відповідає за кількість отриманих точок згущення для кожної локальної ділянки;
- кнопка відповідає за розрахунок точок згущення.

При бажанні можна експортувати точки () до чи після отримання результату для подальшої роботи з цими ж точками, або імпортувати (кнопка) ті, що раніше були експортовані. Програма зберігає файли з розширенням .dxf.

Фрагмент програмного коду, за допомогою якого знаходяться точки згущення:

```
begin
  SetLength(Ai, 0);
  if (TRUE) then
  begin
    SetLength(Ai, sgData.RowCount+1);
    Ai[0].ID := 0;
    Ai[0].x := StrToFloat(sgData.Cells[1, sgData.RowCount-1]);
    Ai[0].y := StrToFloat(sgData.Cells[2, sgData.RowCount-1]);
    for i := 1 to sgData.RowCount-1 do
    begin
      Ai[i].ID := 0;
      Ai[i].x := StrToFloat(sgData.Cells[1, i]);
      Ai[i].y := StrToFloat(sgData.Cells[2, i]);
    end;
  end;
```

Якщо активувати кнопку  Make the lines, програма з'єднає усі точки лініями.

2.6.4 Автоматизація процесу моделювання складних геометричних поверхонь при вирішенні задач проектування неоднозначних ДПК на основі серединних перпендикулярів з використанням основної тотожності

Прийmemo схему згущення відповідно до Рисунок 1, де точки згущення будуються на серединних перпендикулярах до відповідних ланок СЛЛ вихідної ДПК [52]. Бачимо, що, $\varepsilon_{i-1}^l = \frac{l}{2}\gamma_{i-0,5}^l$, а $\varepsilon_i^l = \frac{l}{2}\gamma_{i+0,5}^l$.

Тоді співвідношення $\text{tg } \alpha_i^l + \text{tg } \alpha_{i+0,5}^l = 2 \text{tg } \alpha_i^0$, $i = \overline{0; n-1}$ приймає вид основної тотожності згущення на підставі кутів суміжності:

$$\gamma_{i-0,5}^l + 2\gamma_i^l + \gamma_{i+0,5}^l = 2\gamma_i^0, \quad i = \overline{1; n-1} \quad (3.8.1)$$

Система (1) має $(n-1)$ рівнянь з $(2n-1)$ невідомими. Отже, для отримання єдиного рішення необхідно задати n умов.

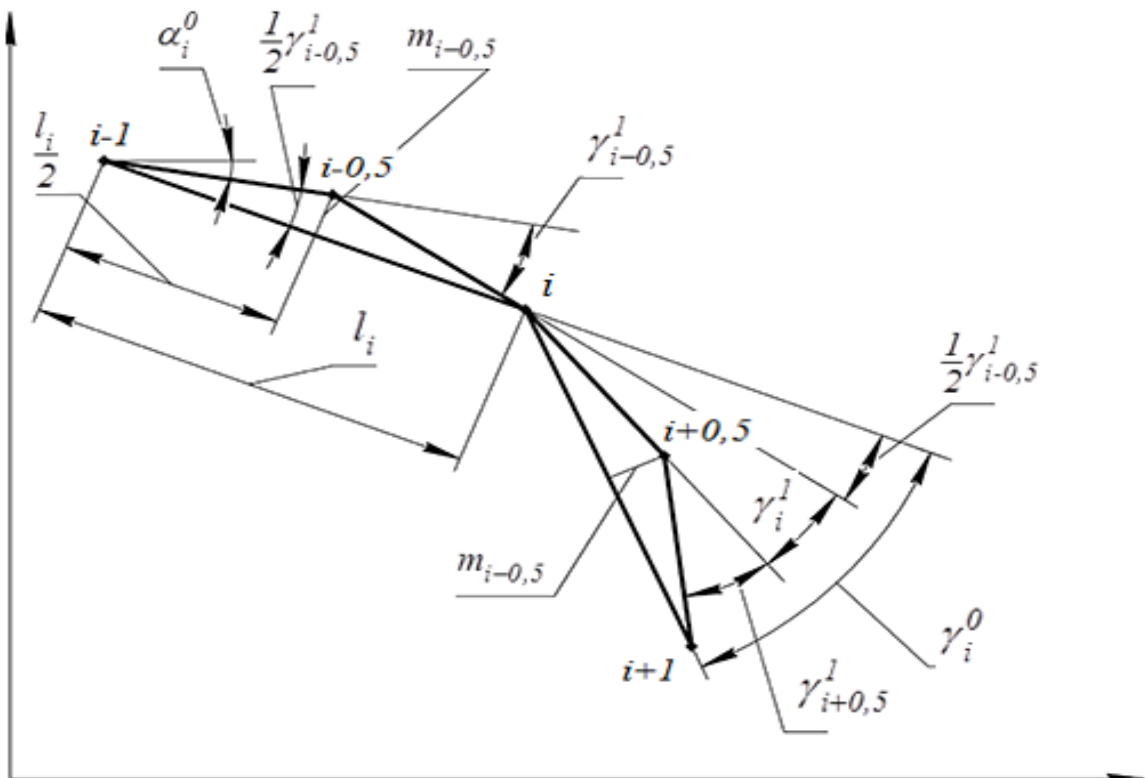


Рисунок 2.6.4.1. Згущення ДПК точками, розташованими на основі серединних перпендикулярів

Основний алгоритм згущення ДПК на основі серединних перпендикулярів полягає в наступному (Рисунок 2.6.4.2.):

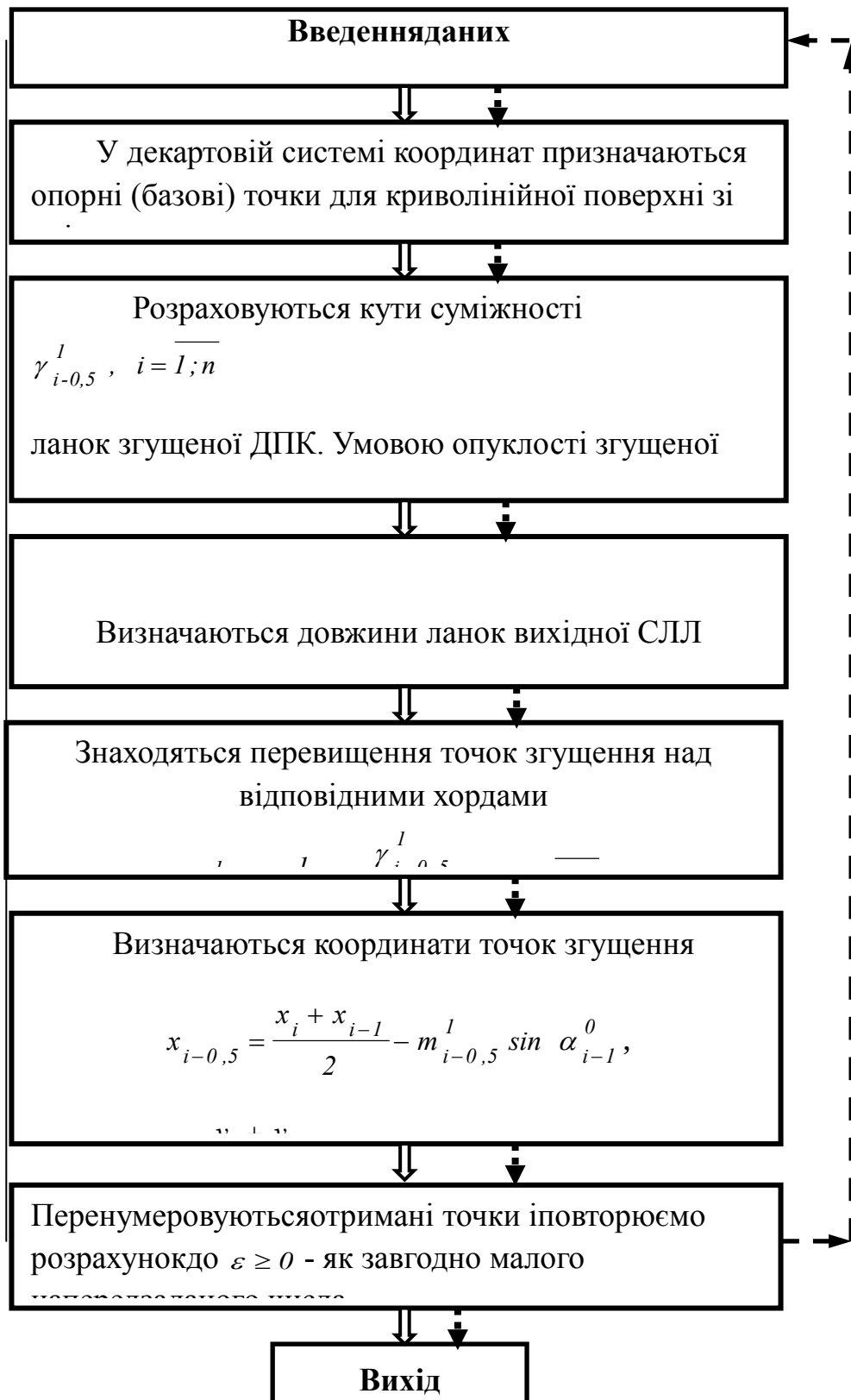


Рисунок 2.6.4.2 - Алгоритм згущення ДПК на основі серединних перпендикулярів

Переваги запропонованої схеми згущення неоднозначних ДПК полягають в наступному:

- В максимальному ступені використовуються геометричні параметри вихідної ДПК, оскільки в розрахунках беруть участь довжини ланок li , їх положення щодо осей координат (кути α_i) і взаємне розташування (кути γ_i);
- на параметри згущення і взаємне розташування точок не накладається ніяких додаткових обмежень, крім умови опуклості точок вихідної ДПК;
- розрахунки спираються на основну тотожність згущення (1), що мають дуже просту форму і великі можливості в накладенні додаткових умов;
- широка варіація початкових умов при однаковому дотриманні умов опуклості згущеної ДПК;
- схема легко реалізується простими геометричними побудовами;
- процес згущення можна провести локально з урахуванням кривизни вихідної ДПК, тобто на ділянках з більшою кривизною можна виконати більше кроків згущення в порівнянні з ділянками з меншою кривизною. При цьому, критерієм закінчення згущення на даній ділянці є досягнення для

перевищення $m_{i-0.5}^{(k)}$ (на k -му кроці згущення) значення $\left| m_{i-0.5}^{(k)} \right| \leq \varepsilon$, де $\varepsilon \geq 0$ – як завгодно мале наперед заданий число. Після досягнення цієї умови точки згущеної ДПК з'єднуються відрізками СЛЛ, яка і вважається остаточною формою інтерполюючої кривої. Для побудови довільної точки цієї кривої при $x = \bar{x}$ поступаємо наступним чином:

- визначаємо інтервал $x_p < \bar{x} < x_{p+1}$, в який вкладається задане значення $x = \bar{x}$
- розраховуємо значення ординати $\bar{y}$ точки згущення з умови її приналежності до ланки $[p, p + 1]$ СЛЛ згущеної ДПК

$$\bar{y} = \frac{y_{p+1} - y_p}{x_{p+1} - x_p} (\bar{x} - x_p) + y_p$$

Аналогічно розраховується абсциса $\bar{x}$ шуканої точки, якщо задана її ордината $y = \bar{y}$.

Розглянемо докладніше розрахунок кутів суміжності згущеної ДПК на підставі накладення додаткових співвідношень між кутами суміжності в тотожності. Можна запропонувати різні варіанти накладення додаткових умов на співвідношення кутів суміжності в тотожність (1).

Найпростіші з них є наступні:

- вибір γ_{min}^I мінімального із всіх можливих для того, щоб всі кути суміжності ланок в точках згущення прийняти рівним знайденому γ_{min}^I . При цьому

$$\gamma_{min}^I = \frac{1}{2} \gamma_{min}^0, \text{ де } \gamma_{min}^0 = \min (\gamma_i^0), \gamma_i^0 > 0 \quad (3.8.2)$$

- вибір γ_{cp}^I із умови

$$\gamma_{i-0,5cp}^1 = \frac{1}{2} \min(\gamma_{i-1}^0, \gamma_i^0), \quad i = \overline{2; n-1} \quad (3.8.3)$$

так що кут суміжності в точках згущення приймається рівним половині меншого з кутів суміжності ланок СЛЛ вихідної ДПК в сусідніх вузлах, що примикають до точки згущення.

Очевидно, що при такій організації обчислювального процесу жодне з рівнянь системи (3.8.4) не буде порушено, оскільки верхньою межею значення кута суміжності в вузловій точці, коли ще не можлива осциляція, є $\gamma_i^1 = 0$. Тоді $\gamma_{i-0,5}^1$ або $\gamma_{i+0,5}^1$ виявиться рівним γ_i^0 , що неможливо ні в (3.8.2), ні в (3.8.3). Отже, всі значення кутів суміжності СЛЛ згущеної ДПК будуть ненегативними, що гарантує відсутність її осциляції при побудові згущення як тим, так і іншим способом.

Для програмної реалізації запропонованого методу нами було застосовано мову програмування С# та КОМПАС-3D. Зв'язок С# з КОМПАС-3D реалізується за допомогою використання sdk бібліотек.

Для початку роботи з програмою необхідно задати початкові точки для подальшого обчислення, використовуючи поля вводу «X», «Y» і кнопку «Додати точку», після чого дані буде завантажено з файлу. Якщо дані уведено з помилкою, є можливість виправити або видалити їх використовуючи кнопки «Змінити виділену точку» і «Видалити точку» відповідно. Після того, як всі точки додано, необхідно задати кількість кроків згущення у відповідному полі і натиснути на кнопку «Провести згущення» (Рисунок 2.6.4.3 – 2.6.4.9).

На Рисунок 2.6.4.3. представлено головне вікно програми, яке розділене на 4 області.

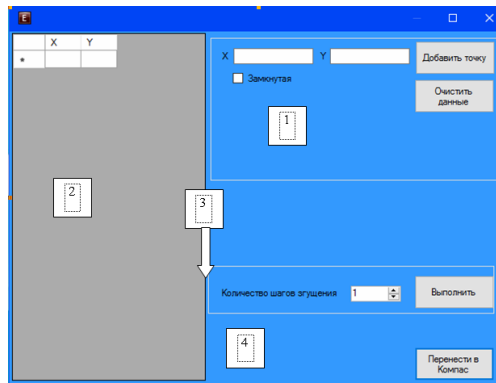


Рисунок 2.6.4.3. –Головне вікно програми

На Рисунок 2.8.4. представлено область 1 (див. Рисунок 2.6.4.3.) для введення зазначень основних точок ДПК. В цій області, ми можемо задати, основні координати точок, по осі X,Y, та, також, очистити поле додавання точок, від даних, ще в нас є функція «Замкнута» ми вказуємо її якщо ламана з'єднується.

Рисунок 2.6.4.4. Поле (1) для введення координат основних точок ДПК

На Рисунок 2.8.5. представлено поле (2) для виведення результатів розрахунків. В цьому полі, ми виводимо точки X,Y, і бачимо результати згущення, можливо вносити поправки.

Рисунок 2.6.4.5. Поле (2) для виведення розрахункових даних

В полі (3) (Рисунок 2.6.4.6.) зазначається кількість шагів згущення модельованої ДПК. В разі незадовільного результату запропонована програма дозволяє корегувати кількість шагів згущення.

Рисунок 2.6.4.6. Поле (3) для зазначення кількості шагів згущення

Після отримання результату, який задовольняє початковим вимогам, які висувалися до геометричної форми ДПК, переносимо його в САД систему КОМПАС 3D (Рисунок 2.6.4.7) для отримання контуру заданої форми для 3D моделювання заданої поверхні.

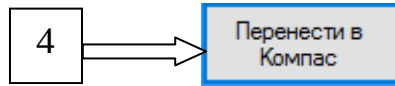


Рисунок 2.6.4.7. Поле (4) для перенесення отриманих значень координат точок моделюємої ДПК в CAD систему КОМПАС 3D

На Рисунок 2.8.8 представлено головне вікно програми розрахунку тестової ДПК. Для якої введені координати початкових точок, визначений тип дискретно поданої кривої (розімкнена чи замкнена) та зазначено кількість шагів згущення.

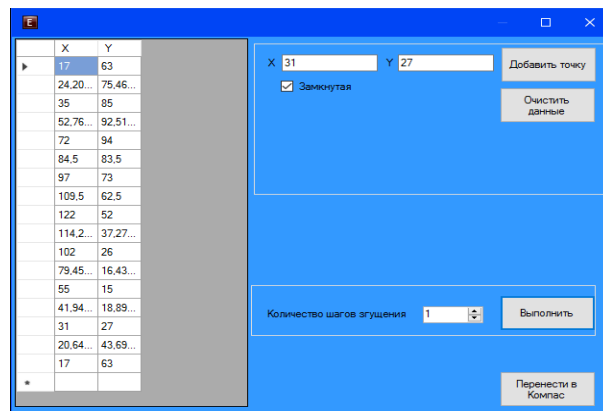


Рисунок 2.6.4.8. Виконаний розрахунок тестової ДПК

Для візуального представлення даних та подальшого комп'ютерного моделювання складних геометричних поверхонь отримані координати точок ДПК переносимо в КОМПАС-3D, використовуючи поле (4) головного вікна пропонованого програмного забезпечення (Рисунок 2.6.4.9.).

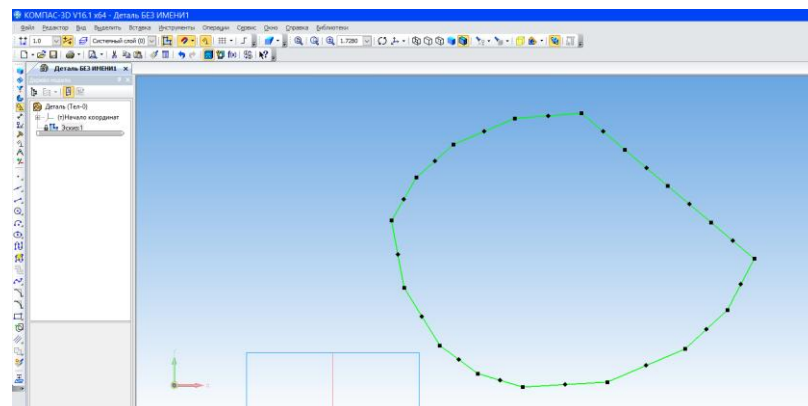


Рисунок 2.6.4.9 - Виконаний розрахунок тестової ДПК

Тут $\bar{\delta}_1, \bar{\delta}_2, \dots, \bar{\delta}_n$ – отримані згладжуванням значення $\delta_i^1 = (y_i - y_{i-1}) / h$, розрахованих точок для вихідної ДПК за одним із відомих методів (наприклад, ковзної середньої або диф-смути).

Цільова функція - критерій МНК має вигляд

$$\begin{aligned} & (y_1 - \bar{y}_0 - \bar{\delta}_1 \cdot h)^2 + [y_2 - \bar{y}_0 - (\bar{\delta}_1 + \bar{\delta}_2) \cdot h]^2 + \\ & + [y_3 - \bar{y}_0 - (\bar{\delta}_1 + \bar{\delta}_2 + \bar{\delta}_3) \cdot h]^2 + \dots + \\ & + [y_n - \bar{y}_0 - (\bar{\delta}_1 + \bar{\delta}_2 + \dots + \bar{\delta}_n) \cdot h]^2 = \min \end{aligned} \quad (3.9.3)$$

Диференціюємої за параметром $\bar{y}_0$. Остаточно маємо:

$$(y_1 + y_2 + \dots + y_n) - \bar{y}_0 \cdot n - [n \cdot \bar{\delta}_1 + (n-1) \bar{\delta}_2 + \dots + 2 \bar{\delta}_{n-1} + \bar{\delta}_n] \cdot h = 0 \quad (3.9.4)$$

Звідси визначається значення шуканого параметру

$$\bar{y}_0 = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n y_i - (n \cdot \bar{\delta}_1 + (n-1) \bar{\delta}_2 + \dots + \bar{\delta}_n) \cdot h \right] \quad (3.9.5)$$

Підставляємо значення $\bar{y}_0$ в систему (3.9.2), визначаємо ординати $\bar{y}_i$, шуканого точкового ряду апроксимуючої ДПК, їх відхилення від точок заданого ряду та суму $\sum_{i=1}^n \Delta_i^2$.

Більш достовірний результат можна отримати, якщо аналогічно (3.9.2) записати співвідношення з точністю до нескінченно малих другого порядку у вигляді:

$$\begin{aligned} \bar{y}_3 &= \bar{y}_1 + y_2' \cdot 2h; \\ \bar{y}_4 &= \bar{y}_2 + y_3' \cdot 2h; \\ \bar{y}_5 &= \bar{y}_1 + (y_2' + y_4') \cdot 2h; \\ \bar{y}_6 &= \bar{y}_2 + (y_3' + y_5') \cdot 2h; \quad \text{и т.д.} \end{aligned} \quad (3.9.6)$$

де параметрами виступають $\bar{y}_1$ та $\bar{y}_2$, а замість різниці виступають згладжені згідно за допомогою диф-смути значення перших похідних вихідних ДПК.

В цьому випадку критерії МНК залежать від двох параметрів, визначених з системи двох нормальних рівнянь, отриманих диференціюванням функції критерію по y_1 та y_2 .

За необхідністю уникнути осциляції апроксимуючої ДПК слід враховувати значення других різниць $\bar{\delta}_i^2 = \bar{y}_{i-1} - 2\bar{y}_i + \bar{y}_{i+1}$; $i = 2; n-1$, ординат її точок. Тоді

$$\begin{aligned}\bar{y}_3 &= 2\bar{y}_2 - \bar{y}_1 + \bar{\delta}_2^2; \\ \bar{y}_4 &= 3\bar{y}_2 - 2\bar{y}_1 + 2\bar{\delta}_2^2 + \bar{\delta}_3^2; \\ \bar{y}_5 &= 4\bar{y}_2 - 3\bar{y}_1 + 3\bar{\delta}_2^2 + 2\bar{\delta}_3^2 + \bar{\delta}_4^2; \quad \text{и т.д.}\end{aligned}\tag{3.9.7}$$

Тут параметрами виступають $\bar{y}_1$ та $\bar{y}_2$; другі різниці отримані згладжуванням аналогічних значень для вихідної ДПК.

Вочевидь, що продемонстровані уявлення апроксимуючої ДПК через різниці $\bar{\delta}_2^2$; $\bar{\delta}_3^2$; ... $\bar{\delta}_{n-1}^2$ або похідні можна продовжити для старших їх порядків.

Розглянуті уявлення мають узагальнюючий характер і включають як окремий випадок відомі апроксимуючі функції.

Зокрема, для прямої лінії $\bar{\delta}_i^1 = \hat{n}inst$, функція (3.9.3) залежить від двох параметрів $(\bar{y}_0, \delta^1)$, визначених з системи двох нормальних рівнянь, отриманих диференціюванням функції-критерію за $\bar{y}_0$ та δ^1 . У цьому випадку виходить єдина МНК-пряма.

Цю ж пряму лінію можна отримати застосовуючи систему (3.9.7) при $\bar{\delta}_i^2 = \hat{n}inst = 0$.

Якщо $\bar{\delta}_i^2 = \hat{n}inst = \delta^2$, то функція критерію стає залежною від трьох параметрів $\bar{y}_1$, $\bar{y}_2$ та δ^2 , які визначають МНК-параболу другого порядку. Слід зауважити, що отримані в цих випадках значення критерію будуть гіршими, ніж отримані за допомогою систем (3.9.2) або (3.9.7), де згладжені значення краще відповідають геометрії вихідної ДПК.

2.6.6 Формування геометричних характеристик монотонної кривої лінії

Розглянемо криву лінію l траєкторію руху точки M , що належить нормальній площині N , яка обкочує полярний торс, ребро повернення якого – крива правого ходу [54] (див. Рисунок 2.6.6.1). Геометричні характеристики кривої l визначаються характеристиками ребра повернення полярного торсу,

напрямок обкатування торсу площиною N і розташуванням точки M до площини. На Рисунок 2.6.6.2 зображено момент, коли площина N стосується полярного торсу по прямої f – дотичній ребра повернення в деякій точці F . Напрямок руху точки F уздовж ребра повернення визначається напрямком обкатування полярного торсу площиною N . Ребро повернення поділяє полярний торс на дві порожнини, які сформовані напівдотичними позитивного і негативного напрямків відповідно. Напівдотичною позитивного спрямування будемо вважати половину прямої f , в напрямку якої спрямований вектор швидкості точки F .

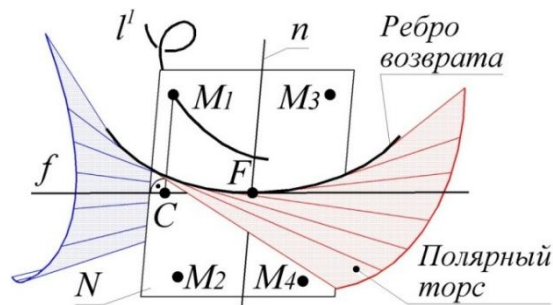


Рисунок 2.6.6.1 - Формування монотонної кривої лінії

Проведемо в площині N пряму n , яка перетинає дотичну f під прямим кутом в точці F . Прямі f і n поділяють площину N на чотири частини. У кожній чверті призначимо точку M^1, M^2, M^3, M^4 і визначимо геометричні характеристики кривих ліній l^1, l^2, l^3, l^4 , які є траєкторіями руху цих точок. Механізм формування характеристик кривої розглянемо на прикладі лінії l^1 .

Нехай площина N переміщається таким чином, що її чверть, в якій розташована точка M^1 (перша чверть) накочується на порожнину полярного торса, яка сформована напівдотичними позитивного напрямку. Це означає, що на торс також накочується четверта чверть площині N , а друга і третя чверті скочуються з нього.

Для кривої l пряма f є віссю кривини, а точка F - центром дотичної сфери (ССФ) в точці M . Головна нормаль проходить через точку M перпендикулярно осі кривизни і перетинається з нею в центрі дотичної кола (СО) - точці C .

Накочення першої чверті площині N на полярний торс означає, що уздовж траєкторії руху точки M^1 значення радіусів кривизни (відстань $|C, M|$) монотонно зменшуються. Динаміка зміни уздовж кривої l радіусів дотичних сфер визначається розташуванням точки M відносно прямої n . Для кривої l^1 механізм формування радіусів дотичних сфер показаний на Рисунок 2.6.6.3.

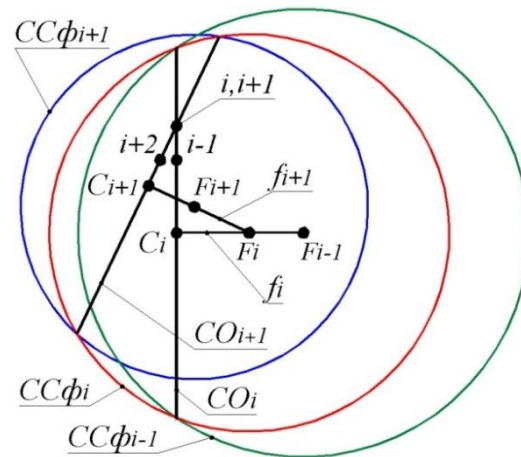


Рисунок 2.6.6.3. Формування геометричних характеристик кривої лінії

$CC\phi_i$, яка визначається максимально близькими точками $i-1, i, i+1, i+2$, зображена таким чином, напрям зору направлено вздовж дотичної прямої $t_i \equiv (i, i+1)$

Дотичні кола - CO_i (визначаються точками $i-1, i, i+1$) і $CO_{i+1}(i, i+1, i+2)$ будемо вважати розташованими на $CC\phi_i$. Ці кола отримуємо в перетині $CC\phi_{i-1}$ -й та $i+1$ -й дотичними площинами - $СП_i$ та $СП_{i+1}$, відповідно. Центр $CC\phi_i$ - точка F_i . Це точка перетину осей кривизни, що проходять через центри кривизни C_i та C_{i+1} . $CC\phi_{i-1}$ визначається CO_i і нескінченно близької точкою $i-2$, розташованою на кривій l за межами $CC\phi_i$.

