

На правах рукопису

Єрмілова Наталія Василівна

УДК 631.3:681.7

АВТОМАТИЧНА ОЧИСТКА НАСІННЯ ЦУКРОВОГО БУРЯКА

05.13.07 – Автоматизація технологічних процесів та  
виробництв

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 1993 р.

AB 27.269

Робота виконана в Полтавському інженерно-будівельному інституті

Науковий керівник - академік УАННП, доктор технічних наук,  
професор М.В.Галай  
кандидат технічних наук, доцент  
Б.Л.Головінський

Провідна організація - інститут цукрового буряку УААН

Захист відбудеться " 7 " червня 1993 р. о 14<sup>30</sup> год.  
на засіданні спеціалізованої ради К І20.7І.02 в Українському  
державному аграрному університеті.

Прохання взяти участь в обговоренні дисертації під час за-  
хисту або надіслати відгук на автореферат, завірений гербовою  
печаткою, на адресу:

25204І, м.Київ - 4І, вул. Героїв оборони, І5, секретаріат  
спеціалізованих рад.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці УДАУ.

Автореферат розіслано " 5 " травня 1993 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
ради, кандидат технічних наук,  
доцент

Л.П.Тищенко

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00803317 (М)

ІБ ім. В. Стефаника  
АН України

Актуальність теми. В останні роки, спираючись на науково-технічний прогрес, вдалося дещо підвищити технічний рівень галузей сільського господарства.

Разом з тим, біокліматичний потенціал України використовується тільки на 50 %, а генетичні можливості сортів сільськогосподарських культур та порід тварин реалізуються тільки на 30 %. В сільському господарстві на важких роботах зайнятий кожний другий, а в переробній сільськогосподарській промисловості - кожний третій робітник. Впровадження досягнень науково - технічного прогресу ускладнюється різким підвищенням цін на продукцію сільськогосподарського машинобудування. В результаті цього продуктивність праці падає при одночасному зростанні його оплати, що приводить до ще більшого розбалансування економіки, збільшення дефіциту продовольства.

Нормалізація становища, що склалось, неможлива без достатньої кількості високоякісного сортового насіння. Важливим елементом з комплексу заходів доведення виробництва насіння сільськогосподарських культур /в тому числі і цукрового буряка/ до об'ємів, що забезпечують потребу в них колгоспів і фермерських господарств, є очистка насіння від супутніх бур'янів.

Із збільшенням посівних площ і впровадження механізованого збирання насінників сільськогосподарських культур значно збільшилась засміченість насіння бур'янами. Це привело до зростання як кількості видів насіння бур'янів, так і їх чисельності на кілограм основної культури.

Враховуючи сучасний стан теорії та практики очистки насіння, а також вимоги виробництва, що включає спеціалізовані господар-

тва з виробництва насіння, їх післязбиральний обробіток і збереження, нами зроблено висновок про доцільність розробки спеціального очисника насіння цукрового буряка від важковіддільних засмічувачів. Призначенням його буде доочистка партій насіння, що залишилось некондиційним.

Вивчення стану проблеми показало також, що насіння недостатньо досліджене як об'єкт розпізнавання, тобто вихідна інформаційна база недостатня для розв'язання завдань розподілу їх за класами. Крім того, не знайшли вирішення питання одержання і технічної реалізації оптимального алгоритму розпізнавання насіння. В зв'язку з цим актуальним є дослідження комплексу питань, зв'язаних з вивченням інформаційних потоків, обґрунтуванням алгоритмів розпізнавання насіння і технічної реалізації цих алгоритмів.

Даний напрямок роботи включено в план науково-дослідних робіт УкрНДІСГОМА.

#### Ціль та завдання дослідження

Метою дослідження є наукове обґрунтування пристрою автоматичного розподілу насіння буряка і важковіддільних бур'янів на базі фізичних і геометричних ознак.

Досягненню поставленої мети були підпорядковані такі завдання:

- дослідити насіння як об'єкт розпізнавання: виміряти доступні фізичні властивості та геометричні параметри, відібрати ті, що найбільше відрізняються, сформувати первинну систему ознак, вивчити її інформативність і сформувати вторинну систему ознак; визначити статистичну модель розподілу значень ознак, визначити статистичну модель розподілу значень ознак, визначити допустимі похибки вимірювань /методичні, технічні/.

- на базі одержаної моделі ознак обґрунтувати і оптимізувати

ти апаратурно-програмним методом модель розпізнавання насіння буряків і бур'янів /відношення максимальної правдоподібності для багатовимірних нормальних розподілів ознак, вплив виду моделі статистичних зв'язків ознак на вид рівнянь, кількість членів і похибки розпізнавання/;

- розробити і технічно реалізувати алгоритм розпізнавання насіння буряка і бур'янів, оцінити результати.

Методи досліджень. Виконуючи дану роботу, автор використав методи статистичної обробки результатів експериментальних досліджень, основні положення теорії розпізнавання образів, планування експеримента, автоматичного управління і теорії імовірностей.

Предмет дослідження - насіння цукрового буряка і супровідних бур'янів, методи класифікації об'єктів.

На захист виносяться:

- результати досліджень фізичних властивостей і геометричних параметрів насіння, інформативність ознак, похибки вимірювань, робоча система ознак;

- результати досліджень моделі статистичного розпізнавання насіння, вирази для розрахунку коефіцієнтів дискримінантних функцій;

- алгоритм відокремлення насіння буряка від важковіддільних домішок бур'янів і пристрій його реалізації.

Наукова новизна виконаної роботи полягає в тому, що вперше:

- шляхом експериментально-теоретичних досліджень знайдено робочий ознаковий опис класів насіння буряка і важковіддільних бур'янів;

- науково обґрунтована і оптимізована апаратурно-програмним методом модель розпізнавання насіння і визначені параметри і вид дискримінантної функції, а також вплив статистичних зв'язків ознак

на імовірність помилок розпізнавання;

- розроблено алгоритм розділення насіння буряка і бур'янів: він технічно реалізований на базі матричного фотоприймача і обчислювально-управляючого пристрою.

Практична цінність. Розроблено пристрій, який реалізує алгоритм розпізнавання, що є оптимальним для розв'язування цієї задачі; в процесі випробувань доведена працездатність та переваги отриманих в дисертації наукових і технічних рішень, що пов'язані з проблемою розпізнавання.

Апробація роботи. Головні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на республіканській науково-технічній конференції "Проблеми конструювання і технології виробництва сільськогосподарських машин" /м.Кіровоград, 1991 р./, науково-технічній конференції ВНДПТІМЕСТ / м. Зерноград, 1991 р./, також на щорічних наукових конференціях професорсько-викладацького складу Полтавського ІБІ, починаючи з 1983 р.

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані в II друкованих роботах. Одержано одне авторське свідоцтво та одне позитивне