Центр $CC\phi_{i-1}$ - точка F_{i-1} , належить осі кривизни (C_i, F_i) . При цьому $|C_i, F_i| < |C_i, F_{i-1}|$. Дотичне коло CO_{i-1} , яке визначається точками $i-2, i-1, i$, отримуємо в перетині $CC\phi_{i-1}$ та $СП_{i-1}$. При цьому $СП_{i-1}$ перетинає відрізок $[C_i, F_{i-1}]$. Таким чином, послідовні дотичні кола визначають дотичну сферу, а послідовні дотичні сфери перетинаються по дотичні кола.

Ось кривизни f_i представлена як пряма, що проходить через нескінченно близькі точки F_{i-1} та F_i , які належать ребру повернення полярного торса. Дотичні сфери з центрами в цих точках перетинаються по дотичної кола з центром в точці C_i . Співвідношення $|C_i, F_{i-1}| > |C_i, F_i|$ означає спадання радіусів дотичних сфер уздовж l^1 . Розташування наступних нескінченно близьких точок $i-3, i+4, \dots$ за межами попередньої дотичної сфери забезпечує монотонну зміну значень радіусів дотичних сфер і кіл:

$$\dots < R_{CC\phi_{i+1}} < R_{CC\phi_i} < R_{CC\phi_{i-1}} < \dots,$$

$$\dots < R_{CO_{i+1}} < R_{CO_i} < R_{CO_{i-1}} < \dots$$

Ця закономірність визначається взаємним положенням послідовних CO_i та $CC\phi_i$, аналогічним показаному на рисунку 3.10.3.. Крива лінії постійного ходу, вздовж якої радіуси дотичних кіл і сфер зростають в одному напрямку, розташована за межами її дотичних сфер.

Розглянемо вісь кривизни f як пряму, яка обкочує ребро повернення полярного торса, а центр дотичної сфери F як точку, що переміщається по прямій f . Разом з точкою F уздовж осі кривизни переміщається і пряма n (див. Рисунок 3.10.2). Тоді точки площини N , в напрямку яких переміщається пряма n , в даний момент переміщуються по кривій, уздовж якої радіуси дотичних сфер монотонно зменшуються.

Хід кривої l визначається ходом ребра повернення її полярного торса і розташуванням в нормальній площині N точки M .

На Рисунок 2.10.3 нескінченно близькі осі кривизни f і f_{i+1} представлені як прямі, що перетинаються в центрі F_i та торкаються сфери. Тоді, при впливі нормальної площини на полярний торс, головна нормаль n_i кривої l^1 , перпендикулярна осі кривизни f_i , обертається відносно дотичної до кривої в точці M_i прагнучи зайняти положення n_{i+1} . При цьому центр кривизни C_i віддаляється від точки F_i , що належить ребру повернення.

Розглянута схема показує, що точка M , розташована в чверті площини N , яка накочується на порожнину полярного торсу, утворену напівдотичними позитивного напрямку, переміщується по кривій l , хід якої збігається з ходом ребра повернення її полярного торсу. З цього випливає, що l^1 і l^3 – криві правого ходу, а l^2 , l^4 – криві лівого ходу.

Аналогічний аналіз параметрів, що визначають переміщення точок M^2 , M^3 , M^4 дозволяє встановити характеристики відповідних кривих ліній: l^1 (п, $R : <, R_{cf} : <$) – крива правого ходу, вздовж якої радіуси кривини (R) і дотичних сфер (R_{cf}) зменшуються; l^2 (л, $R : >, R_{cf} : <$) – крива лівого ходу, вздовж якої радіуси дотичних кіл зростають, а радіуси дотичних сфер зменшуються; l^3 (п, $R : >, R_{cf} : >$) – крива правого ходу, вздовж якої радіуси дотичних кіл і сфер зростають; l^4 (л, $R : <, R_{cf} : >$) – крива лівого ходу, вздовж якої радіуси дотичних кіл зменшуються, а радіуси дотичних сфер зростають.

Якщо напрямок обкатування полярного торса поміняти на протилежний, то точки M будуть переміщатися по тим же траєкторіям, але в зворотному напрямку. Хід відповідних кривих ліній залишиться тим же, а динаміка зміни радіусів дотичних кіл і сфер зміниться на протилежну. Отже, точка M^1 перетворюється в M^3 (при реверсному обкатуванні рухається по кривій з характеристиками l^3), M^3 – в M^1 , M^2 – в M^4 , M^4 – в M^2 .

Аналіз закономірностей розташування дотичних кіл і сфер уздовж кривої l^2 (l^4) показав, що лінія постійного ходу, вздовж якої радіуси дотичних кіл і сфер зростають в різних напрямках розташована всередині своїх дотичних сфер.

Полярний торс, ребро повернення якого, крива ліній лівого ходу, визначає інші чотири варіанти поєднань геометричних характеристик кривих

ліній: l^5 (л, $R:<,R_{cf} : <$), l^6 (п, $R:>,R_{cf} : <$), l^7 (л, $R:>, R_{cf} : >$), l^8 (п, $R:<,R_{cf} : >$).

Таким чином, існує вісім різних варіантів поєднань напрямку зростання радіусів кривини, радіусів дотичних сфер і ходу уздовж монотонних кривих.

Всі варіанти можна визначити трьома параметрами:

- напрямок ходу ребра повернення полярного торса кривої;
- напрямок обкатування полярного торса нормальною площиною кривої;
- розташування в нормальній площині точки, яка описує при своєму русі монотонну криву.

Окремим випадком монотонної кривої, уздовж якої радіуси дотичних кіл і сфер зростають в одному напрямку (l^1, l^3, l^5, l^7) будемо вважати криву постійної кривини. Крива постійної кривини розташована за межами своїх дотичних сфер, а її лінія центрів кривини збігається з ребром повернення полярного торса.

Окремим випадком монотонної кривої, уздовж якої радіуси дотичних кіл і сфер зростають в різних напрямках (l^2, l^4, l^6, l^8) будемо вважати сферичну криву лінію. Будь-яку криву можна розглядати як ту, що складається з ділянок монотонних кривих, зістикованих в особливих точках. До особливих точок першої групи віднесемо точки стикування монотонних кривих, визначених одним полярним торсом. Це можуть бути точки нульового радіуса кривини або точки, в яких центр кривини збігається з центром дотичної сфери. До другої групи віднесемо точки стикування монотонних кривих, визначених різними полярними торсами. Полярні торси ($ПТ_1$ і $ПТ_2$) є дотичними по осі кривини, що відповідає такій особливій точці (див. Рисунок 2.2.6.6.4).

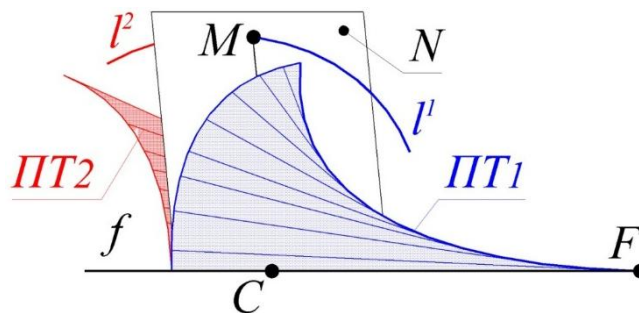


Рисунок 2.2.6.6.4.Формування особливої точки просторової кривої лінії

2.6.7Розв'язання позиційних задач методами варіативного дискретного моделювання

Нехай ДПК задана в вихідній декартовій системі координат координатами точок, що їй належать. Визначимо точку перетину ДПК з

довільної прямої l [55]. Для вирішення поставленого завдання визначаються точки перетину прямої l з межами області можливого розташування кривої, яка визначається виходячи з умов, що накладаються на криву (відсутність осциляції, другий порядок гладкості, монотонне змінювання радіусів кривини уздовж кривої). Відрізок прямої, обмежений отриманими точками, визначає діапазон можливого розташування шуканої точки (точки Q). У процесі послідовних згущень цей діапазон зменшується. Якщо величина діапазону менше заданого значення, то положення точки Q призначається по центру діапазону. Ділянка, на якій ДПК перетинається з прямою l , визначається хордою вихідної супроводжуючої ламаної лінії (СЛЛ), яку перетинає ця пряма. Нехай l перетинає хорду $[i; i+1]$ в точці L (Рисунок 2.11.1). Точку L будемо розглядати як точку перетину прямої і ДПК у першому наближенні.

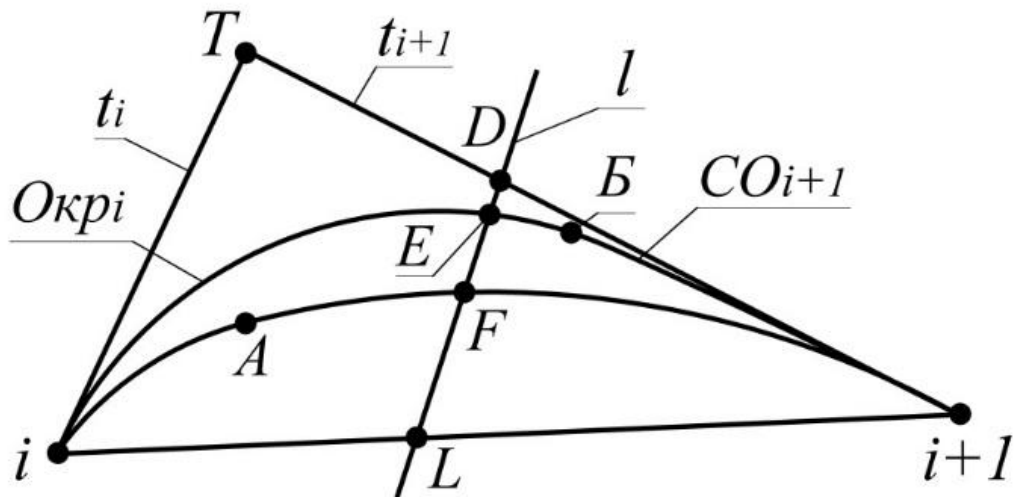


Рисунок 2.6.7.1

Так як на криву накладається умова відсутності осциляції, то формується крива на ділянці $i \dots i+1$ розташовується всередині базисного трикутника (BT) $(i; T; i+1)$. Базисний трикутник обмежений дотичними, що проходять через сусідні точки ДПК (t_i та t_{i+1}) і хордою, що сполучає ці точки $[i; i+1]$. Точка Q розташована всередині відрізка, обмеженого точками перетину прямої l зі сторонами BT .

Нехай пряма l перетинає сторону $BT|T; i+1|$ в точці D . Відрізок $[L; D]$ є діапазоном можливого розташування точки перетину прямої з ДПК. Якщо величина відрізка $[L; D]$ перевищує задану точність визначення точки Q , то діапазон уточнюється виходячи з умови монотонної зміни радіусів кривини уздовж ДПК. Уточнений діапазон розташування точки Q обмежений точками перетину прямої з верхньою і нижньою межами області розташування ДПК (E і F). Область розташування кривої обмежена

коробовим лініями кіл:

- нижня межа складається з дуги $i - A$ дотичного кола в точці i (CO_i) і дуги $A - i + 1$ кола, дотичній з t_{i+1} в точці $i + 1$ із CO_i ;
- верхня межа складається з дуги $B - i + 1$ дотичної до кола в точці $i + 1$ (CO_{i+1}) і дуги кола, дотичної з t_i в точці i з CO_{i+1} .

Величина діапазону розташування точки перетину прямої l і ДПК визначається довжиною відрізка $[E; F]$. У процесі послідовних згущень діапазон $[E; F]$ зменшується. При досягненні діапазону, величина якого менше заданої точності рішення задачі, точка Q призначається по його центру.

Розглянемо задачу визначення положення прямої, дотичної до ДПК в довільній точці. Можливі такі варіанти постановки задачі:

- дотична проходить через задану точку, що не належить ДПК;
- дотична до ДПК паралельна заданій прямій.

В якості попереднього положення дотичної до ДПК (t_p), яка проходить через задану точку $P(x_p; y_p)$, призначається пряма, яка визначається точкою P і точкою вихідного ряду таким чином, що всі інші точки ДПК розташовуються по одну сторону від призначеного положення t_p (Рисунок 2. 6.7.2, а).

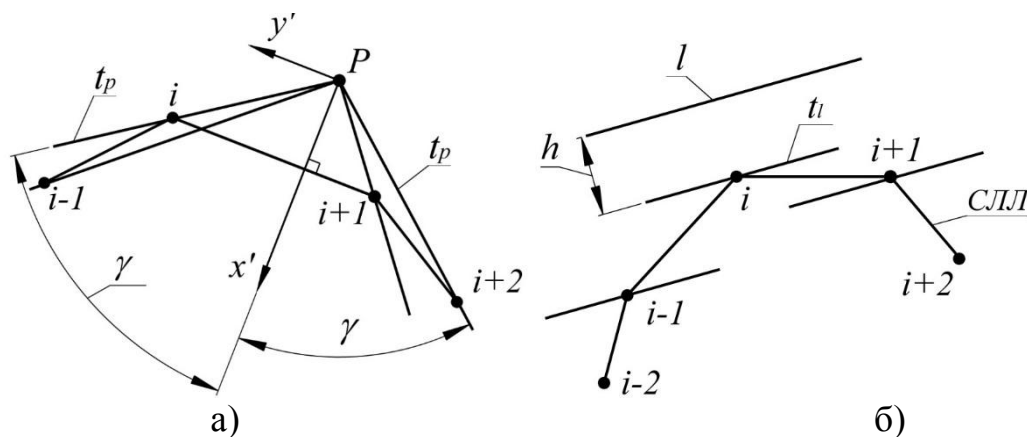


Рисунок 2.6.7.2

Для визначення попереднього положення t_p пропонується наступна схема:

- призначається локальна система координат, початок якої збігається з точкою P , а вісь абсцис Px' направлена перпендикулярно одному з ланок вихідної слл, наприклад $[i; i + 1]$;
- у зазначеній системі координат попереднє положення t_p - це пряма, що

проходять через точку P і вихідні точки ДПК таким чином, щоб кути між призначеними положеннями t_p і віссю Px' були максимальними. Якщо пряма l не перетинає ДПК, то попереднє положення дотичної до ДПК (t_l) - пряма, паралельна l і проходить через найближче розташовану до неї вихідну точку ДПК, в іншому випадку - найбільш віддалену точку від прямої l . У процесі послідовних згущень положення дотичної до ДПК уточнюється виходячи з положень точок згущення, призначених на попередній та наступній ділянці ДПК відгосно попередньої точки дотику (i). Похибка, з якої призначене положення t_p представляє дотичну до ДПК (δ_p), оцінюється величиною кута між t_p і прямою, що проходить через точку P і дотичній з верхньою межею області можливого розташування ДПК на ділянці (на Рисунок 2.11.1 це коробова лінія $i - B - i + 1$). Аналогічно, похибка, з якою призначена пряма t_l представляє дотичну до ДПК (δ_l), оцінюється відстанню між t_l і прямою, паралельною l і дотичною з верхньою межею області розташування ДПК на ділянці. Положення дотичній до ДПК будемо вважати певним в разі, якщо величина δ_p або δ_l не перевищує заданої величини.

2.6.8 Інформаційна технологія проектування та виготовлення робочих коліс турбокомпресора

Основна вимога до поверхонь виробів, що взаємодіють із середовищем, - забезпечення заданого характеру їх обтікання середовищем [56]. Функціональні якості поверхні забезпечуються її геометричними характеристиками. Ламінарний характер обтікання поверхонь можна забезпечити за рахунок монотонної зміни значень кривини, кручення, радіусів дотичних сфер уздовж ліній, що входять в визначник поверхні. Лінійні елементи моделі формуються на основі точкових рядів, які є підмножинами вихідного масиву точок. Вихідними даними для формування кривої є точковий ряд і її геометричні властивості: закономірна зміна диференційно-геометричних характеристик уздовж кривої. Таку криву будемо називати дискретно представленою кривою (ДПК). Вихідний точковий ряд розбивається на ділянки, які можливо інтерполювати ДПК постійного ходу, вздовж якої радіуси кривини і дотичних сфер монотонно змінюються. Такі ділянки кривих будемо називати монотонними. Розглянемо точковий ряд, розташований на монотонній кривій лінії l . Кожні чотири послідовні точки визначають сферу - $S\phi_i(i-1, i, i+1, i+2)$ (Рисунок 2.12.1).

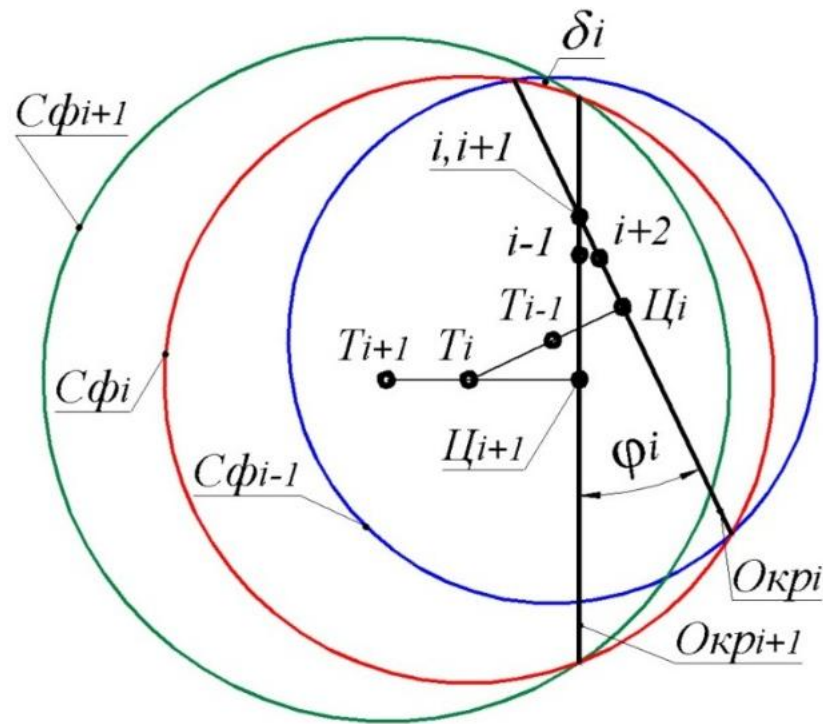


Рисунок 2.6.8.1. Загальна схема формування характеристик просторової кривої лінії

На Рисунок 2.6.8.1 крива l розташована таким чином, що погляд спостерігача спрямований уздовж прямої $(i, i+1)$. Контури $C\phi_{i-1}, C\phi_i, C\phi_{i+1}$ - кола максимального радіуса, розташовані в площині P_i , що проходять перпендикулярно хорді $[i, i+1]$ через її середину. Послідовні $C\phi_{i-1}, C\phi_i, C\phi_{i+1}$ обмежують область (δ_i) , всередині якої розташована ділянка $i-i+1$ кривої l . На Рисунок 3.12.1 показано перетин δ_i площиною P_i . Монотонні ділянки ДПК формуються призначенням точок згущення всередині області можливого, за умовами завдання, вирішення δ_i . Аналогічні області, визначені на інших ділянках, складають область можливого розташування ДПК. Всі криві лінії, які інтерполюють точковий ряд, а характеристики яких відповідають характеристикам l , знаходяться всередині цієї області. У разі формування плоскої ДПК монотонною будемо називати ділянку гладкої кривої, уздовж якої значення радіусів кривини монотонно зростають або зменшуються. Крива формується всередині ланцюжка базисних трикутників (БТ), обмежених дотичними, що проходять через сусідні точки, і хордами, що з'єднують ці точки. Після призначення точки згущення (i_{c2}) і дотичної в цій точці (t_{c2}) всередині вихідного БТ виходить два нових трикутника (Рисунок 2.6.8.2). Положення дотичних призначається таким чином, щоб параметри послідовних БТ забезпечували можливість інтерполяції точкового ряду монотонної кривої.

Напрямні лінії каркасу сформовані на основі точкових рядів, розташованих на ступиці і кромці лопатки. На основі вихідного точкового ряду сформовані просторові ДПК правого ходу, вздовж яких, радіуси дотичних сфер і кіл монотонно збільшуються. Отримані ДПК інтерпольовані неоднорідним неперіодичним кубічним В-сплайном. Для запобігання виникнення вторинних потоків всередині міжлопаткового каналу виконано коригування графіка зміни площ нормальних перетинів. Коригування забезпечує монотонне зменшення площ нормальних перетинів уздовж осьової лінії міжлопаткового каналу. Коригування проводилася за рахунок зміни твірних ліній поверхонь маточини робочого колеса і кришки турбокомпресора. Після створення геометричної моделі виконано газодинамічний аналіз міжлопаткового каналу. Аналіз проводився за допомогою модуля SolidWorks Flow Simulation і показав монотонне зростання тиску уздовж каналу (Рисунок 2.6.8.4).

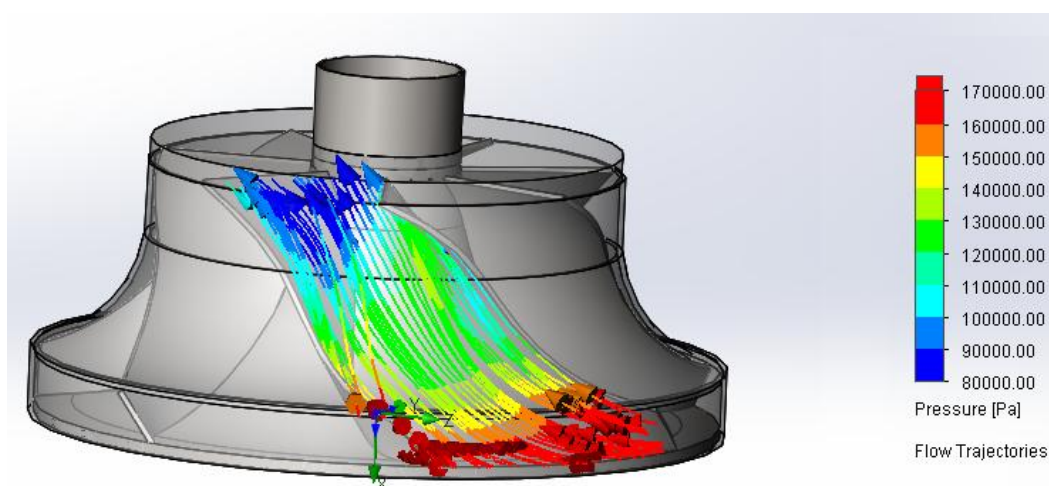


Рисунок 2.6.8.4. Динаміка зміни тиску у внутрішньому потоку в міжлопатковому каналі після оптимізації

озроблена технологія передбачає створення, на основі тривимірної комп'ютерної моделі виробу, програми для обробки його поверхонь на верстатах з ЧПК. Тривимірна модель виробу, створена в CAD – системі (SolidWorks), імпортується в CAM – систему (PowerMill). Імпорт моделі здійснюється за допомогою прямих трансляторів через нейтральні формати, які передають дані про поверхні, що обмежують виріб. Керуюча програма для обробки виробу на верстаті з ЧПК створюється з допомогою стандартних функцій CAM – системи. Модель робочого колеса розбита на складові частини: маточину, ободи, лопатки. Розбиття виконується методом створення шарів. Кожен шар містить одну із складових частин колеса, що дозволяє генерувати окремі частини траєкторії обробки. Після вибору форми заготовки (циліндр діаметром 300 мм і висотою 150 мм), у системі PowerMill призначена траєкторія для чорнової обробки - «вибірка 3D моделі» (Рисунок

2.12.5). Траєкторія чорнової обробки забезпечує виготовлення заготовки деталі із заданим припуском.

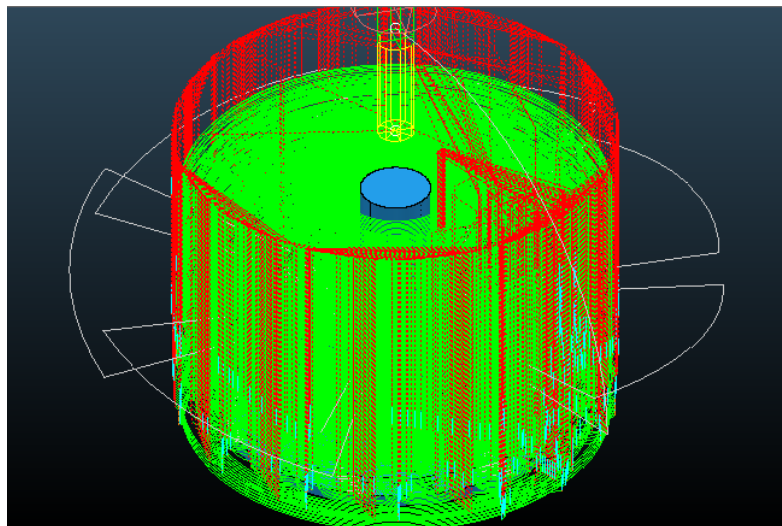


Рисунок 2.12.5. Траєкторія чорнової обробки

Напівчистова обробка деталі проектується з використанням траєкторії «вибірка моно колеса», яка забезпечує припуск 0,12 мм. Чистова обробка деталі забезпечує максимальну абсолютну похибку виготовлення поверхонь лопаток і маточини що не перевищує $6 \cdot 10^{-3}$ мм. Траєкторія чистової обробки лопаток і маточини представлені на Рисунок 3.12.6.

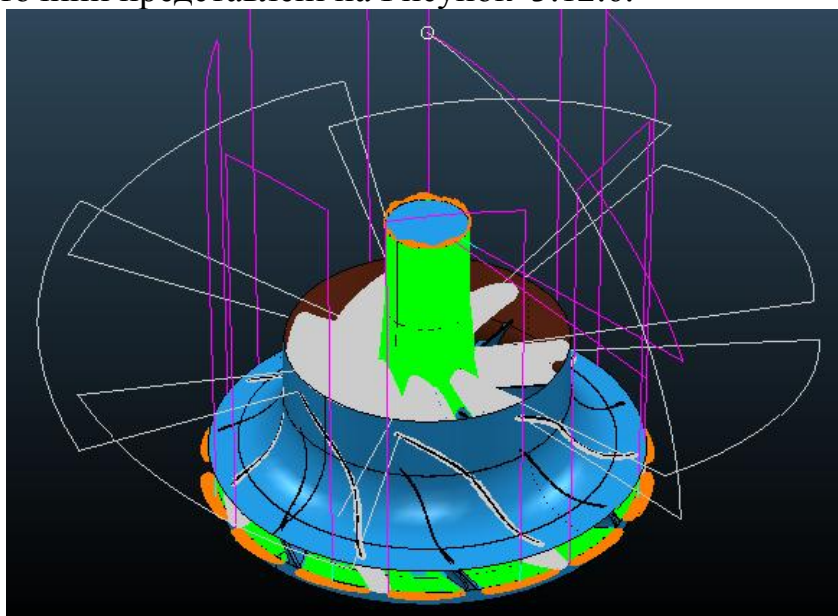


Рисунок 2.12.6. Траєкторія чистової обробки

Пропонована технологія виготовлення робочого колеса турбокомпресора розроблена для підприємства ТОВ «Мелітопольський завод

турбокомпресорів» для виготовлення автотракторних турбокомпресорів двигунів вітчизняного та імпорного виробництва. Спеціальний модуль САМ - системи дозволяє виконувати постпроцесування керуючої програми в коді верстата, на якому обробляється деталь. Поверхня робочого колеса турбокомпресора обробляється на п'ятикоординатному верстаті моделі DMU50v, кінематична схема якого враховується при написанні керуючої програми. Керуюча програма передається на верстат з ЧПК. Обробка виконується в автоматичному режимі при мінімальному втручанні оператора. На Рисунок 3.12.7 показаний момент обробки робочого колеса турбокомпресора.



Рисунок 2.12.7. Робоче колесо, яке отримується в результаті обробки

Після виготовлення робочого колеса виконується складання турбокомпресора та його випробування на стенді типу «замкнений контур» (Рисунок 2.12.8).



Рисунок 2.12.8. Стенд для проведення випробувань турбокомпресора

Стенд випробувань турбокомпресорів є установкою для моделювання різних режимів роботи турбокомпресора, відповідних режимам його роботи на двигуні. Безмоторні випробування турбокомпресорів наддуву двигунів внутрішнього згоряння дозволяють визначити функціональні характеристики турбокомпресора. В ході випробування турбокомпресора при тиску потоку на вході 0,8 атм. на виході було отримано 1,67 атм. Заключним етапом підготовки до виготовлення робочого колеса є виготовлення його ливарної форми. Деталь робочого колеса, виготовлена на верстаті з ЧПК, використовується для виготовлення «зворотної» моделі з двокомпонентного силікону. Ливарна майстер-модель робочого колеса отримана на основі «зворотного» моделі, виготовленої із силікону, шляхом формування з гіпсу, показана на Рисунок 2.12.9.

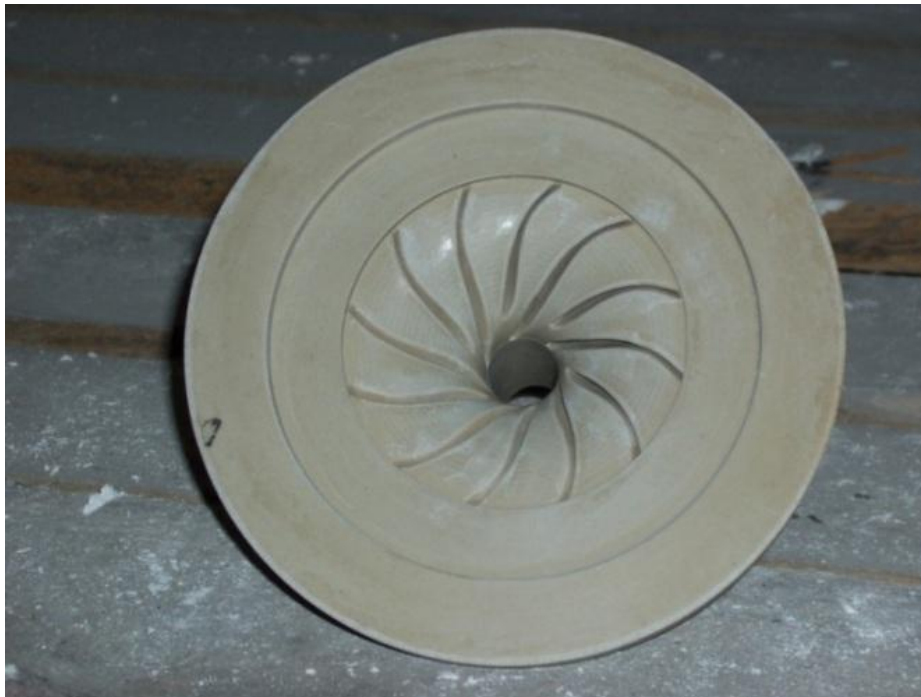


Рисунок 2.12.9. Ливарна форма робочого колеса

2.6.9 Автоматизація процесу виготовлення різального інструменту для деревообробних верстатів

На снові пропонованої тривимірної моделі деталі необхідно [57]:

- розробити технологічний процес виготовлення деталі;
- створити управляючу програму для верстату з ЧПУ.

Подальші дослідження будемо розглядати на прикладі автоматизації процесу виготовлення ріжучого ножа фрези для деревообробних верстатів [13].

Розробку технологічного процесу виготовлення пропонованої деталі доцільно виконувати із застосуванням програмного продукту «ВЕРТИКАЛЬ-Технологія» з використанням дерева конструкторсько-технологічних елементів (КТЕ), оскільки цей програмний продукт використовується практично на всіх підприємствах м. Мелітополя, оскільки всі наукові розробки ТДАТУ направлені, наперед, для розвитку підприємств міста.

ВЕРТИКАЛЬ – система автоматизованого проектування технологічних процесів нового покоління, призначена для автоматизації процесів технологічної підготовки виробництва. У системі реалізований якісно новий підхід до організації даних про технологічні процеси, що базується на об'єктній моделі подання й обробки інформації. КТЕ поєднують у собі конструкторську та технологічну інформацію про елементи, з яких складається деталь [3]. Було виділено наступні сполучення КТЕ:

- поверхня правового торця (поверхні, які потрібно обробити зі сторони лівого торця);
- поверхні лівого торця (поверхні, які потрібно обробити зі сторони лівого торця);
- поверхні по контуру та отвори.

Поверхні, які потрібно обробити зі сторони правого торця наведені на рисунку 3.13.1а. Ці поверхні, позначені червоним кольором. На рисунку 3.13.1б червоним кольором показані поверхні, які потрібно обробити зі сторони лівого торця деталі.

Пакет ВЕРТИКАЛЬ-Технологія є зручним засобом для швидкого створення ТП, він має свої довідники, що містять повну інформацію про операції, технічні характеристики верстатів, інструменти тощо. Крім того Вертикаль-Технологія має зручну розрахункову систему. На рисунку 1 відображено поверхні, які потрібно обробити з правого (Рисунок 2.13.1а) та лівого (Рисунок 2.13.1б) торців.

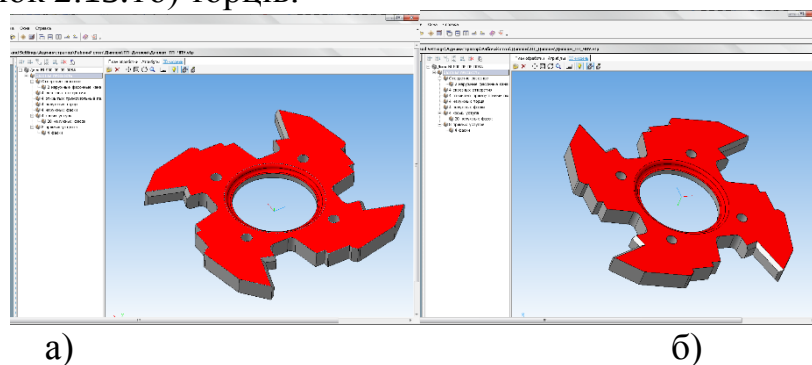


Рисунок 2.13.1 - Поверхні, що потрібно обробити із торців

Маршрутна карта призначена для опису технологічного процесу (ТП) виготовлення деталі в технологічній послідовності виконання операцій. Карта ескізів пояснює зміст текстового технологічного документа. Операційна карта необхідна для опису технологічної операції з указаною послідовністю виконання переходів та даних про засоби технологічного оснащення, режимах.

Подальшим етапом технологічної підготовки виробництва є розробка керуючої програми на основі застосування 3D моделі деталі.

Тривимірна модель деталі «Ріжучий ніж» створена в КОМПАС 3D V10 та імпортована у пакет PowerMill за допомогою допоміжного модулю Exchange581002, який входить до складу пакету PowerMill та формату IGES.

Для виготовлення деталі використовується лита заготовка, припуск матеріалу складає 5 мм. Тривимірна модель заготовки була розроблена у PowerMill, за допомогою завдання границі деталі (Рисунок 2.13.2).

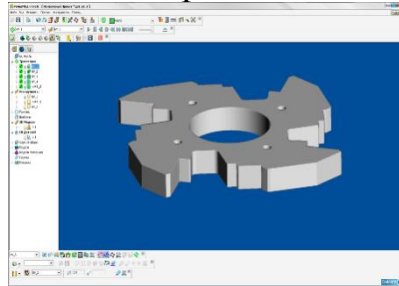


Рисунок 2.13.2 – Лита заготовка

Модуль ViewMill, який входить до складу пакету PowerMill надає можливість візуально оцінити результати обробки деталі, щоб запобігти браку при виготовленні деталі на верстаті з ЧПУ.

Створення стратегій обробки поверхонь деталі проводилося на основі раніше розробленого технологічного процесу.

Відповідно до першої операції за технологічним необхідно фрезерувати поверхню деталі. Для чистової обробки була обрана стратегія «3D Зміщення» та створена кінцева фреза діаметром 100 мм.

Швидкість обертання шпинделю становить 1000 об/хв, робоча подача дорівнює 1500 мм/хв. Час обробки складає 6 хвилин 23 секунди (Рисунок 2.13.3).

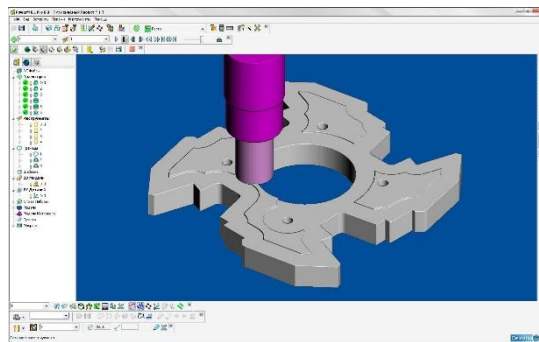


Рисунок 2.13.3 - Вікно обробки поверхні виробу

Центральний отвір оброблюється траєкторією «3D Зміщення» за допомогою кінцевої фрези діаметром 5 мм. Швидкість обертання шпинделю 1500 об/хв та робоча подача 2000 мм/хв. Час обробки дорівнює 57 хвилин 8 секунд.

Для фрезерування деталі по контуру була обрана стратегія «3D Зміщення». Використані наступні параметри: кінцева фреза діаметром 5 мм,

швидкість обертання шпинделю 1500 об/хв та робоча подача 2000 мм/хв. Час обробки дорівнює 2 години 13 хвилин 36 секунд.

Для обробки фасонної канавки використовується сферична фреза діаметром 1,5 мм, та обирається стратегія «З постійною Z». Робоча подача дорівнює 2000 мм/хв. Швидкість обертання шпинделю становить 1500 об/хв. Час обробки складає 23 хвилини 36 секунд.

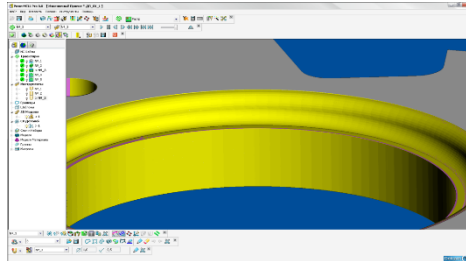


Рисунок 2.13.4 – Копія екрану обробки фасонної канавки

Для чотирьох отворів на прохід обрана стратегія «Сверління». Безпосередньо перед обробкою отвори необхідно розпізнати. У пакеті PowerMill був створений інструмент – свердло діаметром 36 мм. Швидкість обертання шпинделю становить 1500 об/хв, робоча подача дорівнює 2000 мм/хв. Час обробки складає 46 секунд.

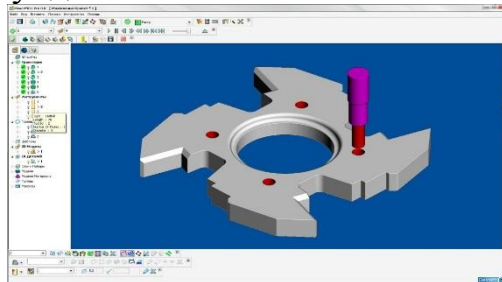


Рисунок 2.13.5 – Копія екрану обробки стратегії «Сверління»

Стратегія «З постійною Z» була використана для зняття фасок рисунок 15. Діаметр кінцевої фрези дорівнює 5 мм, швидкість обертання шпинделю – 1500 об/хв, робоча подача – 2000 мм/хв. Час обробки складає 1 годину 52 хвилини 34 секунди.

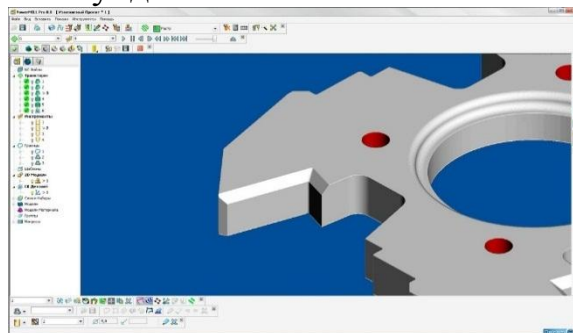


Рисунок 2.12.6 – Копія екрану обробки фасок

«Ріжучий ніж» необхідно оброблювати з обох сторін, то доцільним є створення нового проекту і системи координат.

Оскільки в першому проекті була оброблена основна частина деталі, то з іншої сторони залишається обробити поверхню «Ріжучого ножу», фасонну канавку та зняти фаски. Стратегії та інструменти використовуються ті ж що і в першому проекті. Загальний час обробки деталі з обох боків дорівнює 8 годин 10 хвилин 30 секунд. Кінцевий результат представлений на рисунку 7.

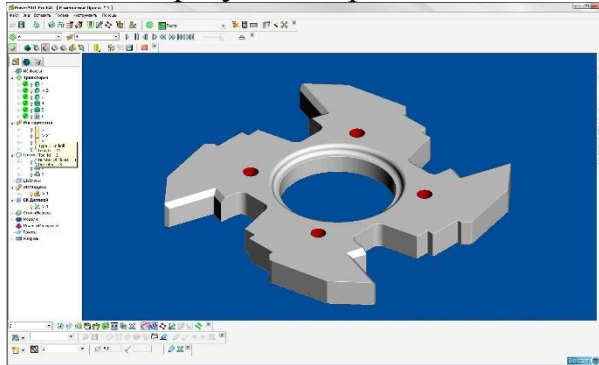


Рисунок 2.13.7 – Кінцевий результат обробки деталі «Ріжучий ніж»

Останнім етапом є створення керуючої програми (файл який містить в собі код керуючої програми, зрозумілий верстату) для пристрою числового програмного управління верстата. Пакет PowerMill дозволяє створити NC-файл в автоматичному режимі. Для цього в склад пакету входить модуль постпроцесування DuctPost1510 та набір постпроцесорів. Постпроцесор дозволяє перетворити дані про положення різального інструменту, що розраховане в САМ-системі у коди конкретного верстата з урахуванням особливостей його кінематики.

За допомогою модулю DuctPost1510 були генеровані керуючі програми для кожної стратегії обробки деталі. Кожній керуючій програмі відповідає свій NC-файл.

2.6.10 Початкові відомості про програмування обробки деталей на верстатах з ЧПУ токарної групи

Управляюча програма (УП) обробки деталі складається з послідовності кадрів [58]

Положення та напрямки осей координат верстата визначаються за правилом «Правої руки». Нуль системи координат верстата (НС) визначає в цьому випадку оператор (наладчик), а нуль системи координат деталі (НД) призначає технолог, виходячи зі схеми розмірного аналізу. Щодо цього нуля й пишеться управляюча програма для обробки даної деталі.

Система координат верстата визначається місцем розташування початку координат верстата □□ нулевою точкою верстата. У цьому випадку застосована система плаваючого нуля верстата, тобто будь-яке положення хрестового стола щодо інструмента може бути прийняте за нульове.

У верстатах з ЧПУ може бути, при необхідності, здійснена програмна установка нової системи координат (деталі).

Установка нової системи координат деталі здійснюється функцією:

G92 X, Z ; або G92 U, W.

де X, Z – координати,

U, W – складові вектора, проведеного з Н Д у Н С

Кожний окремий кадр керуючої програми повинен відповідати формату:
[Номер кадра] – [Команда] – [Параметри команди]

У таблиці 3.15.1 наведена відповідність адресних букв управляючої програми до їх призначення.

Таблиця 3.15.1

Адресна буква	Призначення
N	Порядковий номер кадра
G	Команда завдання режиму операції (лінійна, кругова інтерполяція і т.д.)
X, Y, Z	Значення координат
I, J, K	Координати центру дуги кола
F	Швидкість супорта
S	Швидкість обертання шпинделя
T	Номер коректора інструмента
M	Допоміжна команда
R	Радіус дуги кола
P	Тривалість паузи, номер підпрограми, номер фіксованої точки, параметр команди
Q	Параметр команди

Завдання значень координат і параметрів.

Якщо значення координати або радіуса задане зі десятичним значенням, то воно вважається заданим у міліметрах. Якщо значення задане без десяткової точки, то воно вважається заданим у дискретах.

Приклад: X100 – 100 дискрет
 X100. – 100 міліметрів.

Параметричне завдання значень

Завдання значення з параметра:

X#200n Y#210n

Z#220n

Завдання значення зі змінної: XnYnZn

Задати значення параметра можна в такий спосіб:

Приклад: N10 #2005 = 35.5 – Значення 35.5

N10 #2005 = E10 - Зі змінної E10

Математичні операції з параметрами Додавання:

#2001 = #2002 + #2201

Сума значень параметрів #2002 і #2201 записується в параметр #2001

Вирахування:

#2001 = #2002 - #2201

Різниця значень параметрів #2002 і #2201 записується в параметр #2001

Множення:

#2001 = #2002 * #2201

Добуток значень параметрів #2002 і #2201 записується в параметр #2001

Розподіл:

#2001 = #2002 / #2201

Залишок від розподілу параметра #2002 на #2201 записується в параметр #2001

Швидкість супорта й шпинделя

Швидкість супорта – Fn (мм/хв)

Швидкість супорта в міліметрах на 1 оберт шпинделя - En

Швидкість шпинделя – Sn (про/хв)

Параметри інструмента

Установка значень вильотів інструмента: N01 Tn

Значення вильотів підсумуються з поточною координатою.

Формат файлу УП

Файл управляючої програми являє собою звичайний текстовий файл із розширенням *.PRG

Кожний окремий рядок файлу повинна містити кадр програми або рядок коментаря, першим символом якої повинен бути символ “;”.

Порожні рядки ігноруються при завантаженні файлу.

Функції електроавтоматики управляючої програми

У таблиці 2.15.2 надано коди основних операцій електроавтоматики управляючої програми та їхні функції

Таблиця 2.15.2 - коди основних операцій управляючої програми та їхні функції

Код операції	Функції
M00	Програмувальний останов виконання УП
M02	Зупинка виконання програми
M03	Включення шпинделя за годинниковою стрілкою
M04	Включення шпинделя проти годинникової стрілки
M05	Останов шпинделя
M06	Зміна інструменту на одну позицію револьверної головки
M10Pn	Затискач деталі на верстаті
M11Pn	Разжим деталі на верстаті
M13Pn	Затискач на токарському верстаті (рух пинолі вперед).
M14Pn	Разжим на токарському верстаті (рух пинолі назад).
M100	Установка координат фіксованої точки
M101	Установка значення змінної E
M102	Установка значень вильотів інструмента
M103	Установка точності апроксимування дуги кола
M200	Порівняння параметра E з Числом, якщо $E < @$
M201	Порівняння параметра E з Числом, якщо $E > @$
M202	Порівняння параметра E з Числом, якщо $E = @$
M203	Порівняння параметра E з Числом, якщо $E \neq @$
M300	Додавання $E = E + \text{Число}$
M301	Віднімання $E = E - \text{Число}$
M302	Множення $E = E * \text{Число}$
M303	Ділення $E = E / \text{Число}$
M305	Зберегти змінні E в файлі variables.dat
M306	Завантажити змінні E з файлу evariables.dat
G00	Переміщення в точку на максимальній швидкості
G01	Лінійна інтерполяція (рисунок 1а)
G02	Кругова інтерполяція за годинниковою стрілкою (рисунок 1б)
G03	Кругова інтерполяція проти годинникової стрілки (рисунок 1в)
G04	Пауза
G20	Цикл поздовжнього гостріння (рисунок 1г)
G24	Цикл торцевої обробки
G25	Включення контролю зон заборони переміщень.
G26	Скасування контролю зон заборони
G28	Нарізування різьблення з одного проходу
G37	Вихід у фіксовану точку
G70	Повернення з підпрограми
G71	Виклик підпрограми
G72	Безумовний перехід на заданий кадр
G92	Завдання зсуву центру координатної системи
G93	Скасування зсуву центру координатної системи
G500	Вивід на екран повідомлення із зазначеним номером
G800	Обробка заданого числа канавок

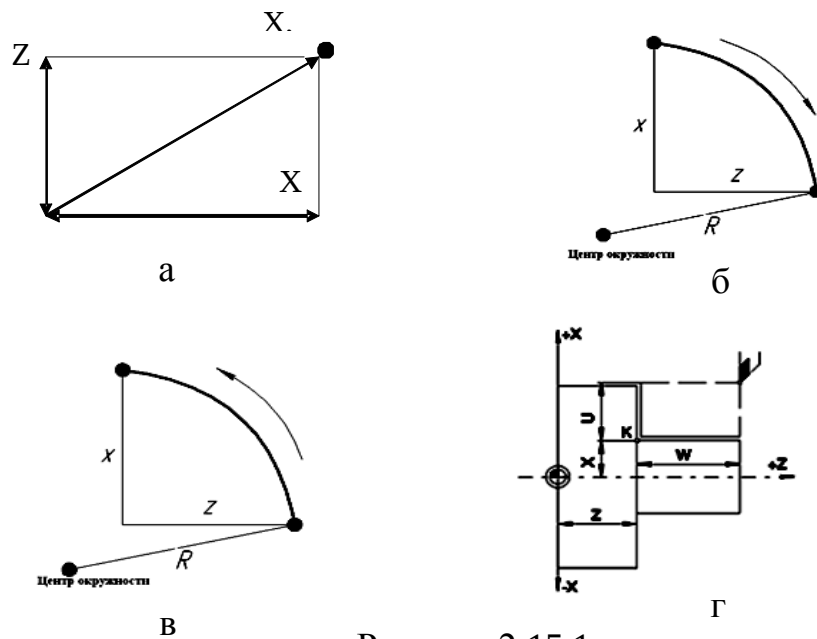


Рисунок 2.15.1

2.6.11 Дискретне моделювання одновимірного просторового обводу на основі області можливого розташування кривих із заданими геометричними характеристиками

На рисунку 3.11 представлена область розташування точки згущення (i_{cz}), яка призначається в площині P_i , перпендикулярній хорді $[i, i+1]$ і тієї, що проходить через середину хорди [59, 60]. Вихідна область розташування точки згущення - криволінійний трикутник 1, 2, 3, одержуваний в перетині тригранника δi площиною P_i . Характеристики криволінійного трикутника однозначно визначають тип монотонної ДПК.

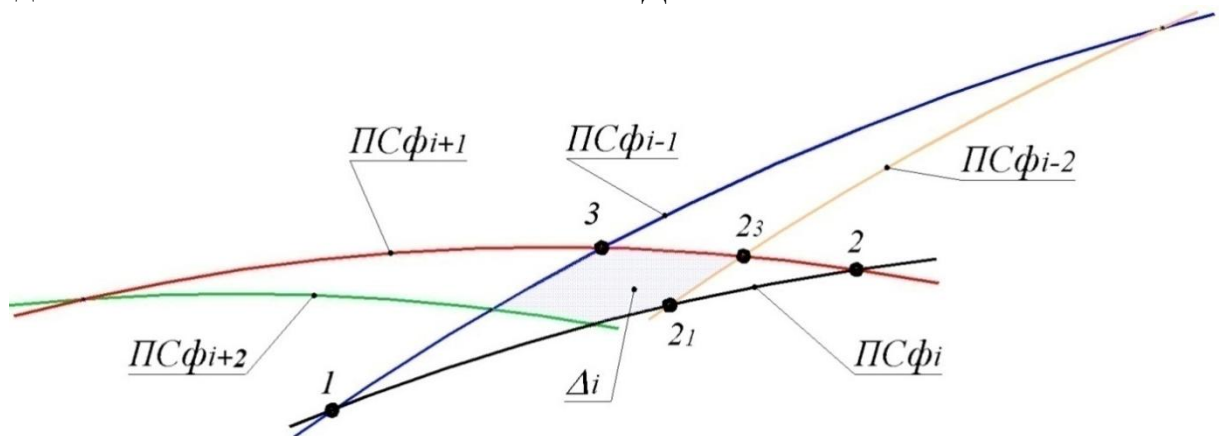


Рисунок 2.11 - Область розташування точки сгущения

Монотонні ділянки формуються згущенням вихідного точкового ряду і не вимагають аналітичного уявлення. Визначення області можливого, за умовами задачі, розташування кривої дозволяє оцінювати максимальну абсолютну похибку, з якою ДПК представляє обвід, що формується.

Остаточне рішення може бути отримано у вигляді супроводжуючої ламаної лінії, відстань від якої до кривої з заданими геометричними властивостями не перевищує заздалегідь призначеної величини.

Похибка, з якою сформована крива лінія, що інтерполює вихідний точковий ряд, представляє вихідну криву, оцінюється як область можливого розташування всіх кривих ліній, властивості яких ідентичні властивостям вихідної кривої. Інтерполююча крива лінія формується у вигляді згущеного точкового ряду, що складається із будь-якої кількості вузлів, визначених виходячи з умови можливості інтерполювати його кривою лінією з заданими характеристиками. Похибка формування інтерполюючої кривої лінії оцінюється як область можливого розташування кривої лінії, що інтерполює згущений точковий ряд.

2.6.12 Розробка інформаційних систем для автоматизованого проектування функціональних поверхонь складних технічних виробів

Для автоматизації процесу проектування функціональних поверхонь складних технічних виробів розроблено три інформаційні системи [61]:

- інформаційна система геометричного моделювання параметрів різальних інструментів для токарної обробки деталей;
- інформаційна система геометричного моделювання функціональних поверхонь каналів турбокомпресорів дизельних двигунів різальних інструментів та розрахунку режимів різання;
- інформаційна система автоматизованого проектування складних функціональних поверхонь

Вони розроблені таким чином, що дозволяють проектувальнику значно скоротити процес проектування та заздалегідь визначити вартість майбутнього виробу.

Зберігання необхідних даних і робота з ними у пропонованих інформаційних системах виконано шляхом інтеграції бази даних MicrosoftAccess, реалізованої за допомогою класу OleDbConnection – об'єкта підключення до джерела даних.

В залежності від поставленого завдання інформаційні системи дозволяють вносити зміни у геометричні параметри проєктованих виробів і автоматично перебудовують їх моделі у CAD-системах КОМПАС та SolidWorks.

На основі отриманих тривимірних моделей складних технічних виробів розробляються управляючі програми для верстатів з ЧПУ, на яких буде производитись виготовлення спроектованих деталей.

2.6.13 Використання енергозберігаючих технологій при розробці екологічного будинку у програмному пакеті ArchiCAD

Екологічний будинок (екобудинок) - це будівля, комфортна для життя людини, що не забруднює навколишнє середовище, незалежне (використовує

відновлювані джерела енергії), ресурсозбережне (заощаджує витрати води і тепла) і ресурсонакопичувальне (виробляє екологічні продукти харчування і біопаливо) [62]. Пасивний, або енергоефективний будинок - це будинок, основною особливістю якого є мале енергоспоживання - близько 10% від питомої енергії на одиницю об'єму, споживаної більшістю сучасних будівель.

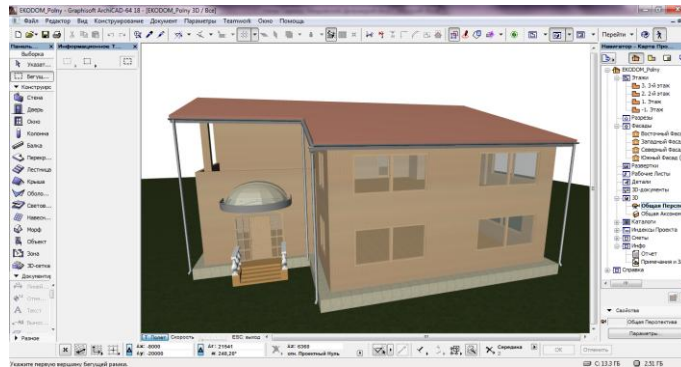


Рисунок 2.13. Екологічний будинок,
розроблений за допомоги програмного
пакету ArchiCad

Пасивна будівля – це будівля, в якій передбачено застосування поновлюваних джерел енергії, які знижують споживання енергії від традиційних джерел.

Проект екобудинку, в якому враховані вище зазначені вимоги до екобудинку створений за допомоги програмного пакету ArchiCad версії 18, яка надає найбільш широкі можливості для проектування інженерних споруд наведено на рисунку 3.13.

2.6.14 Використання енергозберігаючих технологій при розробці екологічного будинку у програмному пакеті ArchiCAD

Управління процесами дослідження і розробки продукції, додання виробу нових властивостей [63, 64], скорочення витрат у процесах виробництва та експлуатації продукції, підвищення рівня сервісу в процесах експлуатації та технічного обслуговування може здійснюватися паралельно в розрізі критеріїв управління (наприклад, темпів зниження витрат ресурсів на переробку продукції, що не відповідає встановленим вимогам); рівнів управління, структурних підрозділів функціональних служб і посадових позицій. Також цілеспрямований вплив здійснюється відповідно до етапів «петлі якості» (від маркетингу до утилізації продукції після її використання), функціональними завданнями (фінансово-економічними, виробничо-технологічними, соціально-правовими і т.д.), тимчасовими особливостями вирішуваних завдань (від оперативних до стратегічних). Впровадження CALS-технологій на підприємстві зазвичай передбачає повне або часткове реформування бізнес-процесів. До них відносять проектування, конструювання, підготовку виробництва, закупівлі, виробництво, управління

виробництвом, матеріально-технічне постачання, сервісне обслуговування, використання сучасних інформаційних технологій, спільне використання даних, отриманих на різних стадіях життєвого циклу продукту, використання міжнародних стандартів у галузі інформаційних технологій в мету успішної інтеграції, спільного використання та управління інформацією.

2.6.15 Розробка керуючої програми та технологічної документації при програмуванні обробки на верстатах з ЧПК

Пропонується методика проектування керуючих програм та технологічної документації [65] для підготовки обробки деталей на токарних верстатах з пристроєм числового програмного керування моделі 2P22 в рамках виконання лабораторної роботи «Розробка керуючої програми та технологічної документації при програмуванні обробки на верстатах з ЧПК» при вивченні дисципліни «Інформаційні технології у виробництві».

Процес розробки керуючої програми (програмування) для токарного верстата з ЧПУ складається з декількох етапів:

- операція поділяється на установи і позиції, вибираються технологічні бази і спосіб закріплення заготовки;
- розробляється операційна технологія, визначається послідовність переходів, вибирається технологічне оснащення, ріальний та вимірювальний інструмент та будується схема траєкторії його переміщення;
- проектуються карти ескізів, на яких приводять перероблені креслення деталі із завданням розмірів від нульової точки і умовним позначенням технологічних баз і затискачів, побудови для розрахунку координат опорних точок, розрахунку для визначення їх координат, схеми траєкторій (циклограм) руху всіх інструментів.
- керуюча програма перевіряється на верстаті і, якщо необхідно, вносяться відповідні корективи.

2.6.16 Системотехнічна діяльність при розробці автоматизованих систем проектування

Питання вирішення системотехнічних задач при розробці автоматизованих систем проектування є актуальними при необхідності розглядати автоматизовану систему проектування як складну технічну систему [66, 67], що включає в свій склад різноманітні, але взаємозв'язані компоненти. В створенні таких систем бере участь декілька колективів розробників, чия діяльність повинна бути скоординована на користь розробки ефективної системи. Досягнення високого рівня ефективності і якості при створенні систем автоматизованого проектування неможливе без цілеспрямованої і добре організованої діяльності при вирішенні виникаючих, в процесі проектування, системотехнічних задач.

В процесі створення автоматизованих систем проектування залежно від стадії життєвого циклу виробу дослідження можна поділити на різні види системотехнічної діяльності, які направлено на розробку методології і

організацію процесу створення САПР. Для реалізації цього необхідна проектна організація, що володіє рисами складної системи, яка, по відношенню до проектованої САПР, називається метасистемою, і, яка, повинна забезпечувати здійснення всього життєвого циклу САПР, включаючи не тільки її проектування, але і виготовлення, настройку експлуатацію, модернізацію. У зв'язку з цим для забезпечення ефективності створюваної САПР системотехнічна діяльність охоплює як питання оптимальної інтеграції частин САПР в єдине ціле, так і питання, пов'язані з введенням в процес проектування єдиного організуючого початку. Воно необхідне для дозволу суперечності між необхідністю створення єдиного злагодженого проекту САПР і участю в проектуванні великого числа фахівців - проектувальників. В загальному виді його можна сформулювати як суперечність між цілісністю САПР і складністю її метасистеми. Дозвіл цієї суперечності здійснюється в рамках системотехнічної діяльності, основним призначенням якої є забезпечення функціонування метасистеми як єдиного цілого на користь створення і експлуатації ефективної САПР.

2.6.17 Моделювання одновимірних обводів із забезпеченням заданої точності інтерполяції

Формування моделі на основі дискретної множини точок виходячи із заданої абсолютної похибки інтерполяції вимагає визначення границь можливого розташування лінійних елементів моделі [68]. Крива, яка формується, представлена упорядкованою множиною точок, що їй належать, та геометричними характеристиками кривої. Ці характеристики необхідно забезпечити в процесі моделювання. Таку криву будемо називати дискретно представленою кривою (ДПК). Крива формується на основі будь-якого точкового ряду по ділянкам, уздовж яких можливо забезпечити монотонну зміну значень кривини. Монотонні ділянки стикаються з заданим порядком гладкості.

Крива формується згущенням, що передбачає визначення для вихідного точкового ряду проміжних точок. Точки згущення призначаються всередині області можливого розташування монотонної кривої. У процесі згущень точкового ряду область можливого розташування кривої послідовно локалізується. Після досягнення заданої точності вузли сформованого точкового ряду з'єднуються хордами. Остаточний розв'язок представлено у вигляді супровідної ламаної лінії, що складається з як завгодно великої кількості хорд, відстань від яких до кривої лінії з заданими геометричними характеристиками не перевищує заздалегідь задану скільки завгодно малу величину.

Геометрична модель формується виходячи з припущення: якщо існує крива лінія без особливих точок, яка інтерполює точковий ряд, то особливі точки відсутні й у вихідного об'єкта. До таких точок відносяться: точки перегину, зміни напрямку зростання уздовж кривої значень кривини, скруту та ін.

Вихідний точковий ряд розбивається на ділянки, які можливо інтерполювати кривою лінією, уздовж якої значення геометричних характеристик монотонно зростають або убують. Визначається область, всередині якої розташовуються всі криві лінії з заданими геометричними властивостями.

Вихідна плоска крива представлена упорядкованою множиною точок, які їй належать. Максимальну абсолютну похибку, з якою крива, що інтерполює точковий ряд, представляє вихідну криву лінію, у першому наближенні визначимо виходячи з умови відсутності осциляції кривих.

Якщо кожні три послідовні вихідні точки розташовані таким чином, що їх обхід здійснюється за стрілкою годинника, то вважаємо, що точковий ряд належить опуклій кривій лінії. Вихідний точковий ряд розбивається на опуклі й увігнуті ділянки та інтерполюється окремо по цим ділянкам. Будь-яка опукла крива лінія, що інтерполює точковий ряд, розташована в межах ланцюга базисних трикутників, обмежених хордою, що з'єднує сусідні вихідні точки, та дотичними до кривої (t_i) у цих точках (Рисунок 2.6.18.1).

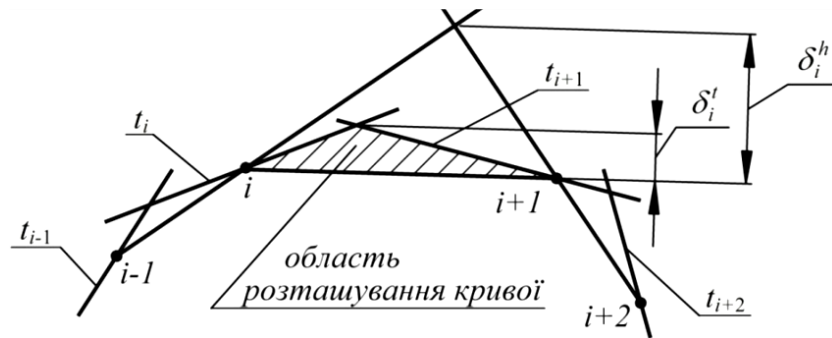


Рисунок 2.6.17.1 - Область розташування випуклої кривої

На кожній ділянці максимальне відхилення інтерполюючої кривої від вихідної не може перевищувати висоту відповідного базисного трикутника (δ_i^t). Ця висота трикутника, сторона якого належать прямим, що проходять через три послідовні вихідні точки.

Оцінку точності інтерполяції через визначення висоти базисних трикутників можна використовувати в методах, що забезпечують контроль виникнення осциляції.

Наступною умовою, що дозволяє зменшити область можливого розташування кривої та підвищити точність інтерполяції, є умова монотонної зміни кривини уздовж кривої. Таку криву назовемо монотонною.

Через кожні три послідовні вихідні точки проводиться коло, яке будемо називати прилягаючим (ПК_i). Якщо радіуси прилягаючих кіл монотонно зростають або убують уздовж точкового ряду, такий точковий ряд можливо інтерполювати кривою лінією з монотонним убаванням або зростанням кривини відповідно. Вихідний точковий ряд розбивається на ділянки з монотонною зміною радіусів прилягаючих кіл та інтерполюється окремо по

цим ділянкам монотонними ДПК. Будь-яка монотонна крива лінія, що інтерполює вихідний точковий ряд, розташовується в межах області, обмеженої послідовними прилягаючими колами. Абсолютну похибку інтерполяції можна оцінювати довжиною відрізка δ_i^m (Рисунок 2.6.2).

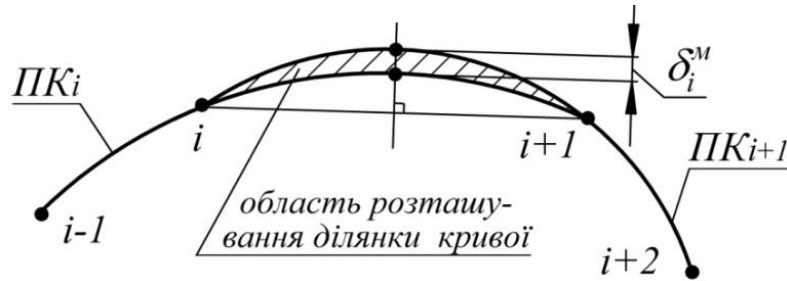


Рисунок 2.6.17.2 - Область розташування монотонної кривої

Відрізок належить прямій, яка перпендикулярна хорді $[i, i+1]$ та проходить через середину хорди. Точки, що обмежують відрізок δ_i^m належать прилягаючим колам, які обмежують область можливого розташування кривої на ділянці.

Положення точок згущення інтерполюючої ДПК визначається виходячи з умови збереження закономірності зміни радіусів прилягаючих кіл уздовж точкового ряду, який отримується в результаті послідовних згущень. Виконання цієї умови забезпечує:

- відповідність передбачуваних геометричних властивостей вихідної кривої лінії та призначених властивостей інтерполюючої кривої;
- максимальну похибку інтерполяції, значення якої не перевищує розміри області можливого розташування вихідної ДПК.

Точки згущення призначаються на перпендикулярах (n_i) відповідних хорд, що проходять через середини супровідної ламаної лінії. Для ділянки $(i \dots i+1)$ діапазон можливого розташування точки згущення (Δ_i) – перетин відрізків $[A, C]$ та $[B, D]$, де

- A – точка перетину перпендикуляра n_i та прилягаючого кола, що проходить через точки $i-1, i, i+1$: $A \equiv n_i \times ПК(i-1, i, i+1)$;
- $B \equiv n_i \times ПК(i, i+1, i+2)$;
- $C \equiv n_i \times ПК(i-2, i-1, i)$;
- $D \equiv n_i \times ПК(i+1, i+2, i+3)$.

Призначення точок згущення на ділянці ДПК ($i, i+1$)
 призводить до утворення трьох нових прилягаючих кіл та локалізації області можливого розташування кривої на ділянці ($i-1 \dots i+2$).

Точки згущення послідовно призначаються в межах максимальних діапазонів Δ_i .

У результаті послідовних згущень отримуємо криву, що інтерполює вихідний точковий ряд із регулярною монотонною зміною значень кривини. У результаті призначення кожної точки згущення отримуємо нову монотонну ДПК, що інтерполює вихідний точковий ряд. При цьому область можливого

розташування кривої локалізується та залишається в межах області розташування вихідної кривої.

Наявність області розташування, яка послідовно локалізується, – необхідна умова формування точкового ряду, який з як завгодно малою абсолютною похибкою представляє монотонну криву лінію. При цьому локалізація області розташування інтерполюючої кривої не дозволяє стверджувати, що точність, з якою вона представляє вихідну криву, збільшується.

Похибку інтерполяції можна зменшити, шляхом зменшення області можливого розташування кривої за рахунок збільшення порядку фіксації обводу, що формується. Усі монотонні криві, що інтерполюють послідовність вузлів, у яких призначено фіксовані положення дотичних (t_i) та значення радіусів кривини (R_i) на ділянці ($i \dots i+1$) розташовуються всередині області, обмеженої двома коробовими лініями кіл [8] (Рисунок 2.6.3).

Кожна з границь складається з двох дуг кіл, одне з яких – стичне коло монотонної кривої в точці, що обмежує ділянку, а інше – коло, дотичне до монотонної кривої в іншій точці, що обмежує ділянку. На Рисунок 3 радіуси стичних кіл позначено як R_i та R_{i+1} .

Відхилення обводу другого порядку фіксації з монотонною зміною кривини від вихідної кривої на ділянці ($i \dots i+1$) не може перевищувати максимальну ширину області можливого розташування кривої – δ_i^M .

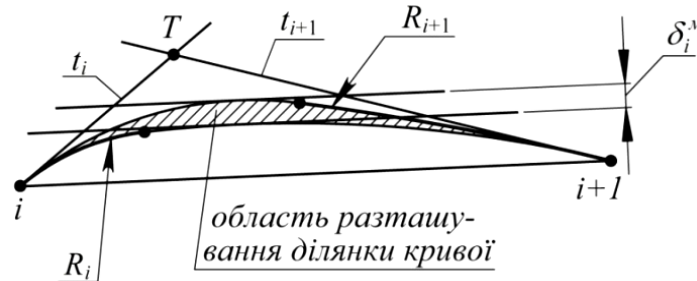


Рисунок 2.6.17.3 - Область розташування ділянки обводу з монотонною зміною кривини

Оцінка точності інтерполяції виходячи з умови зростання або убування значень кривини уздовж гладкої кривої можлива при моделюванні обводів методами формування монотонних кривих. Серед відомих – методи, розроблені в рамках варіативного дискретного геометричного моделювання.

2.6.18 Формування обводів із заданими геометричними властивостями

Основне призначення ДПК, що формуються за розроблюваним методом [69], - використання в якості лінійних елементів каркаса при моделюванні динамічних поверхонь, функціональне призначення яких - взаємодія з середовищем. Забезпечення другого порядку гладкості і монотонного зміни ра-

діусів кривизни уздовж лінійних елементів каркасу поверхонь сприяє ламінарному характеру обтікання цих поверхонь середовищем.

Подальше поліпшення динамічних якостей поверхонь можна забезпечити за рахунок нарощування умов, що накладаються на лінійні елементи моделі: збільшення порядку гладкості обводу, забезпечення безперервного графіка швидкості зміни радіусів кривизни уздовж обводу.

В роботі використовується критерій для оцінки швидкості зміни радіусів кривизни в точках ДПК. Оцінка проводиться на основі ланцюжка базисних трикутників, які визначають ДПК другого порядку гладкості з монотонним змiною радіусів кривизни. Розроблена методика уточнення області розташування точки згущення в разі, якщо на криву накладається додаткова умова забезпечення безперервності швидкості зміни радіусів кривизни.

В результаті згущення отримано новий ланцюжок БТ – визначальну монотонну криву. Максимальна величина розриву значень в точках стикування ділянок на кожному кроці згущення послідовно зменшується. У разі, коли максимальне значення не перевищує заданої величини, будемо вважати, що ДПК, уздовж якої швидкість зміни радіусів кривизни змінюється безперервно, сформована.

2.6.19 Спосіб матричного опису поверхні гондоли кривою, яка задана в параметричній формі

Пропонується дослідження двох варіантів визначення поверхні гондоли [70]:

Розглянемо два варіанти завдання поверхні гондоли:

а) поверхня гондоли розглядається як однопараметрична множина плоских обводів, заданих просторовим центровим ключем. За початкову твірну поверхню гондоли приймаємо лінію верхнього батокса, точки якої описують відповідно до центрового ключа плоскі обводи, розташовані в площинах паралельних площини $x_2 x_3$.

Рівняння поверхні має вигляд:

$$x = [D] X, \quad (2.6.19.1)$$

де $[D]$ – матриця, що залежить від параметра φ ;

$$X = \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ 1 \end{bmatrix} - \text{координати поточної точки } L \text{ лінії верхнього батокса, що}$$

залежать від параметра $x_1^{сеч}$.

Отже, координати будь-якої точки поверхні гондоли залежать від двох параметрів φ і $x_1^{сеч}$ відповідають визначені точки на поверхні. Координати перемінної точки просторової лінії на поверхні гондоли можна задати у вигляді функції від одного параметра, наприклад φ , при обраному значенні другого параметра. При зміні параметра φ точка A , координати якого задаються рівнянням (1), опише плоский обвід, що належить площини $x_1^{сеч} = const$. Тому що координати точок поверхні визначаються двома параметрами $x_1^{сеч}$ і φ , то, диференціюючи по параметрах рівняння, можна отримати диференціальні характеристики в будь-якій точці поверхні.

б) Якщо за початкову твірну поверхні гондоли прийняти коло K , що належать площини $x_2 x_3$ (Рисунок 2.6.19.1), то поверхня може бути отримана як результат добутку миттєвих перетворень руху виробляючої окружності K на подоби з миттєвим коефіцієнтом k і центром подоби.

Оскільки між образом і прообразом при перетворенні повинне бути встановлена взаємо-однозначна відповідність, то в даному випадку взаємо-однозначна відповідність між колом K і замкнутим обводом $\tilde{K}$ з n -ділянок кіл встановлюється в такий спосіб (Рисунок 1):

1. Вибираємо початок відліку центрального кута кола K ;
2. Визначаємо центральні кути дуг кіл різних ділянок обводу $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \dots, \varphi_n$ від прийнятого початку відліку;
3. Приймаємо, що ділянкам дуг кола K визначених центральними кутами $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$ відповідають ділянки дуг кіл обводу, тобто точці $A \in K$ на ділянці, виділеній кутом φ_1 , відповідає точка $\tilde{A}$ на дузі першої ділянки і визначена кутом φ_1° .

Координати точки $\tilde{A}(x_1, x_2, x_3)$, що відповідає точці $A(x_1, x_2, x_3)$ заданій кутом φ_1° , визначаємо з матричного рівняння (2.6.19.1), де $[D]$ – матриця, що залежить від миттєвого коефіцієнту подоби k і направляючих косинусів площини обводу.

Коефіцієнт подоби k визначається як відношення радіусів обраної ділянки обводу і початкового кола K .

Радіусграфічний ключ поверхні гондоли задається чотирма лініями центрів і лінією верхнього батокса, що задані аналітично у вигляді функції від одного параметра $x_1 = x_1^{сеч}$.

Рух точки $M(X_1, X_2)$ на площині вздовж кола K із центром у точці $A_0(x_1^0, x_2^0)$ описується матрицею:

$$[D] = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} (1 - a_{11}) \cdot x_1^0 - a_{12} \cdot x_2^0 \\ -a_{21} x_1^0 + (1 - a_{22}) \cdot x_2^0 \\ 1 \end{vmatrix}, \quad (2.6.19.2)$$

де $a_{11} = a_{22} = \cos \varphi$; $a_{12} = -\sin \varphi$; $a_{21} = \sin \varphi$.

Рівняння цього кола в матричній формі для площини $x_1 = x_1^{сеч}$ має вигляд (2.6.19.1)

Для розрахунку координат точок поверхні гондоли був прийнятий перший варіант завдання поверхні. Зроблені розрахунки носових частин внутрішньої і зовнішньої гондол.

Алгоритм знаходження координат точок перетину носової частини зовнішньої мотогондолої: (Рисунок 1):

- 1) Задаємось значенням параметру $x_1 = const$;
- 2) Відповідно до центрального ключа знаходимо координати центрів $ПРО^1$, $ПРО^2$, $ПРО^3$, $ПРО^4$, дуг кіл і точки A лінії верхнього батокса;
- 3) Визначаємо кути $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$;
- 4) Визначаємо направляючі косинуси площин перетинів (обводів),
- 5) Плоский обвід розглядаємо як траєкторію руху точки A за законом радісографічного ключа (Рисунок 1).

Спочатку повертаємо точку A на кут 90^0 навколо $ПРО^1$. Визначаємо координати точки A^1 . Потім повертаємо точку A^1 на кут φ_2 навколо $ПРО^2$, одержуємо точку A^2 . Повертаємо точку A^2 навколо $ПРО^3$ на кут φ_3 , одержуємо точку A^3 . Повертаємо точку A^3 на кут φ_4 навколо точки $ПРО^4$, одержуємо точку A^4 . Нарешті, повертаємо точку A^4 на кут 90^0 навколо точки $ПРО^1$ та одержуємо початкову точку A .

Алгоритм знаходження координат точок перетинів носової частини внутрішньої мотогондолої:

п. 1-4 аналогічні алгоритмові зовнішньої гондоли:

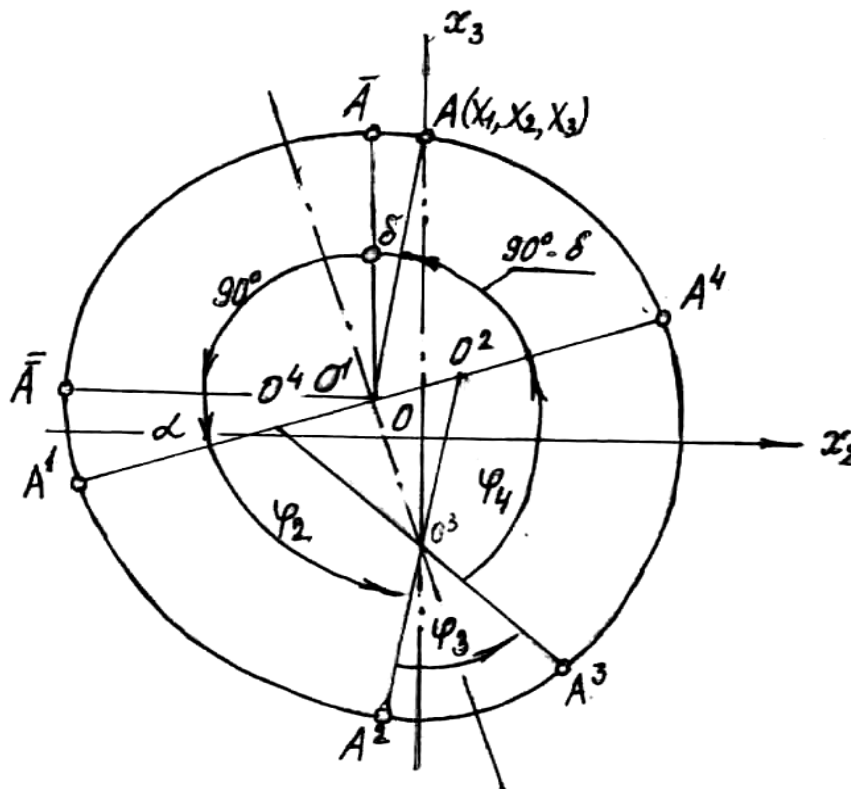


Рисунок 2.6.19.2 - Перетин носової частини внутрішньої мотогондоли

5) Визначаємо кут α і δ ;

6) Плоский обвід розглядаємо як траєкторію руху точки за законом радіусографічного ключа (Рисунок 2.6.19.2);

Спочатку повертаємо точку A на кут δ навколо $ПРО^1$. Одержуємо координати точки $\bar{A}$. Потім повертаємо точку $\bar{A}$ на кут 90° навколо $ПРО^1$, одержуємо точку $\bar{\bar{A}}$. Повертаємо точку $\bar{\bar{A}}$ на кут α навколо точки $ПРО^1$, одержуємо точку A^1 . Точки A^2, A^3, A^4 одержуємо аналогічно описаним вище. Нарешті, повертаємо точку A^4 на кут $(90^\circ - \delta)$ навколо $ПРО^1$, одержуємо первісну точку A .

Для одержання координат проміжних точок обводу задаємося кутом φ в інтервалі прийнятої ділянки.

2.6.20 Спосіб побудови дотичних у вузлах спиралеподібних дискретно представлених кривих із використанням спеціальної функції

Ціль дослідження полягає в виявленні можливості використання неперервного геометричного моделювання на основі спеціальної функції і призна-

чення дотичних у вузлах вихідної ДПК при локальних методах згущення та глобальне призначення дотичних при методах згущення спіралеподібних та замкнених кривих ліній на основі спеціальної функції [71].

Застосовуючи неперервну інтерполяцію, неможливо передбачити результат на кінцевих ділянках заданого точкового ряду, а отже виникає необхідність у корегуванні коефіцієнтів і перерахуванні. Щоб уникнути громіздких обчислень і великих помилок доцільним є застосування локального методу моделювання з наступним переходом у глобальну систему координат.

Наші дослідження показали, що при інтерполяції спіралеподібних ДПК з орієнтацією на моделювання в системах ЧПК доцільно скористатися саме локальними наближеннями на кожній з ланок супровідної ламаної лінії (СЛЛ) у локальній системі координат $0\bar{x}\bar{y}$, де вісь $0\bar{x}$ збігається з розглянутою ланкою, а початок координат – з початковою точкою ланки (Рисунок 1).

У цій системі координат поставленим задачам відсутності осциляції спіралеподібного обводу в цілому і забезпечення гладкого стикування окремих ланок у вузлах ДПК у найбільшій мірі, на нашу думку, відповідає спеціальна функція

$$\bar{y} = (a\bar{x} + b) \cdot \sin \frac{\bar{x}(l_i - \bar{x})}{l_i^2},$$

де a і b - коефіцієнти, що забезпечують гладке стикування ланок, l_i - довжина ланки $(i-1; i)$ СЛЛ. Очевидно, що при $\bar{x} = 0$ і $\bar{x} = l_i$ $\bar{y} = 0$, тобто крива проходить через кінцеві точки відрізка.

Визначимо коефіцієнти a і b у припущенні, що у вузлах ДПК деяким чином задані дотичні до майбутнього обводу. Звернемося до Рисунок 1.

Кути, що складають дотичні до обводу (Рисунок 2.6.20.1) в точках $i-1$ і i з локальною віссю $0\bar{x}$, є

$$\bar{\beta}_{i-1} = \beta_{i-1} - \alpha_i; \quad \bar{\beta}_i = \beta_i - \alpha_i$$

де α_i і β_i - кути нахилу ланок СЛЛ і дотичних до осі $0x$ глобальної системи координат.

Значення першої похідної $\bar{y}'_{i-1}$ й $\bar{y}'_i$ у локальній системі координат дорівнюють

$$\bar{y}'_{i-1} = \operatorname{tg} \bar{\beta}_{i-1}; \quad \bar{y}'_i = \operatorname{tg} \bar{\beta}_i. \quad (2.6.20.3)$$

Диференціюємо (1) по $\bar{x}$

$$\bar{y}' = a \cdot \sin \frac{\bar{x}(l_i - \bar{x})}{l_i^2} + (a\bar{x} + b) \frac{l_i - 2\bar{x}}{l_i^2} \cdot \cos \frac{\bar{x}(l_i - \bar{x})}{l_i^2} \quad (2.6.20.4)$$

при $\bar{x} = 0$: $\bar{y}'_{i-1} = \frac{b}{l_i} = \operatorname{tg} \bar{\beta}_{i-1}$; $b = l_i \operatorname{tg} \bar{\beta}_{i-1}$, (2.6.20.5)

при $\bar{x} = l_i$: $\bar{y}'_i = \frac{al_i + b}{-l_i} = \operatorname{tg} \bar{\beta}_i$. З урахуванням (2.6.20.5) маємо

$$a = -(\operatorname{tg} \bar{\beta}_{i-1} + \operatorname{tg} \bar{\beta}_i) . \quad (2.6.20.6)$$

Підставляючи (2.6.20.5) і (2.6.20.6) у (2.6.20.1) маємо рівняння інтерполяційної функції в локальній системі координат

$$\bar{y} = \{ (l_i - \bar{x}) \operatorname{tg} \bar{\beta}_{i-1} - \bar{x} \operatorname{tg} \bar{\beta}_i \} \cdot \sin \frac{\bar{x}(l_i - \bar{x})}{l_i^2} . \quad (2.6.20.7)$$

Перша похідна описується рівнянням (2.6.20.4) з урахуванням a з (2.6.20.6) і b з (2.6.20.5).

Очевидно, що щоб уникнути осциляції кривої дотична в i -ому вузлі повинна розташовуватися так, щоб її кут нахилу β_i задовольняв обмеженням $\alpha_{i+1} < \beta < \alpha_i$. Крім того, функція (2.6.20.7) вимагає додаткових обмежень. Як показали дослідження її графік не осцилює на відрізку $[0; l_i]$, коли $k = \operatorname{tg} \beta_{i-1} / \operatorname{tg} \beta_i$; $k \in [-2; -0.5]$.

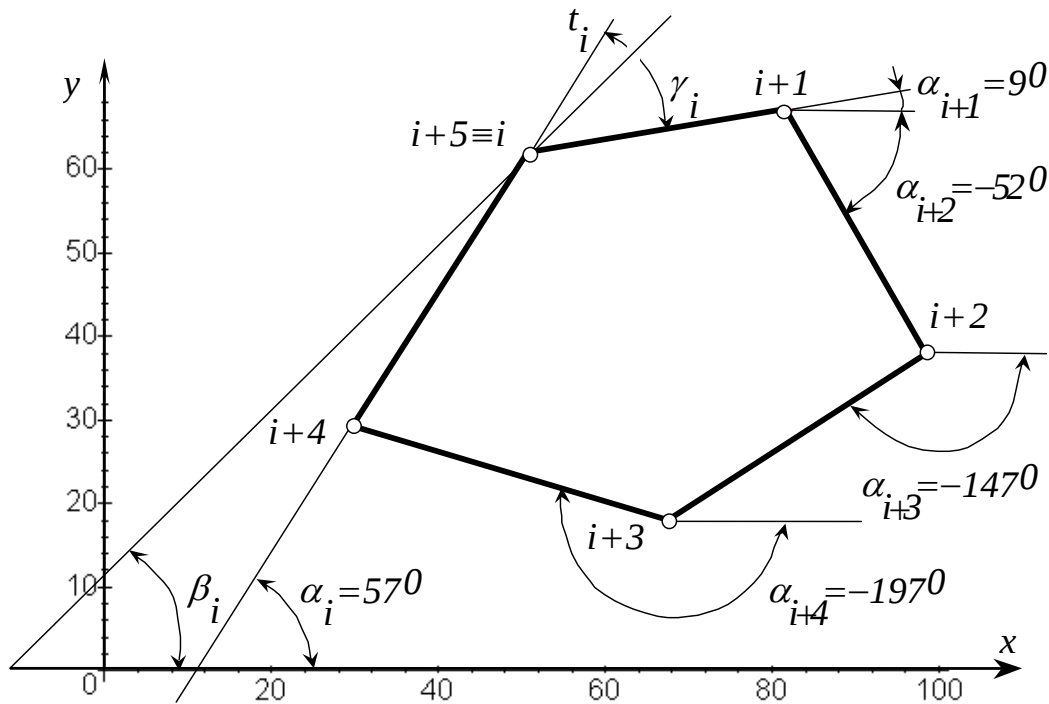
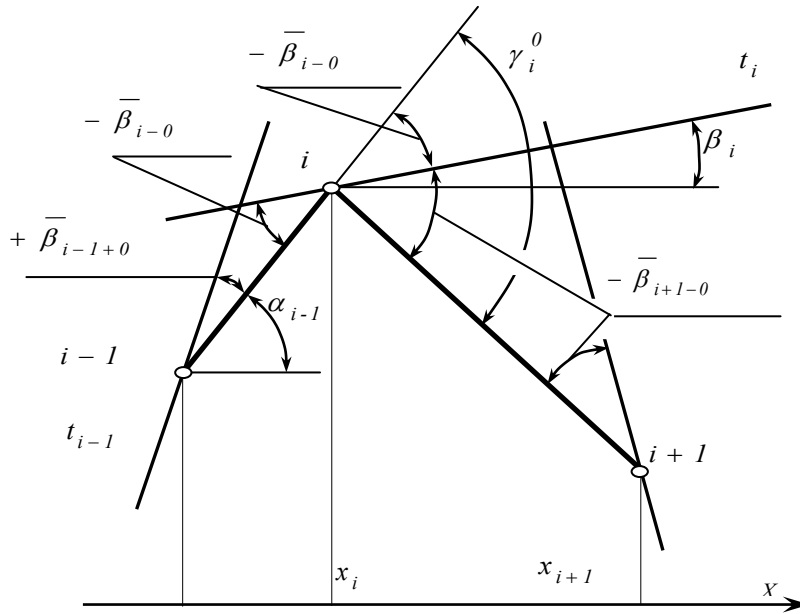


Рисунок 2.6.20.2 – Кути розрахування

Дотична t_i у вузлі i (рис 2.6.20.2) складає з віссю OX кут β_i , з попередньою ланкою $(i-1, i)$ СЛЛ - кут $\bar{\beta}_{i-0}$, з наступною - кут $\bar{\beta}_{i+0}$.



Очевидно, що $\bar{\beta}_{i-0} = \beta_i - \alpha_{i-1}$; $\bar{\beta}_{i+0} = \beta_i - \alpha_i$ (2.6.20.8)

Тангенси кутів $\bar{\beta}_{i-1+0}$ і $\bar{\beta}_{i-0}$ зв'язані співвідношенням

$$k_i = \frac{\operatorname{tg} \bar{\beta}_{i-1+0}}{\operatorname{tg} \bar{\beta}_{i-0}} ; \operatorname{tg} \bar{\beta}_{i-0} = \frac{1}{k_i} \cdot \operatorname{tg} \bar{\beta}_{i-1+0} \quad (2.6.20.9)$$

Аналогічно $\operatorname{tg} \bar{\beta}_{i+1-0} = \frac{1}{k_{i+1}} \cdot \operatorname{tg} \bar{\beta}_{i+0}$, $\operatorname{tg} \bar{\beta}_{i+2-0} = \frac{1}{k_{i+2}} \cdot \operatorname{tg} \bar{\beta}_{i+1+0}$, ... (2.6.20.10)

З огляду на те, що

$$\bar{\beta}_{i+0} = \gamma_i^0 + \bar{\beta}_{i-0}, \quad i = 1; n-1 \quad (2.6.20.11)$$

з (10) з урахуванням (11) маємо

$$\operatorname{tg} \bar{\beta}_{1-0} = \frac{1}{k_1} \cdot \operatorname{tg} \bar{\beta}_{0+0}; \operatorname{tg} \bar{\beta}_{2-0} = \frac{1}{k_2} \cdot \operatorname{tg} \bar{\beta}_{1+0} = \frac{1}{k_2} \operatorname{tg} (\gamma_1^0 + \bar{\beta}_{1-0})$$

$$\operatorname{tg} \bar{\beta}_{3-0} = \frac{1}{k_3} \operatorname{tg} (\gamma_2^0 + \bar{\beta}_{2-0}) \dots \text{т.д.} \quad (2.6.20.12)$$

Стратегія подальшого пошуку множини кутів $\bar{\beta}_{i-0}$ і $\bar{\beta}_{i+0}$, $i = 1; n-1$ складається в такому призначенні кутів β_i нахилу дотичних, щоб дотримувалися дві умови:

- положення точки β_i в смугі α_i , тобто на відрізку $\alpha_{i-1} \alpha_i$, а саме $\alpha_i < \beta_i < \alpha_{i-1}$; (2.6.20.13)

- значення кутів $\bar{\beta}_{i-0}$ і $\bar{\beta}_{i+0}$ повинні задовольняти умові (2.6.20.9).

Приведемо співвідношення (2.6.20.12) до кутів β_i на підставі (2.6.20.6). Ураховуючи, що $\gamma_i = \alpha_{i-1} - \alpha_i$, маємо

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}(\beta_1 - \alpha_0) &= \frac{1}{k_1} \operatorname{tg}(\beta_0 - \alpha_0); \operatorname{tg}(\beta_2 - \alpha_1) = \frac{1}{k_2} \operatorname{tg}(\beta_1 - \alpha_1); \\ \operatorname{tg}(\beta_3 - \alpha_2) &= \frac{1}{k_3} \operatorname{tg}(\beta_2 - \alpha_2) \dots \text{і т.д.} \end{aligned} \quad (2.6.20.14)$$

Для того, щоб звести обмеження (2.6.20.13) і співвідношення (2.6.20.14) у єдину систему, необхідно перейти від тангенсів кутів у (14) до самих кутів. Відомо, що функцію $\operatorname{tg} x$ можна розкласти в ряд Тейлора

$$\operatorname{tg} x = x + \frac{1}{3}x^3 + \frac{2}{15}x^5 + \dots \quad (2.6.20.15)$$

При моделюванні реальних ДПК значення x у радіанах менше одиниці і з кожним наступним кроком згущення наближається до нуля. Крім того, розв'язання системи (13)+(14) полягає не у визначенні точного значення, а у визначенні відрізка, з якого вибирається шукане рішення, що задовольняє заданим умовам. Усе це дозволяє нам у розкладанні (2.6.20.15) обмежитися першим членом, тобто $\operatorname{tg} x \approx x$

Тоді з (14) маємо

$$\beta_1 - \alpha_0 = \frac{1}{k_1}(\beta_0 - \alpha_0); \beta_2 - \alpha_1 = \frac{1}{k_2}(\beta_1 - \alpha_1); \beta_3 - \alpha_2 = \frac{1}{k_3}(\beta_2 - \alpha_2) \dots \quad (2.6.20.16)$$

Перетворимо з урахуванням (13)

$$\begin{aligned} \alpha_1 < \beta_1 &= \frac{\beta_0}{k_1} + \alpha_0 \left(1 - \frac{1}{k_1}\right) < \alpha_0; \quad \alpha_2 < \beta_2 = \frac{\beta_1}{k_2} + \alpha_1 \left(1 - \frac{1}{k_2}\right) < \alpha_1; \\ \alpha_3 < \beta_3 &= \frac{\beta_2}{k_3} + \alpha_2 \left(1 - \frac{1}{k_3}\right) < \alpha_2 \dots \end{aligned} \quad (2.6.20.17)$$

З огляду на те, що $k_i < 0$, а саме $-2 < k_i < -\frac{1}{2}$, остаточно маємо

$$\begin{aligned} \alpha_0 < \beta_0 < (1 - k_1)\alpha_0 + k_1\alpha_1; \quad \alpha_1 < \beta_1 < (1 - k_2)\alpha_1 + k_2\alpha_2; \\ \alpha_2 < \beta_2 < (1 - k_3)\alpha_2 + k_3\alpha_3 \dots \alpha_{n-2} < \beta_{n-2} < (1 - k_{n-1})\alpha_{n-2} + k_{n-1}\alpha_{n-1} \dots \end{aligned} \quad (2.6.20.18)$$

Для того, щоб підключити в систему (17) нерівності, що містять β_{n-1} і β_n , перетворимо ліву частину останньої нерівності з (16)

$$\beta_{n-1} = \beta_n \cdot k_n + \alpha_{n-1}(1 - k_n) \quad (2.6.20.19)$$

З умови $\alpha_{n-1} < \beta_{n-1} < \alpha_{n-2}$ маємо $(k_n < 0)\alpha_{n-1} < \beta_n \cdot k_n + \alpha_{n-1}(1 - k_n) < \alpha_{n-2}$, або

$$\frac{\alpha_{n-2}}{k_n} + \alpha_{n-1} \left(1 - \frac{1}{k_n} \right) < \beta_n < \alpha_{n-1} \quad (2.6.20.20)$$

$$\text{Аналогічно} \quad \frac{\alpha_{n-3}}{k_{n-1}} + \alpha_{n-2} \left(1 - \frac{1}{k_{n-1}} \right) < \beta_{n-1} < \alpha_{n-2} \quad (2.6.20.21)$$

Система нерівностей (18) + (20) + (21) містить повний набір кутів β_i ($i = 0; n$) нахилу дотичних. Приведемо отримані обмеження за допомогою (17) до одного невідомого, наприклад β_0 , для чого виразимо всі β_i , $i = 1; n$, через β_0 , що у даному випадку виступає як керуючий параметр.

$$\begin{aligned} \alpha_0 < \beta_0 < (1 - k_1) \alpha_0 + k_1 \alpha_1; \quad \alpha_1 < \beta_1 = \frac{\beta_0}{k_1} + \alpha_0 \left(1 - \frac{1}{k_1} \right) < (1 - k_2) \alpha_1 + k_2 \alpha_2; \dots \\ \dots \quad \frac{\alpha_{n-2}}{k_n} + \alpha_{n-1} \left(1 - \frac{1}{k_n} \right) < \beta_{n-1} = \frac{\beta_0}{k_1 k_2 \dots k_n} + \frac{\alpha_0}{k_2 k_3 \dots k_n} \left(1 - \frac{1}{k_1} \right) + \\ (2.6.20.22) \\ + \frac{\alpha_1}{k_3 k_4 \dots k_n} \left(1 - \frac{1}{k_2} \right) + \dots + \alpha_{n-1} \left(1 - \frac{1}{k_n} \right) < \alpha_{n-1}, \end{aligned}$$

або

$$\begin{aligned} \alpha_0 < \beta_0 < (1 - k_1) \alpha_0 + k_1 \alpha_1; \\ \alpha_0 (1 - k_1) + k_1 \alpha_1 > \beta_0 > \alpha_0 (1 - k_1) + k_1 \alpha_1 (1 - k_2) + k_1 k_2 \alpha_2; \dots \\ \alpha_0 (1 - k_1) + k_1 \alpha_1 (1 - k_2) + \dots + k_1 k_2 \dots k_{n-2} \alpha_{n-2} \lesseqgtr \beta_0 \lesseqgtr \alpha_0 (1 - k_1) + \\ (2.6.20.23) \\ + k_1 \alpha_1 (1 - k_2) + k_1 k_2 \alpha_2 (1 - k_3) + \dots + k_1 k_2 \dots k_{n-1} \alpha_{n-1}. \end{aligned}$$

В останніх трьох нерівностях знак нерівності в порівнянні з аналогічним з (16) зберігається при n парному і змінюється на протилежний при n непарному.

Система (23) є основною при виборі значення β_0 . Вона складається, як бачимо, із двох множин знакочередуючих обмежень, оскільки $k_i < 0$. Якщо вона має розв'язок, то існує відрізок вибору значення $\beta_0 = \beta'_0$, що забезпечує рішення.

Після вибору β'_0 розраховується β_i з (16) при $\beta_0 = \beta'_0$, потім $\bar{\beta}_{i-0}$ і $\bar{\beta}_{i+0}$, $i = 1; n-2$ і розраховуються функції інтерполяції на кожній з ланок згідно з [3] (18).

$$\bar{y} = \left\{ (l_i - \bar{x}) \lg \bar{\beta}_{i-1} - \bar{x} \lg \bar{\beta}_i \right\} \cdot \sin \frac{\bar{x} (l_i - \bar{x})}{l_i^2} \quad (2.6.20.24)$$

Очевидно, що, як керуючий параметр, замість β_0 можна із системи (22) з урахуванням співвідношень (2.6.20.21) вибрати будь-який інший параметр β_S , $S \in [1;$

$n-1]$, розрахувати залежність інших β_i , $i = 0; n$, $i \neq S$, від β_S і одержати обмеження (2.6.20.23), з якого вибрати шукане $\beta_S = \beta'_S$, що забезпечує рішення. Як правило, це зручно, коли ширина смуги (відрізок) вибору β_S мінімальна.

При розв'язанні системи (2.6.20.23) труднощі складаються у виборі значень $k_i \in [-2; -0,5]$. Розв'язання варто починати зі значень $k_i = k = -1$, що приводить до симетрії кривої щодо середини відрізка $\bar{x} \in [0; l_i]$. Якщо при цьому всі нерівності (2.6.20.23) дотримуються, тобто існує відрізок вибору β_0 , то в якості моделюючої кривої можна прийняти обведення, що складається з таких симетричних дуг. Якщо якісь з нерівностей не дотримуються, то необхідно змінити значення $-2 < k_i < -0,5$ в першу чергу тих, котрі беруть участь у всіх некоректних нерівностях. Послідовним підбором коефіцієнтів k можна домогтися дотримання нерівностей і в такий спосіб одержати розв'язок.

2.6.21 Метод формування плоского одновимірного обводу із забезпеченням контролю максимальної абсолютної похибки інтерполяції

Формування моделі на основі дискретної множини точок виходячи із заданої абсолютної похибки інтерполяції вимагає визначення границь можливого розташування лінійних елементів моделі [72]. Крива, яка формується, представлена упорядкованою множиною точок, що їй належать, та геометричними характеристиками кривої. Ці характеристики необхідно забезпечити в процесі моделювання. Таку криву будемо називати дискретно представленою кривою (ДПК). Крива формується на основі будь-якого точкового ряду по ділянкам, уздовж яких можливо забезпечити монотонну зміну значень кривини. Монотонні ділянки стикаються з заданим порядком гладкості. Крива формується згущенням, що передбачає визначення для вихідного точкового ряду проміжних точок. Точки згущення призначаються всередині області можливого розташування монотонної кривої. У процесі згущень точкового ряду область можливого розташування кривої послідовно локалізується. Після досягнення заданої точності вузли сформованого точкового ряду з'єднуються хордами. Остаточний розв'язок представлено у вигляді супровідної ламаної лінії, що складається з як завгодно великої кількості хорд, відстань від яких до кривої лінії з заданими геометричними характеристиками не перевищує заздалегідь задану скільки завгодно малу величину.

Геометрична модель формується виходячи з припущення: якщо існує крива лінія без особливих точок, яка інтерполює точковий ряд, то особливі точки відсутні й у вихідного об'єкта. До таких точок відносяться: точки перегину, зміни напрямку зростання уздовж кривої значень кривини, скруту та ін. Вихідний точковий ряд розбивається на ділянки, які можливо інтерполювати кривою лінією, уздовж якої значення геометричних характеристик монотонно зростають або убують. Визначається область, всередині якої розташовуються всі криві лінії з заданими геометричними властивостями.

Оцінка точності інтерполяції виходячи з умови зростання або убуття значень кривини уздовж гладкої кривої можлива при моделюванні обводів методами формування монотонних кривих. Серед відомих – методи, розроблені в рамках варіативного дискретного геометричного моделювання.

2.6.22 Формування плоских дискретно представлених кривих ліній на основі довільного точкового ряду за заданим законом зміни кривини

Запропонована технологія формування комп'ютерних моделей поверхонь складних технічних виробів, заданих масивом точок [73]. Основна вимога до поверхонь виробів, які взаємодіють із середовищем, - забезпечення заданого характеру їх обтікання. Функціональні якості поверхні забезпечуються її геометричними характеристиками. Ламінарний характер обтікання поверхонь можна забезпечити за рахунок монотонної зміни значень геометричних характеристик уздовж ліній, що входять у визначник поверхні. Вихідними даними для формування моделі поверхні є точковий масив, що представляє сімейство горизонтальних перетинів поверхні. Розроблено методи формування плоских та просторових кривих із закономірною зміною характеристик на основі будь-якого точкового ряду. Практичне застосування запропонованої технології продемонстровано на прикладі проектування робочої поверхні дискової фрези для розпушування ґрунту. Розроблена технологія проектування поверхонь складних технічних виробів включає створення геометричних моделей поверхонь та керуючих програм для їх обробки на верстатах з числовим програмним управлінням. Із вихідного масиву точок виділяються підмножини – точкові ряди, на основі яких формуються лінійні елементи каркасу поверхні. Комп'ютерна модель поверхні створюється на основі дискретного лінійного каркасу, представленого сімействами твірних та напрямних кривих ліній. Використання розробленої технології дозволяє зменшити час створення комп'ютерної моделі виробу та програми для обробки на верстатах з числовим програмним управлінням, поліпшити функціональні якості поверхонь, які обмежують виріб.

2.6.23 Геометричне моделювання робочих поверхонь змішувачів рідин

При виконанні меліоративних робіт, пов'язаних із насиченням родючих ґрунтів корисними рідинами, велику роль відіграють агрегати із механічними засобами змішування корисних рідин перед внесенням їх на поля [74].

Головним вузлом такого агрегату є змішувач, який застосовується для швидкого змішування та розподілу необхідних, за технологією, корисних речовин у рідині. За допомогою змішувача можна призводити насичення сумішей необхідними реагентами. Крім того такі змішувачі можуть бути використані для процесу гомогенізації, створення однорідної структури рідини для різних по в'язкості рідин. Це дуже важливо, оскільки розчини корисних добрив не завжди мають однакову структуру та в'язкість із основою рідиною.

На рисунку 1 представлено конструкцію такого змішувача.

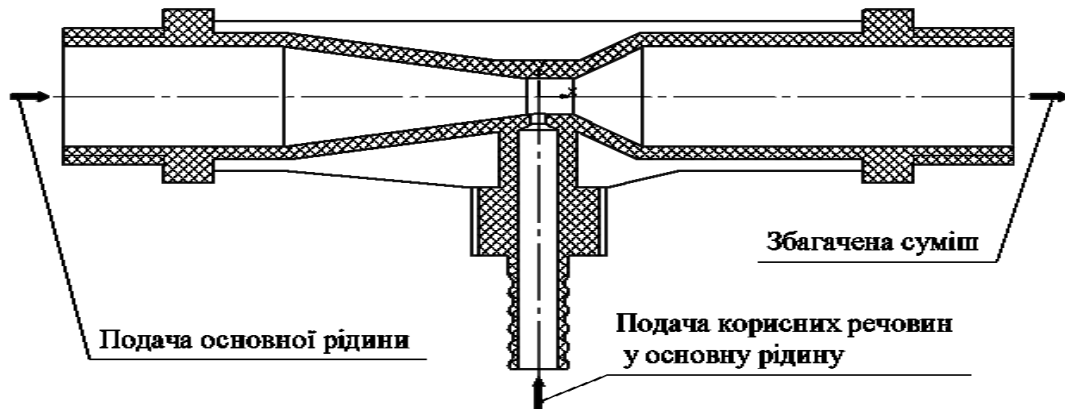


Рисунок 2.6.23.1 - Загальна конструкція змішувача рідин.

Але неоднорідність структури та в'язкості потребує постійного рерулювання прохідних перетинів кранів для забезпечення якісного змішування рідин.

Також, конічні поверхні змішувача, спрямовані назустрічодина одній без радіусних спряжень в місці стикування не взмозі забезпечити збільшення тиску при подачі основної рідини на вході та якісного змішування суміші на виході. Цей перетин має дві конічні поверхні, спрямовані назустрічодина одній з радіусним спряженням в місці стикування.

Ці недоліки можна усунути, якщо замінити конічні поверхні з лінійною твірною на поверхні обертання, задані дискретним рядом точок.

Застосування криволінійних твірних при формуванні контуру внутрішнього перетину змішувача дозволить забезпечити заздалегідь прогнозоване («правильне») змішування корисних рідин для внесення в ґрунт.

Виходячи із вищезазначеного виникає необхідність у розробці методики геометричного моделювання робочих поверхонь змішувачів рідин для здійснення меліоративних робіт, яка буде гарантувати точне відображення потоку рідини (руху струменя) ізменшення гідравлічного опору

Для конструкцій даного типу найбільш близьким технічним рішенням є побудова внутрішньої криволінійної поверхні шляхом згущення дискретно заданої множини точок профілю внутрішньої поверхні змішувача з використанням методу серединних перпендикулярів.



Рисунок 2.6.23.2 - Принципова схема побудови внутрішнього профілю

змішувача, поверхня якого побудована за допомогою серединних перпендикулярів.

На Рисунок 2.6.23.2 представлена принципова схема побудови внутрішнього профілю змішувача, що складається з трьохкриволінійних ділянок, де дві опуклі ділянки сполучаються увігнутою ділянкою з чітко заданим положенням точок переходу від однієї ділянки до іншої. Зауважимо, що всі ділянки представлені дискретно заданою множиною опорних точок. Надалі, цю множину точок будемо називати дискретно представленою кривою (ДПК). Для зручності сприйняття схеми (Рисунок 3) обмежимося мінімальною кількістю точок ДПК. Зазначимо, що точки спряження, які представлені на рисунках 1-2, на принциповій схемі (Рисунок 3) визначаються як точки переходу.

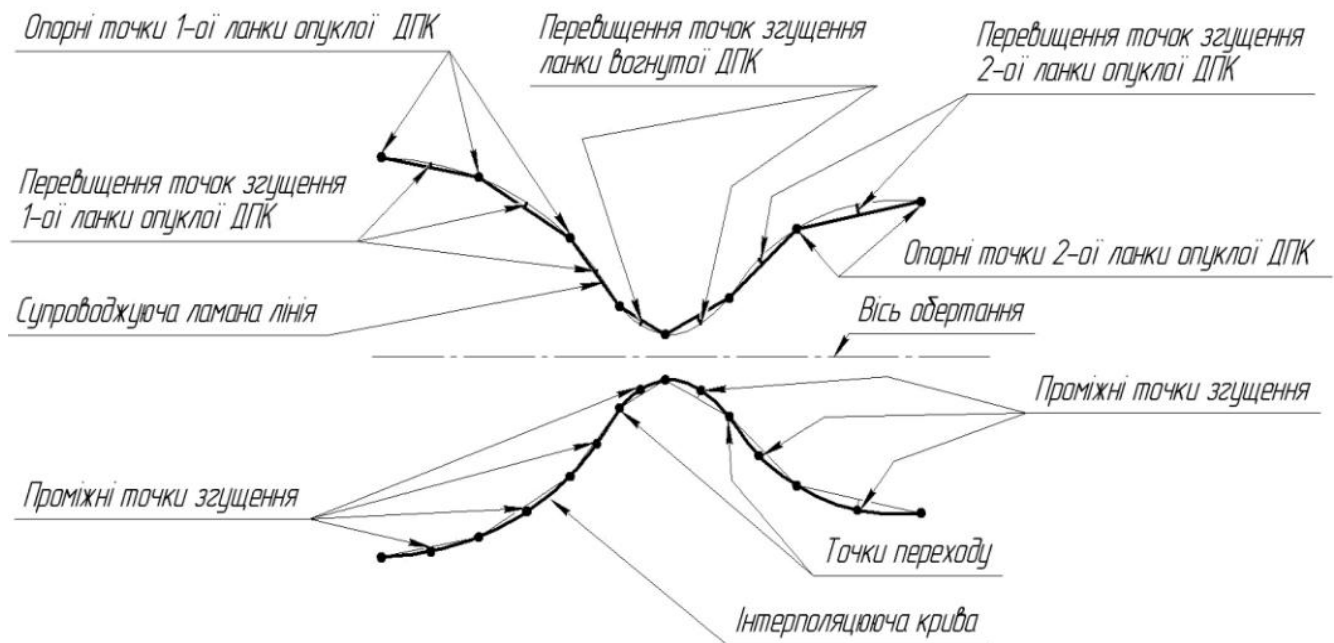


Рисунок 2.6.23.3 - Принципова схема побудови внутрішнього профілю змішувача, поверхня якого побудована за допомогою серединних перпендикулярів.

Однак, існуючі, загальновідомі, алгоритми розрахунку дискретно представлених кривих ліній-перетинів функціональних поверхонь не завжди задовольняють вимоги сучасного устаткування з числовим програмним керуванням, оскільки кількості визначених точок робочого профілю буває недостатньо для якісного виготовлення запропонованого виробу.

Для виконання поставленого завдання скористуємось розрахунковою схемою згущення дискретно представлених кривих (ДПК) за допомогою серединних перпендикулярів.

Супроводжуюча ламана лінія (СЛЛ) дозволяє відстежувати характеристики контуру внутрішньої поверхні форсунки до певної, наперед

2.6.24 Інформаційна система аналізу груп складних видів дефектів ливарного виробництва

В даний час в якості заготовок для різних деталей використовують метод лиття під тиском, так як він є прогресивним і широко поширеним способом отримання точних виливків з якісної поверхнею [75]. Однак цей процес не забезпечує гарантовану герметичність деталей, отриманих за допомогою ливарних операцій. Пневмоапаратура, що працює під тиском стисненого повітря до 1МПа через підвищену газо-усадочну пористість виливків не в змозі забезпечити якість робочих поверхонь ливарних виробів. Існуючі методи герметизації різними герметиками і просочення у вакуумі не дають можливість отримувати герметичні роз'ємні з'єднання без дефектів [1,2].

Зовнішній вигляд дефекту несе дуже цінну інформацію про природу його виникнення і дозволяє з достатньою точністю вивести на потрібний напрямок при визначенні причин виникнення браку (Рисунок 1).

Однак, на жаль, сучасний процес аналізу причин виникнення ливарних дефектів та розробка засобів їх ліквідації ґрунтується виключно на досвіді провідних фахівців ливарного виробництва, більшість з яких вже передпенсійного віку, а у «молодих» фахівців – бракує професійного досвіду. Тому, на наш погляд, вкрай необхідна систематизація знань, навичок та наробок провідних фахівців для аналізу причин виникнення дефектів при отриманні виливків корпусних (і не тільки) деталей з чавуну та сталі.

Результати системного аналізу підвищення якості литва вже почали входити в практику ливарних цехів провідних підприємств, як ООО «ПК «Новочеркасский электровозостроительный», ОАО «Пензадизельмаш», ОАО «Коломенский тепловозостроительный», ОАО «Метровагонмаш», ОАО «Тверской вагоностроительный», ЗАО УК «Брянский машиностроительный», ООО «ПК «Бежецкий сталелитейный» та ін. Але, серед виробничих підприємств, які починають систематизувати та аналізувати причини виникнення дефектів лиття та способи їх ліквідації, у доступних інформаційних джерелах не було знайдено жодного підприємства України.

З огляду на вищезазначене, виникає необхідність створення інформаційної системи, ґрунтованої на системному аналізі груп складних видів дефектів, для оперативного виявлення причин виникнення і визначення способів їх ліквідації для конкретних підприємств м. Мелітополь з оглядом на можливість використання даних досліджень на провідних підприємствах України, що ґрунтує актуальність пропонованих досліджень.

Для вирішення завдання по розробці деталі «Корпус крана» скористуємось САД системою Power Shape. Сама модель була спроектована з поверхонь за допомогою операцій витягування, обертання, заокруглення і ін. (Рисунок 2., А, Б). Так як можливості PowerShape перевершують інші

програмні продукти в створенні поверхонь то з її допомогою (Рисунок2., в, г) вдалося отримати найбільш оптимальну форму як вент каналу так літникової системи, що є оптимальним в поєднанні з наявністю в самій програмі модуля Toolmaker (Рисунок3.) для розробки ливарних форм.



Рисунок 2.6.24.1 -Структура виливку в перетині

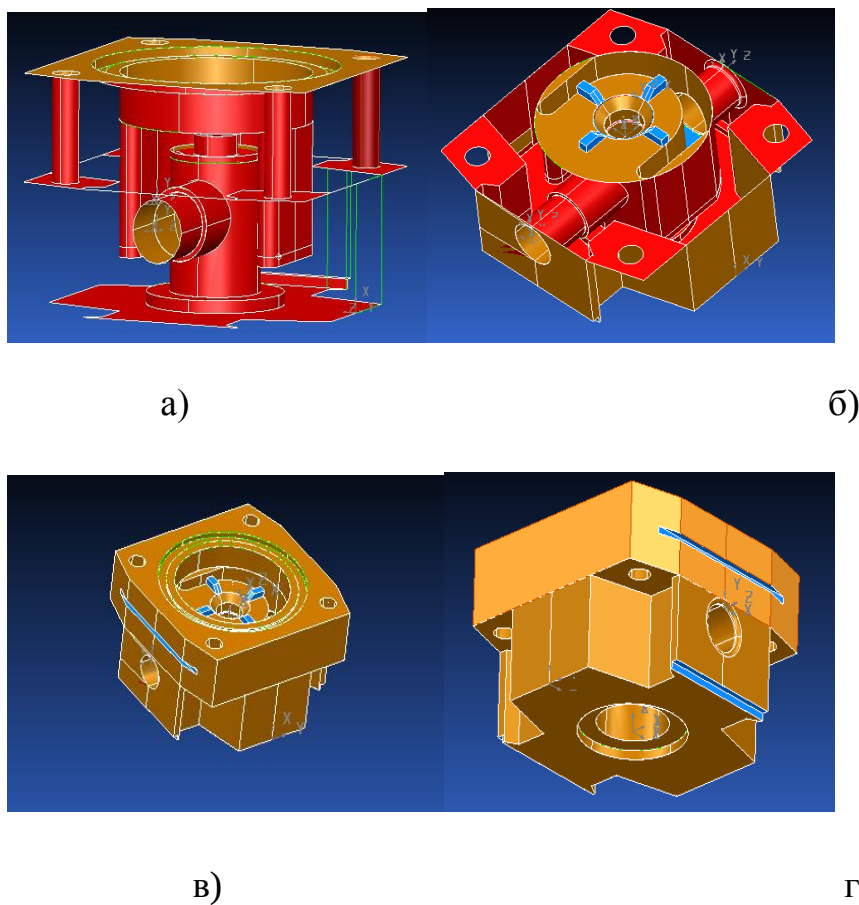


Рисунок 2.6.24.2 -Розроблена модель деталі «Корпус крана»

За допомогою програмного модуля Toolmaker розроблено ливарну форму Рисунок4.

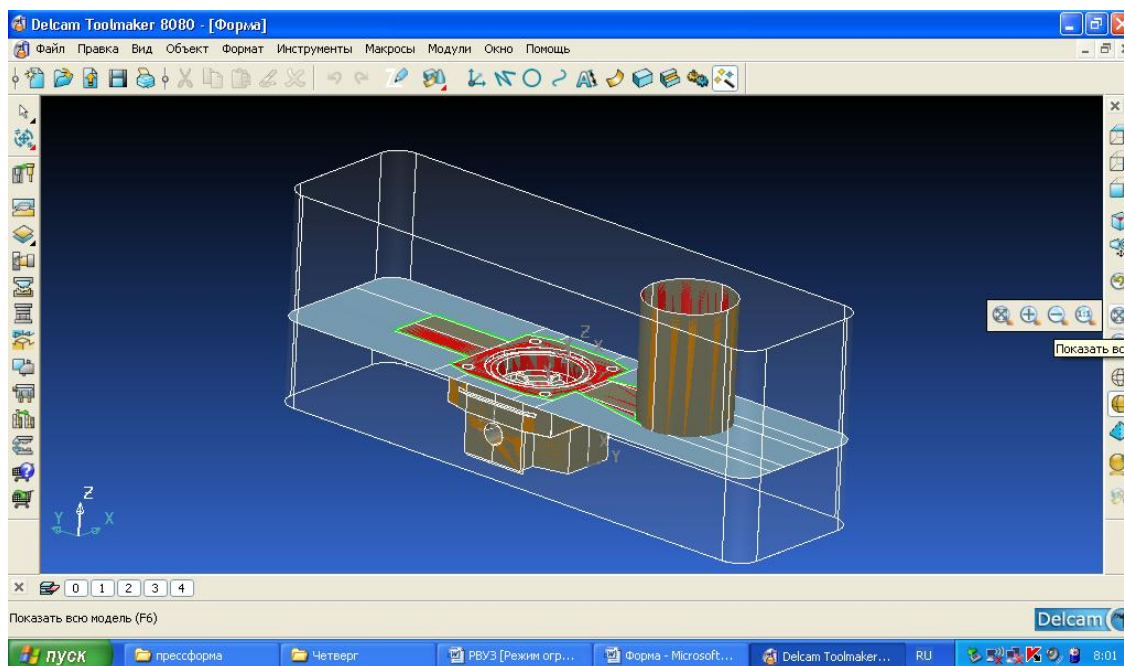


Рисунок 2.6.24.3 -Процес проектування ливарної форми.

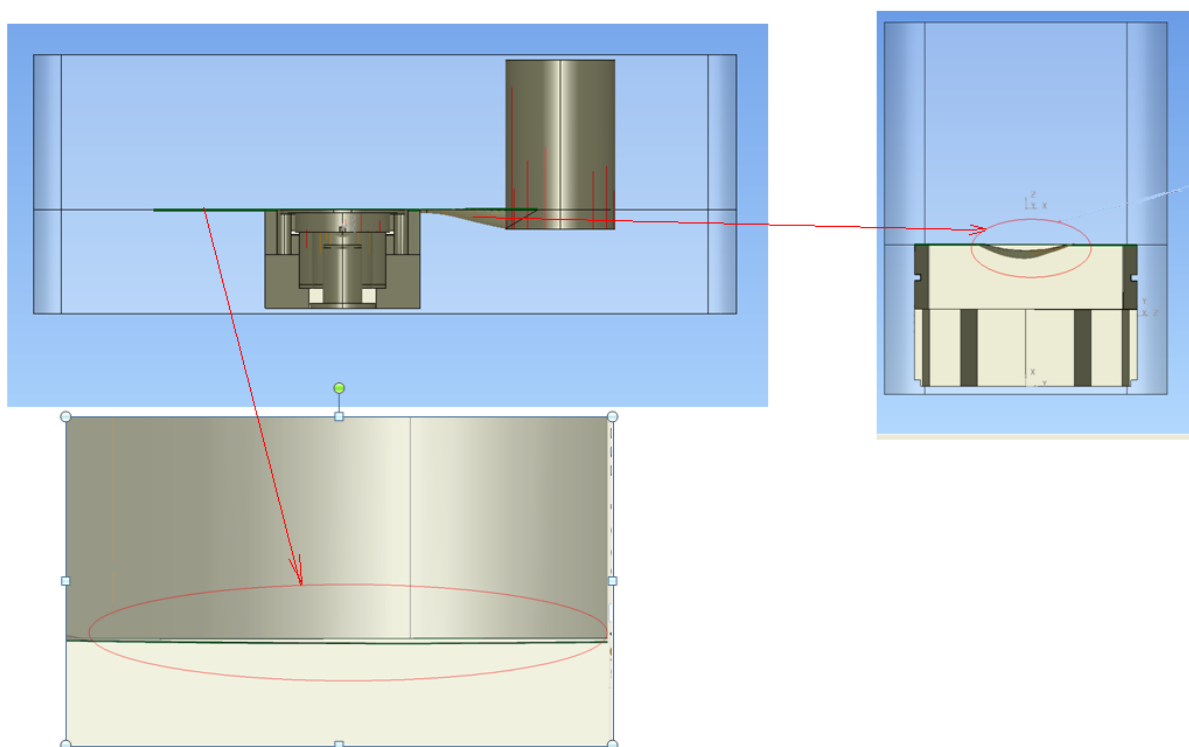


Рисунок 2.6.24.4. - Ливарна форма, отримана за допомогою модуля Toolmaker програмиPowerShape

в якій врахували вплив аеродинамічних і гідравлічних законів таких як вплив критерію числа Рейнольдса і вплив форми на виникнення турбулентного руху потоку в вентиляційних і ливникових каналах а також вплив гідравлічного діаметра. З [1] можна розрахувати гідравлічний діаметр отвору літникової системи для будь-якого перетину:

$$D_g = \frac{4F}{P}$$

Площа й периметр еліптичного перетину визначається за формулами:

$$F_э = \pi a_1 b_1 = 3,1416 * 0,075 * 10 = 2,355 \text{ мм}^2$$

$$2P_э = 3,1416 \sqrt{2(a_1^2 + b_1^2)} = 3,1416 \sqrt{2(0,075^2 + 10^2)} = 44,43 \text{ мм}$$

$$P_э = 22,215 \text{ мм}$$

Тоді:

$$D_{гэ} = \frac{4F_э}{P_э} = \frac{4 * 2,355}{22,215} = 0,424 \text{ мм}$$

Площа й периметр прямокутного перетину знаходяться за формулами:

$$F_{\Pi} = ab = 0,15 * 20 = 3 \text{ мм}^2$$

$$P_{\Pi} = 2(a + b) = 2(0,15 + 20) = 40,30 \text{ мм}$$

Тоді:

$$D_{г\Pi} = \frac{4F_{\Pi}}{P_{\Pi}} = \frac{4 * 3}{40,30} = 0,298 \text{ мм}$$

Т.к. $D_{гэ} > D_{г\Pi}$, то й витрати повітря для еліптичного перетину будуть більшими, ніж для прямокутного [4,5,6]: $Q_э > Q_{\Pi}$

2.6.25 Розробка алгоритму програмного забезпечення для формування обводів по заданим геометричним умовам

В роботі запропоновано алгоритм і його програмна реалізація для моделювання одновимірних обводів з монотонною зміною кривизни [76]. Вихідними даними для моделювання є координати вузлів, порядок гладкості і закономірність зміни радіусів кривизни уздовж обводу. Параметрами управління формою обводу є положення центрів кривизни і нормалей до кривої, які призначаються в початкових точках. Крива моделюється за попередньо сформованої еволюті, яка представляє собою опуклий обвід першого порядку гладкості. Еволюта монотонної кривої формується з урахуванням наступних вимог: еволюта є опуклою кривою; нормалі до кривої є дотичними до еволюті, яка її визначає; довжина еволюті дорівнює різниці радіусів кривизни в точках, що обмежують відповідну ділянку кривої.

Обвід формується всередині області можливого розташування кривої, що відповідає задачі. Обмеженість діапазону рішення дозволяє контролювати відсутність осциляції і забезпечувати необхідні вимоги до характеристик і гладкості обводу. Особливістю методу є багаторазове повторення

розрахункових алгоритмів, яке призводить до заміни із заданою точністю вихідного геометричного образу, що супроводжує ламану лінію.

2.7 Семантична обробка інформаційних ресурсів ринку праці

Дескриптивні логіки використано у процесі опису понять предметної області в формалізованому вигляді[23, 46, 47]. Теорію множин, логіку предикатів та апарат теорії графів використано для моделювання структури онтології; методи дискретної оптимізації використано для оптимізації змісту онтології; теорія доведення теорем покладено в основу верифікації структури онтології; для програмної реалізації розробленої моделі та алгоритмів застосовано платформу Semantic MediaWiki. В якості мови проектування комп'ютерних онтологій використана мова подання онтологій OWL (WebOntologyLanguage). Для створення й редагування комп'ютерної предметно-орієнтованої онтології використано редактор Protege-OWL як гнучке, незалежне від платформи середовище, що забезпечує наочний і зручний у використанні графічний інтерфейс користувачу. Програмна реалізація інтелектуальної системи інформаційного та когнітивного супроводу функціонування Національної рамки кваліфікацій на основі онтологічного підходу планувалась здійснювати засобами PHP, Java, MySQL. При цьому, в ході виконання проекту прийнято рішення про використання семантичної платформи Semantic MediaWiki. Семантичне розширення Semantic MediaWiki (SMW), що дозволяє користувачам додавати семантичні анотації до Wiki-сторінок, перетворюючи MediaWiki у семантичний ресурс, значно розширює сферу використання такої системи порівняно з традиційними базами даних та системами управління конвентом [23, 46, 47].

Запропонований підхід до зіставлення кваліфікацій базується на онтологічному аналізі знань щодо компетенцій людей і вимог до них. Онтології забезпечують формалізацію таких знань, їхню інтеоперабельність і потужні механізми для їхньої автоматичної обробки.

Провідна ідея дослідження полягає у використанні семантичного аналізу для здобуття онтологічних знань про результати навчання та кваліфікації з ресурсів Semantic Web, у т.ч. Wiki-ресурсів та природномовних документів, та застосуванні семантичної технології Semantic MediaWiki у сфері створення інтелектуальних систем інформаційного та когнітивного супроводу функціонування Національної рамки кваліфікацій.

Основною гіпотезою дослідження було припущення про ефективність комп'ютерних онтологій у концептуалізації (формальному та декларативному описі) предметної області, пов'язаної з функціонуванням Національної рамки кваліфікацій. Гіпотеза, яка була висунута наприкінці I етапу виконання проекту про використання мови програмування високого рівня з логічними мовами чи мовами представлення знань та веб-технології і СУБД у процесі розробки інформаційної інтелектуальної системи, була відхилена. Гіпотеза про ефективність використання платформи Virtuoso для пу-

блікацій комп'ютерної онтології (RDF-файлів) НРК та розробки інтуїтивно-зрозумілого інтерфейсу роботи зі SPARQL-запитами в інформаційній системі, підтверджена частково. Гіпотеза про ефективність застосування семантичної технології Semantic MediaWiki у сфері створення інтелектуальних систем інформаційного та когнітивного супроводу функціонування Національної рамки кваліфікацій підтверджена повністю.

Загальні досягнуті результати наступні:

- Проаналізовано актуальність інтеграції національних та Європейської рамок кваліфікацій для співставлення результатів навчання у різних країнах та теоретичні дослідження в цій сфері та інструментальні засоби, що побудовані на їх основі;
- Розглянуто підходи, за якими Національна рамка кваліфікацій України має узгоджуватися з Європейською рамкою кваліфікацій, та проблеми, що виникають в процесі її використання на практиці;
- Обґрунтована необхідність створення інструментальних засобів, що базуються на технологіях Semantic Web, для зіставлення рамок кваліфікацій;
- Розроблена теоретична модель і алгоритм співставлення онтологій та Wiki-ресурсів, які дозволяють динамічно поповнювати онтології та зіставляти інформаційні об'єкти, що описані в них;
- Виконана програмна реалізацію запропонованого підходу.
- Розроблена онтологічна модель кваліфікацій, що структурує представлення різних складних інформаційних об'єктів (людей, дисциплін, спеціальностей, організацій і т.д.). Онтологічне представлення знань про компетенції цих об'єктів забезпечують їхнє автоматичне зіставлення.
- Розроблено алгоритм такого зіставлення. Структура атомарних компетенцій представлена онтологією, що може бути автоматично побудована на основі семантично розмічених ресурсів Web.

Практична значимість. Результати даної дослідницької роботи були використані при розробці інтелектуальної системи для інформаційного і когнітивного забезпечення функціонування національної кваліфікаційної рамки і можуть бути інтегровані з різними інтелектуальними системами, орієнтованими на обробку компетентностей на базі Web-інформаційних ресурсів.

Представлено теоретичне обґрунтування системи UkrESCO, призначеної для формування паспорту набутих компетенцій, пошуку вакансій та співставлення компетенцій з вимогами до вакансії на основі моделі ESCO з використанням технологій Semantic Web та інформаційних ресурсів відкритого інформаційного середовища Web. Розроблені інструментальні засоби, які дозволяють ефективно використовувати ESCO та забезпечують перехід від кваліфікаційної моделі до повноцінних компетентнісних моделей, вбачається актуальним і своєчасним науковим завданням. Так як суб'єкти на ринку праці можуть описувати свої пропозиції або вимоги через неформалізовані характеристики, які часто є нематеріальними (наприклад, командний дух, соціальні навички, лідерські навички), і для опису таких характеристик можуть використовуватися різні терміни, встановлення діалогу між ними потребує

співставлення семантики таких описів. Розв'язувати таку проблему можуть семантичні технології, які спрямовані на обробку інформації на рівні знань, тобто здатні формалізувати, аналізувати та обробляти зміст (семантику) інформаційних ресурсів.

Обґрунтовано актуальність розробки підходів до поєднання ринку надання освітніх послуг з ринком праці через перехід від кваліфікаційних до повноцінних компетентнісних моделей з упровадженням «паспорту набутих компетенцій», який супроводжує людину упродовж її особистісного розвитку і професійної кар'єри. Проаналізовано теоретичні дослідження у сфері опрацювання інформації про набуті кваліфікації і компетенції та інструментальні засоби, що побудовані на їх основі. Докладно розглянуто класифікатор ESCO, який об'єднує ринки праці з різних країн-членів ЄС, дозволяючи здобувачам роботи і роботодавцям більш ефективно оперувати інформацією про результати формального і неформального навчання. Визначено основні недоліки існуючих підходів, запропоновано підходи до розв'язання вказаних проблем за допомогою обробки інформації на семантичному рівні. Для цього розглянуто сучасні інформаційні технології, орієнтовані на обробку розподілених гетерогенних ресурсів Web, і визначено найбільш придатні з них для розв'язання визначеної проблеми. Теоретично обґрунтовано принципи розробки інформаційної системи UkrESCO, що призначена для семантичної обробки інформаційних ресурсів про набуті кваліфікації й компетенції на основі моделі багатомовного класифікатора навичок, компетенцій, кваліфікації та професій ESCO. Ця система базується на технологіях і рішеннях Semantic Web, а саме програмних агентах, Web-сервісах та онтологіях. Запропоновано узагальнену архітектуру системи UkrESCO та її онтологічну модель. Запропоновано схему взаємодії UkrESCO із зовнішніми пошуковими системами і структурованими джерелами інформації, що базуються на Wiki-технології. Це забезпечує доступ до знань предметної галузі й актуалізацію відомостей щодо суб'єктів ринку праці. Використання онтології UkrESCO дозволяє здійснювати семантичний пошук у Web і знаходити як пертинентні природно-мовні інформаційні ресурси з визначеними властивостями, так і забезпечити взаємодію UkrESCO із семантично розміченими ресурсами.

Результати дослідження дозволили зробити наступні висновки.

По-перше, проведений аналіз результатів опитування показав основні тенденції: розуміння, наскільки важлива роль освіти протягом усього життя; пріоритет освітньої діяльності, незалежно від віку, рівня і профілю попередньої освіти; характер зайнятості; досвід роботи; отримувані доходи та район проживання респондентів.

По-друге, за останнє десятиліття, інтерес в отриманні освітніх послуг збільшилися серед сільського населення регіону. Процеси децентралізації, які відбуваються в Україні сьогодні є каталізатором для цього інтересу, в першу чергу в області громадянської освіти, і це буде сприяти подальшому формуванню запиту сільських громадян на освітні послуги.

По-третє, існує нагальна необхідність у створенні умов для оновлення знань і перепідготовки кадрів, що пов'язано зі збільшенням конкуренції на ринку праці; існує необхідність в сучасних високоякісних освітніх продуктах, в першу чергу серед самозайнятих осіб (підприємців, осіб без постійного місця роботи). У той же час потрібні і слуги спорту і відпочинку, художнього та естетичного, історичного, культурного і психологічних напрямків, які користуються попитом.

Слід зазначити, що більше уваги слід приділяти дослідженню стереотипів сприйняття навчання респондентів різного віку і недостатню інформованість респондентів про сучасні організаційні форми і методи навчання. Існує ще попит на активні і практично спрямовані методи навчання сільських жителів.

Соціологічне дослідження, проведене в ході реалізації проекту по виявленню освітніх потреб жителів Запорізької області і рівня їх задоволеності дозволило виявити фактори, що впливають на розвиток освіти регіону, а саме: доступність і взаємозв'язок різних рівнів і форм навчання; необхідність співпраці і партнерства між усіма зацікавленими сторонами в процесі регіонального розвитку, обмін ресурсів; необхідність постійного діалогу та використання механізмів зворотного зв'язку в процесі розробки і реалізації регіональних програм і стратегій розвитку; необхідність стимулювати розвиток соціального партнерства шляхом створення постійних зв'язків між різними установами та організаціями формальної та неформальної освіти; необхідність розширення волонтерського руху в області неформальної освіти; необхідність створення експериментальних пілотних проектів в якості перспективних ресурсних центрів з управління розвитком регіональної освіти. Результати проведеного соціологічного дослідження можуть бути використані державними установами та місцевими органами влади для формування політики регіональної освіти, постачальниками освітніх послуг в регіоні з метою визначення пріоритетних напрямків своєї власної стратегії діяльності.

ВИСНОВКИ

3.1.1 Розроблена математична модель та програмне забезпечення для проведенні регресійного аналізу впливу факторів на досліджувану ознаку (урожайність, показники якості зберігання сільськогосподарських культур) при наявності порушення умови теореми Гауса-Маркова – некорельованості регресорів, побудована модель дозволяє виявити адекватний вплив оркмо кожного фактору на результуючу ознаку.

Запропоновано методику побудови і аналізу регресійних моделей, яка дозволяє побудувати ефективні оцінки параметрів регресії в умовах мультиколінеарності факторів на основі порівняння різних моделей за набором критеріїв, а саме - кількість факторів, залучених в моделі, кількість незначущих факторів в моделі, кількість факторів, які мають значення показника $VIF > 10$ (тобто кількість факторів, які породжують ефект мультиколінеарності), значення оцінки моделі за критерієм AIC (вважається, що, чим краще модель, тим менше значення критерію), значення нормованого коефіцієнта детермінації. $R^2_{adjusted}$

Запропоновано модель, яка описує вплив показників зберігання зерна (температура зернової маси, вологість зерна, температура повітря в зерносковище, температура холодоагенту і обсяг подачі повітря на якісні характеристики зерна (клейковини). При аналізі даних за допомогою парних коефіцієнтів кореляції і показника VIF був виявлено ефект мультиколінеарності. У цьому випадку використовувати метод найменших квадратів неефективне. Була побудована регресійна модель на основі методу LASSO, який дозволяє побудувати ефективні оцінки параметрів регресії. на основі побудованої моделі проаналізовано чинники, що впливають на показник клейковини і показано, що найбільш значущим є фактор «Середня температура зерна в зерносковищі, $^{\circ}\text{C}$ », потім - «Вологість зерна,%», «температура повітря в зерносковище, $^{\circ}\text{C}$ », «температура холодоагенту, $^{\circ}\text{C}$ » і «Об'ємна подача повітря, $\text{м}^3 / \text{ч}$ ». Визначено показники частки впливу кожного фактора на показник клейковини пшениці при зберіганні. Дол я фактора «Середня температура зерна в зерносковищі, $^{\circ}\text{C}$ » становить 55%, частка фактора «Вологість зерна,%» -34%, частка фактора «Температура повітря в зерносковище, $^{\circ}\text{C}$ » -18%, частка фактора «Температура холодоагенту, $^{\circ}\text{C}$ » - 11% і частка фактора «Об'ємна подача повітря, $\text{м}^3 / \text{ч}$ » становить 2,9%.

3.1.2 Розроблено алгоритм побудови сбалансованого ортогонального плану, оптимального за критерієм D-efficient. Алгоритм базується на використанні операції доюутку Кронекера матриць і блочного підсумовування матриць. На підставі запропонованого алгоритму побудований і реалізований експеримент по дослідженню оптимальних значень параметрів пневмогравітаційного сепаратора насіння. Оптимальні

значення параметрів, знайдені на підставі математичної моделі, підтверджені дослідним шляхом.

3.1.3 Розроблено програмний модуль визначення показників пластичності і стійкості при оцінці гібридів сільськогосподарських культур на основі методу Еберхарда-Рассела і побудована регресійної модель, проведено дисперсійний аналіз. Застосування аналізу пластичності і стійкості дозволяє проводити комплексну оцінку нових гібридів з точки зору їх пристосування до умов вирощування і норми реакції генотипів на технологію вирощування. Проведені дослідження показали, що певне число генотипів характеризується середнім груповим значенням індексу пластичності виходу: PR64LE19, PR64LE71, PR64LE11, PR64A71. Стабільність коливається від 0,29 у гібриді PR64LE11 до 32,51 в гібриді PR64LE19. Рослини гібридів PR64LE71 і PR64LE19 змінюють свою екологічну пластичність при різних умовах вирощування (коефіцієнт регресії становить 1,00 та 0,98 відповідно), але поряд з цим ці гібриди нестабільні. Таким чином, вся мінливість продуктивності цих гібридів пов'язана тільки з умовами навколишнього середовища, але не з їх генетичними властивостями.

3.1.4 Проведений регресійний аналіз на основі експериментальних даних за 2005-2015 рр. підтвердив наявність сильної лінійної кореляційної залежності між основними агрометеорологічними показниками та врожайністю соняшника. Запропонована лінійна регресійна модель дозволить виконати прогноз врожайності соняшника на наступні періоди в залежності від метеорологічних умов.

3.1.5 Розроблена інформаційна система автоматизованої локалізації окремих ділянок місцевості на основі їх аерофотознімків. Розроблена на основі алгоритму SIFT інформаційна система дозволяє ефективно автоматизувати роботу з побудови маршруту польоту безпілотного літального апарату. Областю застосування даної інформаційної системи перш за все є автоматизація процесу побудови маршруту польоту БПЛА на основі зроблених з нього фотознімків земної поверхні з подальшою прив'язкою цих зображень до певної місцевості та семантичного їх аналізу.

3.2.1 Запропоновано універсальний алгоритм визначення місця розташування джерела аероіонного випромінювання при наявності комбінованої розрахункової площини дозволяє скорегувати місце розміщення джерела аероіонного випромінювання з метою отримання зон із заданими параметрами іонізації повітря. Також отримані результати дають можливість автоматизувати процес обчислення за допомогою комп'ютерних математичних середовищ.

3.2.2 Запропонована комп'ютерна система моделювання аероіонного розподілу на похилій площині в середовищі математичного процесора Maple дозволяє візуалізувати і прогнозувати процес розподілу концентрації негативних аероіонів в приміщеннях, які мають такий тип площини. Оригінальний алгоритм моделювання розподілу концентрації негативних аероіонів в середовищі математичного процесора Maple дозволяє отримати картину розподілу аероіонів на похилій площині при різному її положенні (при зміні кута на-

хилу до горизонтальної площини від 00 до 900). Отримані результати можуть бути використані при проектуванні місця розташування системи іонізації повітря з метою забезпечення нормованих показників концентрації негативних аероіонів у виробничих і побутових приміщеннях.

3.2.3 Встановлено, що запропоноване спеціалізованого програмного забезпечення, яке дасть змогу визначати аероіонний розподіл у заданому середовищі, на основі якого давати рекомендації стосовно оптимального розміщення аероіонізаторів у цьому середовищі. Алгоритм автоматизованої побудови ізоперерхні концентрації аероіонів передбачає отримання просторової моделі як рішення самостійної задачі, так і як особливий випадок при розгляді просторової моделі шляхом перетину отриманих ізоперерхонь горизонтальними площинами. З метою раціоналізації використання розсіювальних аероіонізаторів та аероіонізаторів спрямованого аероіонного випромінювання доцільно їх використовувати сумісно.

3.2.4 Обґрунтована математична модель розповсюдження негативних аероіонів у закритому приміщенні. Отримані рівняння для моделювання розподілення концентрації від'ємних аероіонів на нахилений площині. Встановлено, що існуючі програмні засоби проектування оптимального мікроклімату робочої зони неможливо використовувати на мобільних засобах. Розроблена система є мобільною та дозволяє її використання у будь-який час з будь-якого мобільного пристрою з встановленою ОС Android вказаних версій. Дана перевага мобільної системи є науковою новизною у даній проблемній області. Система дозволяє ефективно автоматизувати процес розміщення аероіонізаційних приладів, внаслідок чого відбувається розміщення робочих місць в найбільш сприятливе місце для роботи.

3.2.5 Проаналізована просторова модель розподілення від'ємних аероіонів у робочому просторі. Запропонована інформаційна система дозволяє ефективно автоматизувати процес розміщення аероіонізаційних приладів, внаслідок чого відбувається розміщення робочих місць в найбільш сприятливе місце для роботи. Перевагами запропонованої інформаційної системи є її мобільність, що дозволяє її використання у будь-який час з будь-якого мобільного пристрою з встановленою ОС Android.

3.2.6 Проаналізовано методи використання ємнісних датчиків вологості ґрунту та технологію обробки його експериментальних даних. Порівняльний аналіз ємнісного та резистивного датчиків вологості ґрунту виявив доцільність використання ємнісного датчику у схемі автоматизованого поливу для вимірювання питомого опору ґрунту. Розроблена система автоматизованого поливу ґрунту, яка дозволяє мінімізувати час, що витрачається на полив території в порівнянні з ручним способом поливу; зручно та комфортно виконувати полив території; здійснювати полив ґрунту потрібною кількістю води, в заданий (визначений) час для ефективного росту рослин; оптимізувати витрати.

Розроблена ситема здатна в автоматизованому режимі підтримувати задані (нормовані) параметри температури (включення і відключення кондиці-

онера на тепло і на холод) і відносної вологості у виробничому приміщенні шляхом порівняння поточних значень від приладів вимірювання із нормованими значеннями та видачі відповідних керуючих сигналів включення і відключення виконавчих приладів. Всі дані поточних і заданих значень контрольованих параметрів мікроклімату зберігаються у базі даних з прив'язкою до реального часу (дата, час) і користувач має змогу вивести статистичні дані за певний період часу на монітор або роздрукувати звіт.

3.3.1 Розроблена експертна система призначена для використання тваринників, зоотехніків та інших зацікавлених осіб. Її використання надає можливість проводити якісне та повноцінне вирощування овець у господарствах країни без витрачання часу на пошук потрібної інформації. Також використання даної системи дозволить приватним фермерським господарствам підвищити їх економічні показники та дозволить значно збільшити їх прибутки.

3.3.2 У результаті проведеної роботи була розроблена методологія створення інформаційної системи „АРМ агронома-рослини”. Було визначено, що для повноцінного виконання поставленого завдання потрібно виконати 16 етапів згідно розробленої нами методології. Дана інформаційна система („АРМ агронома”) призначена для агрономів, аграріїв, вузьких фахівців з вирощування соняшника. У результаті проведеної роботи виконано проектування інформаційної системи „АРМ агронома”. Було визначено, що для повноцінного виконання поставленого завдання потрібно виконати 10 етапів згідно розробленої нами методології проектування системи.

Використання даної АРМ-системи дозволить зберігати час агроному при виборі раціональних параметрів вирощування та збирання, що в свою чергу підвищить усі економічні показники даного приватного господарства та принесе йому значні фінансові прибутки.

3.3.3 Розроблено довідкову інтелектуальну експертну систему для вівчарства у приватних господарствах країни. Система дозволяє давати рекомендації найбільш раціональної та ефективно технології вирощування овець для приватних господарств країни в залежності від вхідних критеріїв (даних). Впровадження та використання такої системи дозволить різним приватним господарствам або окремим фермерам (вівчарям) передбачити, а у подальшому і збільшити виробництво та якість м'яса, вовни, смушок та хутра розведення вівців. А це в свою чергу дозволить зменшити витрати на технологію при їх розведенні, зберегти час фермеру, при пошуку інформації для їх вирощування, заощадити на ліках, кормах, що в свою чергу підвищить прибутки та рентабельність окремого господарства.

3.4.1 Проаналізовано методи використання ємнісних датчиків вологості ґрунту та технологію обробки його експериментальних даних. Порівняльний аналіз ємнісного та резистивного датчиків вологості ґрунту виявив доцільність використання ємнісного датчику у схемі автоматизованого поливу для вимірювання питомого опору ґрунту. Розроблена система автоматизованого поливу ґрунту, яка дозволяє мінімізувати час, що витрачається на полив

території в порівнянні з ручним способом поливу; зручно та комфортно виконувати полив території; здійснювати полив ґрунту потрібною кількістю води, в заданий (визначений) час для ефективного росту рослин; оптимізувати витрати.

3.4.2 Розроблена ситема, яка здатна в автоматизованому режимі підтримувати задані (нормовані) параметри температури (включення і відключення кондиціонера на тепло і на холод) і відносної вологості у виробничому приміщенні шляхом порівняння поточних значень від приладів вимірювання із нормованими значеннями та видачі відповідних керуючих сигналів включення і відключення виконавчих приладів. Всі дані поточних і заданих значень контрольованих параметрів мікроклімату зберігаються у базі даних з прив'язкою до реального часу (дата, час) і користувач має змогу вивести статистичні дані за певний період часу на монітор або роздрукувати звіт.

У результаті виконаної роботи було проаналізовано основні принципи роботи Ардуіно в якості веб-сервера та веб-клієнта. Клас «Server» створює сервер, який може передавати данні та отримувати данні від підключених клієнтів (користувачів). Клас «Client» створює клієнтів, які можуть підключатися до серверів та обмінюватися даними, який підключається до сервера по вказаному в параметрах IP-адресою та портом.

3.5.1 Розроблено систему дистанційного вивчення дисципліни «Проектування розподілених та паралельних систем», яка має простий та зручний інтерфейс; дозволяє якісно та поглиблено вивчити приведену дисципліну. Система використовує майже всі види навчання та контролю знань студентів, та відрізняється від інших схожих систем наявністю тестового модуля для перевірки знань. Створену систему можна розширювати, як функціонально (інтерфейсно), так і програмно (наприклад, збільшити об'єм та кількість усіх видів робіт, у тому числі і тесту вального блоку). Як перспектива для розвитку, є можливість написання перетворення та переорієнтація системи для будь якою іншої дисципліни ВНЗ.

3.5.2 Розроблено програмний модуль в якому реалізована методика створення середовища розробки навчальних програмних систем на основі технології Drag-and-drop. Програмний продукт, який було розроблено, дозволяє створювати спеціальні елементи управління, які мають властивості «Drag-and-Drop».

3.5.3 Розроблена програма-тренажер на основі технології Drag-and-drop. для вивчення тем з дисципліни Дослідження операцій для студентів спеціальності 122 - Комп'ютерні науки При створенні навчального тренажеру використана інтерактивна модель з контролем дій користувача. Навчальна програма-тренажер передбачає багатократне проходження матеріалу на кожному окремому етапі, поки не буде отримано правильний розв'язок. Запропонований навчальний тренажер для організації процесу інтерактивного навчання використовує технологію «Drag-and-drop» для виконання математичних розрахунків на різних етапах ітераційного алгоритму задачі та контролю правильності їх виконання в діалоговому режимі. Це дозволяє використовувати

більш наглядні візуальні схеми алгоритму розв'язку задачі, та концентрує увагу студента на основних етапах алгоритму, а не на виконанні громіздких математичних розрахунків.

3.5.4 Наведено та проаналізовано метод розпізнавання мовлення, а саме можливість використання цієї технології для мовного керування елементами веб-сайтів. Особливістю запропонованої моделі є виконання розпізнавання мовлення не на сервісі або за допомогою будь-яких програмних модулів, як це відбувається у більшості випадків, а на самому пристрої із застосуванням лише мікрофону. У вже існуючу конструкцію можна легко додавати будь-які команди. Розпізнавання мови реалізовано на сторінці веб-сайту за допомогою мови програмування Javascript. Робота скрипта базується на використанні інтерфейсів SpeechRecognition Web Speech API та SpeechGrammarList API Web Speech.

3.6.1 Запропоновано методику геометричного моделювання профілів кулачків механізмів заточувальних пристроїв та згущення прямолінійних ділянок супроводжуючої ламаної лінії профілю кулачка задовольняє вимогам, що висуваються до роботи кулачкових механізмів з низькою швидкістю обертання. Розроблене програмне забезпечення для моделювання функціональних поверхонь кулачкових механізмів заточувальних верстатів, які мають низьку обертальну швидкість дозволяє зменшити витрати часу на дослідження задачі профілювання. Всі розрахунки проводяться в автоматичному режимі. Участь проектувальника в процесі розрахунків вдалося звести до необхідного мінімуму.

3.6.2 Запропонований метод геометричної корекції багатоспектральних зображень дозволяє зкоригувати спотворення зображень, викликані косим зсувом. Перспективи подальших досліджень за тематикою роботи пов'язані із розробкою комплексних методів корекції спотворень багатоспектральних зображень ДЗ.

3.6.3 Запропоновано спосіб автоматизації процесу локальної інтерполяції точкового ряду із заданими у вузлах дотичними на основі адаптивної схеми згущення дискретно представленої кривої дозволяє максимально скоротити терміни розрахунків координат нормальних перетинів складних поверхонь. Програмна реалізація запропонованої методики сприяє автоматизації процесу проектування функціональних поверхонь вузлів машин та механізмів сільськогосподарського призначення.

3.6.4 Розроблено програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання равлика турбокомпресора на основі використання методу згущення ДПК на основі серединних перпендикулярів, яке дає змогу візуально контролювати процес комп'ютерної побудови каналової поверхні в автоматичному режимі.

3.6.5 Викладений метод дозволяє будувати не тільки МНК криві загального вигляду, а й трансцендентні апроксимуючі криві (тригонометричні, показові функції і т.п.).

3.6.6 В результаті проведених досліджень визначені умови, при яких

полярний торс визначає монотонну криву лінію – криву постійного ходу, вздовж якої радіуси дотичних кіл і сфер монотонно зростають або убують. Встановлено можливі варіанти поєднань характеристик монотонних кривих і відповідні параметри їх полярних торсів. Отримані залежності дозволять формувати на основі точкових рядів довільної конфігурації одномірні обводи із заданими геометричними властивостями і мінімальним, за умовами завдання, числом особливих точок.

3.6.7 Моделювання поверхні припускає згущення ДПК, які є елементами каркасу поверхні, і збільшення числа цих елементів – згущення лінійчатого каркаса. Елементами моделі є лінії, сформовані на основі вихідних вузлів (вихідні ДПК) та лінії, сформовані на основі вихідного точкового ряду, що складається з точок згущення вихідних ДПК (згущення ДПК). Поверхнею будемо вважати визначеною у випадку, якщо всі ДПК, що складають каркас поверхні, сформовані з похибкою, що не перевищує задану величину.

3.6.8 Запропонована методика формування комп'ютерної геометричної моделі робочого колеса турбокомпресора. Функціональна поверхня лопатки колеса сформована на основі каркаса, лінійні елементи якого, згідно з робочим кресленням, задані впорядкованим масивом точок. Монотонна зміна диференціально-геометричних характеристик уздовж лінійних елементів каркаса поверхні забезпечує ламінарний характер обтікання поверхонь міжлопаткового каналу середовищем. Запропоновано спосіб поліпшення динамічних якостей міжлопаткового каналу робочого колеса за рахунок оптимізації графіка зміни площ його поперечних перерізів. Площі поперечних перерізів коригуються шляхом зміни форми твірних ліній маточини і кришки. Монотонне зміна кривини твірних маточини і кришки запобігає виникненню вторинних потоків у міжлопаточному каналі.

3.6.9 Розроблено тривимірну модель, технологічний процес та керуючу програму для обробки деталі на верстаті з ЧПУ, що дало змогу скоротити терміни обробки запропонованої деталі на 8,2%.

3.6.10 Розглянутопочаткові умови програмування верстатів з числовим програмним управлінням для обробки деталей токарної групи.

3.6.11 Запропоновано спосіб формування дискретно представлені кривої (ДПК) з регулярною зміною скруту, радіусів дотичних кіл і сфер на основі точкового ряду довільної конфігурації. ДПК формується по ділянках, уздовж яких забезпечується монотонне зміна геометричних характеристик кривої. Розроблений спосіб оцінки точності інтерполяції кривої дає можливість визначити абсолютну похибку, з якою модель представляє вихідну криву, та похибку, з якою інтерполююча крива представляє будь-яку криву з заданими властивостями.

3.6.12 Представлені інформаційні системи мають свої бази даних, що надає змогу користувачеві редагувати дані за умови змін у діючих стандартах (ГОСТ-ах або ДСТУ), а, також, зберігати і завантажувати вже готові

конфігурації виробу до пропонованих інформаційних систем для корегування параметрів проєктованих виробів.

3.6.13 За допомогою програмного пакету ArchiCad розроблено проєкт екобудинку, який має наступні переваги:

- благодатний мікроклімат без радіаторів і кондиціонерів, роль яких виконують «теплі» підлоги;
- незалежність від тепломереж за рахунок використання сонячної енергії та альтернативних джерел тепла в автономній системі гарячого водопостачання;
- біогенераторна система утилізації біологічних відходів, перетворення їх в біогаз і добрива, що надасть можливість скоротити полігони твердих побутових відходів, які є джерелом «парникового» метану;
- збір і використання дощової води зменшують залежність від водопостачання, а, також, економлять дорогоцінний природний ресурс - питну воду.

3.6.14 У результаті аналізу можливостей CALS-технологій визначені найважливіші завдання:

- розробка, впровадження та промислова апробація програмно-методичних засобів, які призначені для зберігання і управління даними про продукцію відповідно до вимог стандартів CALS;
- розробка методики формалізованого опису та аналізу процесів, які протікають в ході життєвого циклу виробу, і створення на основі даного формалізованого опису системи забезпечення якості продукції відповідно до вимог стандартів ISO;
- дотримання вимог до технічної документації в електронному вигляді та застосування способів функціонального моделювання та реінжинірингу бізнес-процесів підприємств по методологіям IDEF0 та IDEFX, а також автоматизованого проєктування, конструювання і технологічної підготовки виробництва (системи CAE /CAD /CAM);
- підготовка і перепідготовка керівників і фахівців, які володіють методиками і технологіями CALS;
- розширення ринку вітчизняних CALS-рішень.

3.6.15 Пропонована в роботі методика проєктування керуючих програм та технологічної документації в рамках виконання лабораторних робіт дозволяє студентам вивчити та засвоїти теоретичні відомості та набути практичні навички щодо розробки керуючої програми, та технологічної документації для верстатів токарної групи.

3.6.16 Для забезпечення функціонування метасистеми в рамках системотехнічної діяльності вирішено дві комплексні задачі:

- представлення результатів попередніх етапів процесу проєктування, одержаних іншими проєктувальниками, у вигляді, достатньому для продовження процесу проєктування.
- забезпечення взаємодії колективів проєктувальників на користь створення єдиного злагодженого проєкту САПР.

3.6.17 В роботі розроблено спосіб визначення області можливого розташування монотонної кривої лінії, що інтерполює заданий точковий ряд. Спосіб оснований на визначенні ділянок точкового ряду, які можливо інтерполювати монотонною кривою лінією – кривою, уздовж якої значення кривини монотонно зростають або убують. Це дає можливість визначати вихідну криву лінію, як криву з мінімальною кількістю особливих точок – точок перегину та точок зміни напрямку зростання кривини. Спосіб дозволяє оцінювати максимальну абсолютну похибку інтерполяції величиною області можливого розташування монотонних кривих ліній. Оцінка точності дискретної інтерполяції на основі монотонної зміни кривини дозволила зменшити абсолютну похибку в 2–3 рази відносно оцінки точності виходячи з умови запобігання осциляції.

Також розроблено спосіб формування одновимірного обводу, який із заданою точністю представляє монотонну криву лінію. Спосіб дозволяє:

- формувати монотонну дискретно представлену криву, що інтерполює ділянки вихідного точкового ряду, область можливого розташування якої як завжди мала;

- формувати обвід у вигляді супровідної ламаної лінії, яка з заданою точністю представляє монотонну криву.

3.6.18 В якості висновків по роботі слід зазначити, що запропоновано алгоритм формування обвода другого порядку гладкості з монотонним зміною радіусів кривизни з урахуванням додаткової вимоги - безперервний графік швидкості зміни радіусів кривизни уздовж обводу. Обвід формується методом згущення на основі Точеного ряду. Алгоритм передбачає зменшення величини розриву значень швидкості зміни радіусів кривизни в точках стикування ділянок обвода за рахунок виникнення розриву всередині ділянки - в точках стикування базисних трикутників згущення. Застосування розробленого методу моделювання кривої дозволяє підвищити якість формування функціональних поверхонь виробів при вирішенні завдань зворотного інжинірингу, а також при формуванні поверхонь виробів, які взаємодіють з середовищем (лопаток турбін, робочих органів сільськогосподарських машин, каналів двигунів внутрішнього згоряння та ін.)

3.6.19 Пропонований матричний спосіб опису поверхні гондоли літального апарату дозволяє керувати формою кривої, заданої в параметричній формі і легко робити розрахунок і реалізацію розв'язку з використанням стандартних програм комп'ютера, а також розв'язувати зворотну задачу визначення центрових ключів плоских обводів за заданими точками.

3.6.20 Приведений в роботі спосіб побудови дотичних у вузлах спіралеподібних дискретно представлених кривих із використанням спеціальної функції дозволяє використовувати локальні методи неперервної інтерполяції при згущенні ДПК на основі запропонованої інтерполюючої функції з призначенням дотичних в вузлових точках із побудованої смуги кутів суміжності γ , що забезпечує відсутність осциляції та неперервність

перших похідних у точках стикування ділянок кривої, що моделюється, а також глобальне формування дотичних у вузлових точках.

3.6.21 Розроблено спосіб визначення області можливого розташування монотонної кривої лінії, що інтерполює заданий точковий ряд. Спосіб оснований на визначенні ділянок точкового ряду, які можливо інтерполювати монотонною кривою лінією – кривою, уздовж якої значення кривини монотонно зростають або убують. Це дає можливість визначати вихідну криву лінію, як криву з мінімальною кількістю особливих точок – точок перегину та точок зміни напрямку зростання кривини. Спосіб дозволяє оцінювати максимальну абсолютну похибку інтерполяції величиною області можливого розташування монотонних кривих ліній. Оцінка точності дискретної інтерполяції на основі монотонної зміни кривини дозволила зменшити абсолютну похибку в 2–3 рази відносно оцінки точності виходячи з умови запобігання осциляції.

3.6.22 В роботі запропонована методика формування комп'ютерної геометричної моделі функціональної поверхні інструменту для розпушування ґрунту. Вихідними даними є точковий масив, що представляє сімейство горизонтальних перетинів поверхні. Запропонована методика включає наступні етапи:

- розрахунок координат точок ДПК, які є елементом каркаса формованої поверхні, по заданим геометричним умовам;
- формування В-сплайну, який інтерполює отриманий точковий ряд;
- формування криволінійної поверхні на основі каркасу, що складається з сімейства горизонтальних перетинів тангенсуючої кривої.

Положення точок вихідного точкового масиву дозволяє зменшити зминання ґрунту під час поступово-обертального руху інструменту. Закономірна зміна кривини уздовж ліній, що представляють горизонтальні перетини робочої поверхні, сприяє зменшенню витрат енергії при обробці ґрунту. Розроблена методика може застосовуватися як при вирішенні задач зворотного інжинірингу, так і під час конструювання нових виробів.

3.6.23 Проаналізовано існуючі конструкції механічних змішувачів рідин, виявлені недоліки в існуючих конструкціях змішувачів. На підставі розрахункової схеми визначення координат точок згущення ДПК запропоновано алгоритм згущення ДПК на основі серединних перпендикулярів, який полягає в наступному:

- розраховуються значення кутів суміжності.
- визначаються довжини ланок вихідної слл.
- знаходяться перевищення точок згущення над відповідними хордами.
- визначаються координати точок згущення.

3.6.24 Запропоновано методику створення тривимірної моделі типу «Корпус крана» в системі Power Shape, розроблено форму вентиляційного каналу і літникової системи ливарної форми з урахуванням аеродинамічних і гідравлічних законів з використанням системи Power Shape та запропоновано ливарну форму з застосуванням модуля Toolmaker програми Power Shape.

Це дозволило значно скоротити термін проектування ливарного оснащення та, завдяки застосуванню сучасних комп'ютерних технологій, розробити інформаційну систему аналізу груп складних видів дефектів ливарного виробництва для оперативного виявлення причин виникнення і визначення способів їх ліквідації.

3.6.25 На основі запропонованих в роботі алгоритмів розроблено програмне забезпечення, яке може бути використано при моделюванні лінійних елементів каркасу поверхонь з підвищеними динамічними якостями. Підвищені динамічні властивості необхідні поверхням, які обмежують корпусні вироби авіа-, автомобіле-, суднобудування, лопати турбін, змішувачі, канали двигунів внутрішнього згоряння, трубопроводи, робочі органи сільськогосподарських машин

3.7 Проаналізовано актуальність інтеграції національних та Європейської рамок кваліфікацій для співставлення результатів навчання у різних країнах та теоретичні дослідження в цій сфері та інструментальні засоби, що побудовані на їх основі. Розглянуто підходи, за якими Національна рамка кваліфікацій України має узгоджуватися з Європейською рамкою кваліфікацій, та проблеми, що виникають в процесі її використання на практиці. Обґрунтована необхідність створення інструментальних засобів, що базуються на технологіях Semantic Web, для зіставлення рамок кваліфікацій. Розроблена теоретична модель і алгоритм співставлення онтологій та Wiki-ресурсів, які дозволяють динамічно поповнювати онтології та зіставляти інформаційні об'єкти, що описані в них. Виконана програмна реалізацію запропонованого підходу.

Розроблено онтологічну модель кваліфікацій, що структурує представлення різних складних інформаційних об'єктів (людей, дисциплін, спеціальностей, організацій і т.д.). Онтологічне представлення знань про компетенції цих об'єктів забезпечують їхнє автоматичне зіставлення. Розроблено алгоритм такого зіставлення.

Проведений аналіз результатів опитування показав основні тенденції: розуміння, наскільки важлива роль освіти протягом усього життя; пріоритет освітньої діяльності, незалежно від віку, рівня і профілю попередньої освіти; характер зайнятості; досвід роботи; отримувані доходи та район проживання респондентів.

Проаналізовано та розроблено інструментальні засоби, які дозволять ефективно використовувати ESCO та забезпечують перехід від кваліфікаційної моделі до повноцінних компетентнісних моделей, вбачається актуальним і своєчасним науковим завданням. Представлено теоретичне обґрунтування системи UkrESCO, призначеної для формуванні паспорту набутих компетенцій, пошуку вакансій та співставлення компетенцій з вимогами до вакансії на основі моделі ESCO з використанням технологій Semantic Web та інформаційних ресурсів відкритого інформаційного середовища Web. Практична реалізація системи UkrESCO може стати ефективним інструментом формування в українському суспільстві розуміння цінності освіти впродовж життя

у особистісному й професійному саморозвитку людини.

Представлено теоретичне обґрунтування інформаційної системи UkrESCO. Призначення системи UkrESCO полягає у семантичній ідентифікації, документуванні та обробці інформації про результати формального і неформального навчання на основі технологій і рішень Semantic Web. Класифікатор ESCO дозволяє суб'єктам ринку праці описувати свої пропозиції або вимоги через різні неформалізовані характеристики, які часто є нематеріальними (наприклад, командний дух, соціальні навички, лідерські навички), призводячи до необхідності співставлення семантики таких описів. ІС UkrESCO успішно розв'язує вказану проблему через використання семантичних технологій, які опрацьовують інформацію на рівні знання, тобто здатні формалізувати, аналізувати та обробляти зміст (семантику) інформаційних ресурсів. В подальших дослідженнях планується розробити прототип ІС UkrESCO, який стане ефективним інструментом семантичного опрацювання інформаційних ресурсів про набуті кваліфікації та компетенції і, як наслідок, формування в українському суспільстві розуміння цінності освіти впродовж життя в особистісному й професійному саморозвитку людини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Malkina V. et al. The Formation of Orthogonal Balanced Experiment Designs Based on Special Block Matrix Operations on the Example //Modern Development Paths of Agricultural Production: Trends and Innovations. – 2019. – С. 111.
2. Malkina, V., Kiurchev, S., Osadchyi, V., & Strokan, O. (2019). The Formation of Orthogonal Balanced Experiment Designs Based on Special Block Matrix Operations on the Example. Modern Development Paths of Agricultural Production: Trends and Innovations, 111.
3. Vira Malkina, Serhii Kiurchev, Valentina Verkhohantseva, Viktor Dubik. Multicollinearity in the regression analysis of the wheat gluten indicator during storage. Engineering for rural development Jelgava, 20.-22.05.2020. Latvia University of Sciences and Technologies Faculty of Engineering. P. 985 -990
4. Yeremenko, O.A., Kalytka, V.V., Kalenska, S.M., Malkina, V.M. Assessment of ecological plasticity and stability of sunflower hybrids (*Helianthus annuus* L.) in Ukrainian Steppe// Ukrainian Journal of Ecology/ 2018, 8 (1), P. 289–296 doi: 10.15421/2018_214
5. Іванова, І. Є., Іванова, І. Е., Сердюк, М. Є., Сердюк, М. Е., Малкіна, В. М., & Малкіна, В. М. (2019). Оцінка впливу погодних чинників на урожайність кісточкових культур в контексті ефективного управління садівництвом в умовах Півдня Степової зони України.
6. Іванова, І. Є., Сердюк, М. Є., Малкіна, В. М., Шкіндер-Бармина, А. М., & Кривонос, І. А. (2019). Урожайність вишні залежно від кліматичних умов років вирощування//Вісник аграрної науки Причорномор'я. – 2019. – Вип. 4. – С. 38-49
7. Малкіна В.М. Інформаційна система автоматизованого пошуку координат об'єкту на карті на основі фотографічних зображень земної поверхні / В.М. Малкіна, В.В. Кравченко // Збірник матеріалів II Всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем», 22-24 листопада 2017 року, Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара України, Дніпро. – Дніпро: Компринт, 2017. – С. 125-127
8. Малкіна В.М. Побудова моделей векторних полів у термінах функцій узагальненого тривекторного аргументу /В.М.Малкіна, О.В. Строкань// Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь: ТДАТУ, 2016. - Вип. 6, Т. 2 – С. 22-27
9. Сердюк, М. Є, Іванова, І. Є., Малкіна, В. М., Евстафиева, Е. С. (2020). Формування сухих розчинних речовин у плодах черешні під впливом абіотичних факторів. Наукові горизонти: збірник наукових праць; Вип. 03 (88) (С. 127-135)
10. Malkina V., Zinovieva O., Mozghovenko A. Realization of the "Transport task" simulation software using the "Drag-and-drop" technology //Ukrainian Journal

- of Educational Studies and Information Technology. – 2019. – Т. 7. – №. 2. – С. 11-19.
11. Малкіна В.М. Комп'ютерна навчальна програма із застосуванням технології Drag-and-Drop / В.М. Малкіна, О.Г. Зінов'єва // Збірник матеріалів IV міжнародної наукової конференції «Цифрова освіта в природничих університетах» (25-27 жовтня), НУБІПУ України, Київ.-К.: Компрінт, 2017. С. 54-56.
 12. Малкіна В.М. Програмний модуль для створення навчальних засобів з використанням технології Drag-and-drop / В.М. Малкіна, О.Г. Зінов'єва, М.Ю. Мірошніченко – Ukrainian Journal of Educational Studies and and Information Technology. – 2018. – Т. 6. – №. 2. – С. 8-15
 13. Строкань О.В. Застосування мультимедійних технологій в процесі е-навчання / О.В. Строкань, Ю.О. Литвин // Збірник матеріалів IV Міжнародної наукової конференції «Цифрова освіта в природничих Information Technology, 6 (2), 2018. – с. 8-15.
 14. Малкіна В.М. Інформаційна система автоматизованого пошуку координат об'єкту на карті на основі фотографічних зображень земної поверхні / В.М. Малкіна, В.В. Кравченко // Збірник матеріалів II Всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективні напрямки сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем», 22-24 листопада 2017 року, Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара України, Дніпро. – Дніпро: Компрінт, 2017. – С. 125-127.
 15. Строкань О.В. Методика оптимізації аероіонного розподілення на комбінованій площині / О.В. Строкань, В.М. Малкіна // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь: ТДАТУ, 2016. - Вип. 6, Т. 2 – С. 45-51
 16. Строкань О.В. Компьютерная система моделирования аэроионного распределения на наклонной плоскости / О.В. Строкань, В.М. Малкіна // Университетская наука серия «Информационные технологии». – Минеральные воды, 2016. – С. 149-151
 17. Строкань О.В. Моделювання аероіонного режиму на об'єктах зі штучним середовищем існування / О.В. Строкань, В.М. Малкіна // Тематичний збірник наукових праць «Системи управління, навігації та зв'язку». – Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2017. – Випуск 2(42). – С. 57-60. Наукове фахове видання університетах», 25-27 жовтня 2017 року, НУБІПУ України, Київ. – К.: Компрінт, 2017. – С. 67-69.
 18. Строкань О.В. Сучасні рішення управління розподіленням аероіонних полів / О.В. Строкань, Ю.О. Литвин, // Збірник наукових праць «Інформаційні технології в освіті та науці». – Мелітополь: Вид-во МДПУ ім. Богдана Хмельницького, 2017
 19. Строкань О.В. Інформаційна система забезпечення оптимального аероіонного режиму у приміщенні / О.В. Строкань, М.Ю. Мірошніченко // VII Всеукраїнська науково-практична Internet-конференція студентів і моло-

- дих учених „Автоматизація та інформаційні технології: стан, досягнення, перспективи розвитку”. - Бердянський університет менеджменту і бізнесу, 2018. – с.63-65.
- 20.Строкань О.В., Стрелкова М.А. Програмна реалізація задачі забезпечення проектування процесу іонізації [Текст]/ М.А. Стрелкова, О.В. Строкань// Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХПІ». –Випуск 62(1171). – 2015. – С. 94-98.
 - 21.Строкань О.В. Програмний модуль проектування розміщення аероіонізаційних систем / О.В. Строкань, Ю.О. Литвин// Тематичний збірник наукових праць «Системи обробки інформації» Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. Випуск 5(121). – Харків, 2014. – С. 97-100.
 - 22.Строкань О.В. Програмно-інформаційна система оптимізації мікроклімату у виробничому приміщенні. Вісник національного технічного університету «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». Харків, 2014. Випуск 48. С. 92-96.
 - 23.Строкань О.В., Прокопенко В.В. Інформаційно-програмна система управління мікрокліматом в зерносховищі. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», серія «Нові рішення в сучасних технологіях». Харків: НТУ «ХПІ». Випуск 46(1155). 2015. С. 104-108.
 - 24.Прийма С.М. Створення та використання семантичних Wiki-ресурсів: навчальний довідник / С.М. Прийма, О.В. Строкань, Ю.В. Рогушина // Видавництво ТДАТУ. – 2017. – 171 с. До друку.
 - 25.Литвин Ю.О. Модель розпізнавання мовлення для вирішення задачі керування елементами веб-сайту/Ю.О. Литвин, О.В.Строкань// Ukrainian Journal of Educational Studies and Information Technology. - Vol. 6. No. 2. June 2018, - 7 с.
 - 26.Pryima S.M. Use of semantic technologies in the process of recognizing the outcomes of non-formal and informal learning / S.M. Pryima, Yu.V. Rohushyna, O.V. Strokan' // CEUR Workshop Proceedings, 2018. – Vol 2139. – p. 226-235. (Scopus) Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-2139/226-235.pdf>
 - 27.Строкань О. В. и др. Програмні рішення з підвищення ефективності управління параметрами мікроклімату у закритому приміщенні. – 2019.
 - 28.Литвин Ю. О., Строкань О. В. Система поливу ґрунту на платформі мікроконтролера Arduino //Системи обробки інформації. – 2019. – №. 2. – С. 90-95.
 - 29.Строкань О.В., Литвин Ю.О., Мирошніченко М.Ю. Нова технологія управління фізичними характеристиками повітря на об'єктах зі штучним середовищем існування. Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», серія «Нові рішення в сучасних технологіях». Харків: НТУ «ХПІ». 2016. № 42 (1214). С. 76-80.

- 30.Строкань О.В. Інформаційно-програмний засіб для системи дистанційного навчання з дисципліни «Організація та обробка електронної інформації». Ukrainian Journal of Educational Studies and Information Technology. Мелітополь: Вид-во МДПУ ім. Богдана Хмельницького, 2017. С. 300-303.
- 31.Лубко Д.В. Проектування довідкової інтелектуальної експертної системи для вівчарства у приватних господарствах країни / Д.В. Лубко // Ukrainian Journal of Educational Studies and Information Technology. 2017. – Vol.5, №3. – pp. 1 – 18.
- 32.Лубко Д.В. Розробка інтелектуальної інформаційної системи для птахівництва / Д.В. Лубко, С.В. Шаров // Системи обробки інформації: Збірник наукових праць // Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – Вип. 4 (150). - Харків, 2017. С. 170-174. (науково-фахове видання).
- 33.Лубко Д.В. Проектування експертної системи для тваринництва / Д.В. Лубко, О.Г. Зінов'єва // Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали І Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 01-24 квітня 2020 р.). ТДАТУ: ред. кол. В. М. Кюрчев, В. Т. Надикто, О. Г. Скляр [та ін.]. - Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 310-315.
- 34.Лубко Д. В., Зінов'єва О. Г., Шаров О. В. Проектування та розробка експертної системи діагностування несправностей транспортних засобів //Системи обробки інформації. – 2019. – №. 1. – С. 15-21.
- 35.Лубко Д.В. Методологія проектування експертної системи для тваринництва на прикладі вирощування овець / Д.В. Лубко, О.Г. Зінов'єва // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного [Електронний ресурс]. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 10, том 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1. URL: <http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik>. Науково-фахове видання.
- 36.Лубко Д.В. Методологія розробки інформаційної системи „АРМ агрономарослинника”. І Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція: «Сучасні комп'ютерні та інформаційні системи і технології». Дата: 07.12.2020 по 25.12.2020. Мелітополь. 2020.
- 37.Лубко Д.В. Проектування інформаційної системи „АРМ агрономарослинника”. І Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція: «Сучасні комп'ютерні та інформаційні системи і технології». Дата: 07.12.2020 по 25.12.2020. Мелітополь. 2020.
- 38.Литвин Ю.О. Методологія проектування Arduino в якості Web-client та Web-server з використанням датчика DHT11 та їх порівняльна характеристика // Д.В. Лубко, Ю.О. Литвин / Вісник Національного технічного університету „ХПІ”. Збірник наукових праць. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ „ХПІ”. – 2017. - №32 (1254). С. 62-67.
- 39.Мозговенко А. А. Програмний модуль демонстрації учбового матеріалу //сучасні наукові дослідження на шляху до євроінтеграції. – 2019. – С. 76.

40. Зінов'єва О.Г. Програмна реалізація оцінки альтернатив на основі багатокритеріальної теорії корисності /О.Г.Зінов'єва, А.А. Мозговенко// Збірник наукових праць магістрантів та студентів «Інформаційні технології проектування». – Мелітополь: ТДАТУ, 2016.– С 48-52
41. Сіциліцин Ю.О. Дослідження проблем використання чат-ботів для інтернет-магазину /Ю.О. Сіциліцин, О.В. Пономаренко // Збірник наукових праць магістрантів та студентів «Інформаційні технології проектування». – Мелітополь: ТДАТУ, 2016.– С 59-64
42. Беккауер А.О. Використання методів прототипизації та тривимірної реконструкції у тривимірній графіці / А.О.Беккауер, А.С. Саржан// Збірник наукових праць магістрантів та студентів «Інформаційні технології проектування». – Мелітополь: ТДАТУ, 2016., С 65-69
43. Зінов'єва О.Г. Автоматизація робочого місця страхового агента / О.Г. Зінов'єва, А.О. Беккауер // Журнал „Східна Європа: економіка, бізнес та управління”. ДНВЗ „Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”. Дніпро, 2017. С. 228-231.
44. Pryima S. Use of Competence Ontological Model for Matching of Qualifications / Pryima S., J. Rogushina // Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education – 2017. – Vol. 26, №2. – 216-228. – available at: http://khimiya.org/show_isse.php?y=2017&vol=26&issue=2&i_id=66
45. Темніков Г.Є. Автоматизована система керування освітнім процесом в та-врійському державному агротехнологічному університеті „Osvita” / Г.Є. Темніков // Фундаментальна підготовка фахівців у природничо-математичній, технічній, агротехнологічній та економічній галузях. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. (11-13 вересня). – Мелітополь: ТОВ „Колор Принт”, 2017. С.167-169.
46. Литвин Ю.О. Дистанційне управління мікроконтролером Arduino за допомогою мобільних пристроїв на базі ОС Android / Ю.О. Литвин // VII Всеукраїнська науково-практична Internet-конференція студентів і молодих учених „Автоматизація та інформаційні технології: стан, досягнення, перспективи розвитку”. - Бердянський університет менеджменту і бізнесу, 2018. – с.118-120.
47. Прийма С. Семантична обробка інформаційних ресурсів ринку праці / SerhiiPryima, JuliaRogushina // InformationTechnologiesandLearningTools. – 2018. – Vol 65. – No3. – р. 337-355. (Web Of Science) Available at: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/2256/1356>
48. Pryima S. A study on educational needs of adults (on the example of Zaporizhzhia region residents) / Serhii Pryima, Andrii Orlov, Olena Anishchenko, Ellina Pozdnyakova-Kirbyateva // Advanced Education, 2018, №9. – pp. 62-72 (Web Of Science) Available at: <http://ae.fl.kpi.ua/article/view/126765/133435>
49. Лубко Д.В. Проектування системи з вивчення дисципліни «Програмування розподілених та паралельних систем» з тестувальним модулем / Д.В. Лубко //Інформаційно-комунікаційні технології навчання : збірник матеріалів

- Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, – Умань, 2016. – С 60-64.
49. Мацулевич О.Є. Геометричне моделювання кулачків зубозаточувальних верстатіву CAD– системі UNIGRAPHICS / О.Є. Мацулевич // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь: ТДАТУ, 2016. - Вип. 6, Т. 2– С. 36-44
 50. Мацулевич О.Є. Коригування косого зсуву багатоспектральних фотограмметричних зображень /О.Є. Мацулевич, Д.М. Свинаренко//Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь: ТДАТУ, 2016. - Вип. 6, Т. 2– С. 101-107
 51. Щербина В.М. Автоматизація процесу локальної інтерполяції точкового ряду із заданими вузловими дотичними на основі адаптивної схеми згущення /В.М.Щербина, О.Є.Мацулевич, В.В.Спірінцев//Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь: ТДАТУ, 2016. - Вип. 6, Т. 2– С. 118-125
 52. Щербина В.М. Автоматизація процесу моделювання складних геометричних поверхонь при вирішенні задач проектування неоднозначних ДПК на основі серединних перпендикулярів з використанням основної тотожності /В.М.Щербина, Д.В.Єсін// Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь: ТДАТУ, 2016. - Вип. 6, Т. 2– С. 163-174
 53. Пихтєєва І.В. Метод подання апроксимуючої функції /І.В.Пихтєєва, О.Є.Мацулевич, В.М.Щербина// Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь: ТДАТУ, 2016. - Вип. 6, Т. 2 – С. 88-94
 54. Гавриленко Е.А. Формирование геометрических характеристик монотонной кривой линии/ Е.А. Гавриленко, Ю.В. Холодняк, В.А. Пахаренко // Вісник Херсонського національного технічного університету / ХНТУ. – Херсон, 2016. – Вип. 3 (58). – С. 492-496.
 55. Холодняк Ю.В. Решение позиционных задач методами вариативного дискретного моделирования/ Ю.В. Холодняк, Е.А. Гавриленко, Ю.А. Дмитриев // Динамика систем, механизмов и машин / ОмскийГТУ. –Омск, 2016. – № 1, Т. 4. – С. 122-124.
 56. Холодняк Ю.В. Информационная технология проектирования и изготовления рабочих колес турбокомпрессора/ Ю.В. Холодняк, Е.А. Гавриленко, Ю.А. Дмитриев // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. - Мелітополь: ТДАТУ, 2016. - Вип. 6, Т. 2– С. 52-62
 57. Івженко О.В. Автоматизація процесу виготовлення різального інструменту для деревообробних верстатів / О.В. Івженко, О.Є. Мацулевич, М.Р. Тішков// Збірник наукових праць магістрантів та студентів «Інформаційні технології проектування». – Мелітополь: ТДАТУ, 2016.– С 76-83

58. Дмитрієв Ю.О. Початкові відомості про програмування обробки деталей на верстатах з ЧПУ токарної групи / Ю.О. Дмитрієв, Д.В. Міцковський//Збірник наукових праць магістрантів та студентів «Інформаційні технології проектування». – Мелітополь: ТДАТУ, 2016.– С 37-42
59. Гавриленко Е.А. Определение абсолютной погрешности интерполяции кривой с заданными геометрическими свойствами / Е.А. Гавриленко, Ю.В. Холодняк, А.В. Найдыш // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов / Приднепров. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепр, 2017. – Вып. 101. – С.72-79. Серия: (Компьютерные системы и информационные технологии в образовании, науке и управлении).
60. Гавриленко Е.А. Дискретное моделирование одномерного пространственного обвода на основе области возможного расположения кривых с заданными геометрическими характеристиками / Е.А. Гавриленко, Ю.В. Холодняк, А.В. Найдыш // Вісник Херсонського національного технічного університету / Вестник Херсонского национального технического университета / Bulletin Kherson national technical university : наук. журнал / ХДТУ. - Херсон, 2017. - № 3(62). – Т. 2. - С. 264-268.
61. Мацулевич О.Є. Геометричне моделювання параметрів різальних інструментів для токарної обробки деталей при вивченні дисципліни інформаційні технології у виробництві/ О.Є. Мацулевич // Фундаментальна підготовка фахівців у природничо-математичній, технічній, агротехнологічній та економічній галузях. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. (11-13 вересня). – Мелітополь: ТОВ «Колор Принт», 2017. С.102-103.
62. Сіренко А.А. Використання енергозберігаючих технологій при розробці екологічного будинку у програмному пакеті ARCHICAD / А.А. Сіренко, Ю.В. Холодняк // Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XII Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів: [в 2 ч.]. Ч. 1. – Львів: ЛДУ БЖД, 2017. – С. 322-323.
63. Щербина В.М. Інформаційна система геометричного моделювання функціональних поверхонь каналів турбокомпресорів дизельних двигунів / В.М. Щербина // Фундаментальна підготовка фахівців у природничо-математичній, технічній, агротехнологічній та економічній галузях. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. (11-13 вересня). – Мелітополь: ТОВ «Колор Принт», 2017. С.187-188.
64. Грюкач С.В. Застосування інтегрованого інформаційного середовища (CALS-технологій) на підприємствах аварійно-рятувального призначення / С.В. Грюкач, В.М. Щербина // Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Зб. наук. праць XII Міжнар.

- наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів: [в 2 ч.]. Ч. 2. – Львів: ЛДУ БЖД, 2017. – С. 16-17.
65. Щербина В.М. Розробка керуючої програми та технологічної документації при програмуванні обробки на верстатах з ЧПК / В.М.Щербина, Ю.О.Дмитрієв // Фундаментальна підготовка фахівців у природничо-математичній, технічній, агротехнологічній та економічній галузях. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. (11-13 вересня). – Мелітополь: ТОВ «Колор Принт», 2017. С.189-190.
 66. Пихтєєва І.В. Системотехнічна діяльність при розробки автоматизованих систем проектування / І.В.Пихтєєва, Ю.О.Дмитрієв // Фундаментальна підготовка фахівців у природничо-математичній, технічній, агротехнологічній та економічній галузях. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. (11-13 вересня). – Мелітополь: ТОВ «Колор Принт», 2017. С.127-128.
 67. Пихтєєва І.В. Програмний модуль для автоматизованого проектування складних функціональних поверхонь / І.В.Пихтєєва // Фундаментальна підготовка фахівців у природничо-математичній, технічній, агротехнологічній та економічній галузях. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. (11-13 вересня). – Мелітополь: ТОВ «Колор Принт», 2017. С.124-126.
 68. Гавриленко Є.А. Моделювання одновимірних обводів із забезпеченням заданої точності інтерполяції / Є. А. Гавриленко, Ю. В. Холодняк, А. В. Найдиш // Вісник Херсонського національного технічного університету Вестник Херсонского национального технического университета Bulletin Kherson National Technical University: наук. журнал / ХДТУ гол. ред. Ю. М. Барадчов. – Херсон, 2018. – № 3(66), Т.2. – С. 125-129.
 69. Холодняк Ю. В. Формирование обводов с заданными геометрическими свойствами / Ю.В. Холодняк, Е.А. Гавриленко, А.В. Дубинина // Сучасні проблеми моделювання: наук. фах. видання / МДПУ ім. Б. Хмельницького. – Мелітополь, 2018. – Вип. 11. – С. 165-169.
 70. Мацулевич О.Є. Геометричне моделювання складних тривимірних поверхонь із застосуванням матричного рівняння еліптичного повороту/ О.Є. Мацулевич, В.М. Щербина, С.М. Коломієць // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наук. фах. видання / ТДАТУ імені Дмитра Моторного. Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2019. Вип. 19, т. 2. – С. 294-300.
 71. Щербина В.М. Спосіб побудови дотичних у вузлах спиралеподібних дискретно представлених кривих із використанням спеціальної функції / В.М. Щербина, О.Є. Мацулевич, С.М. Коломієць// Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наук. фах. видання / ТДАТУ імені Дмитра Моторного. Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2019. Вип. 19, т. 2. – С. 278-287.

72. Гавриленко Є.А. Моделювання одновимірних обводів із забезпеченням заданої точності інтерполяції / Є.А.Гавриленко, Ю.В. Холодняк, А.В. Найдиш // Вісник Херсонського національного технічного університету - Вестник Херсонского национального технического университета - Bulletin Kherson national technical university: наук. журнал / ХДТУ гол. ред. Ю. М. Барадчов. – Херсон, 2018. – № 3(66), Т.2. – С. 125-129.
73. Холодняк Ю.В. Технологія моделювання поверхонь складних технічних виробів за заданими умовами/ Ю.В.Холодняк, Є.А.Гавриленко, О.В. Івженко, А.В. Найдиш// Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наук. фах. видання / ТДАТУ імені Дмитра Моторного. Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2019. Вип. 19, т. 2. – С. 257-263.
74. Леженкін О.М., Мацулевич О.Є., Щербина В.М. Геометричне моделювання робочих поверхонь змішувачів рідин //Матеріали XII-ої науково-практичної конференції «Меліорація та водовикористання. Функціонування техніко-технологічних систем» / Укладачі: С.І. Мовчан (відповідальний за випуск), С.О. Ісаченко, О.О. Дереза. Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, ФОП «Ландар С. М.», Мелітополь, 2020 р. С. 36-40
75. Мацулевич О.Є., Щербина В.М., Дмитрієв Ю.О. Інформаційна система аналізу груп складних видів дефектів ливарного виробництва для оперативного виявлення причин виникнення і визначення способів їх ліквідації // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – Вип. 20, т. 3. - С. 267-274
76. Гавриленко Е.А., Холодняк Ю.В., Антонова Г.В., Чаплинский А.П. Разработка алгоритма программного обеспечения для формирования обводов по заданным геометрическим условиям // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного. – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – Вип. 20, т. 3. С. 293-303
77. Системи відкритої освіти дорослих: теоретико-методологічні засади проектування і функціонування: Монографія / С.М. Прийма. Рішення №72740 від 20.03.2017, 2017.
78. Trends in the development of adult education systems in Ukraine. Conceptual Principles of Regional Education Policy: Монографія / S. Pryima, V.Molodychenko, V. Nechyporenko, S. Nikitin. – Warsaw : Publishing office of Warsaw University of Humanities, 2018. – p. 108–117.
79. Regional educational policy: from theory to practice. Conceptual Principles of Regional Education Policy: Монографія / S. Pryima, N. Ivanova. – Warsaw : Publishing office of Warsaw University of Humanities, 2018. – p. 136–145.
80. Regional educational policy: from theory to practice. Conceptual Principles of Regional Education Policy: Монографія / S. Pryima, A. Orlov, O. Anishchenko, E. Pozdnyakova-Kirbyateva. – Warsaw : Publishing office of Warsaw University of Humanities, 2018. – p. 146–156.

81. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. № 71453. Інтелектуальна система інформаційного та когнітивного супроводу функціонування Національної рамки кваліфікацій / Прийма С.М., Рогушина Ю.В., Балута В.С., Ткаченко А.В., Кудлай Є.В., Атаманчук О.М., Горбунов І.А. - № 71453; опубл. 2017.
82. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. № 79050. Створення та використання семантичних Wiki-ресурсів / Прийма С.М., Рогушина Ю.В., Строкань О.В. - № 79050; опубл. 2017.
83. Заявка на корисну модель. № u 2019 03190. Спосіб поділу сипучих матеріалів по фракціям / Строкань О.В., Еремєєв В.С. - № u 2019 03190; опубл. 01.04.2019
84. Заявка на корисну модель. № u 2019 03192. Пристрій для поділу сипучих матеріалів по фракціям / Строкань О.В., Еремєєв В.С. - № u 2019 03192; опубл. 01.04.2019
85. Авторське свідоцтво на твір. № 95551. Літературний письмовий твір «Комп'ютерна схемотехніка та архітектура комп'ютерів» / Строкань О.В., Прийма С.М., Литвин Ю.О. - № 95551; опубл. 22.01.2020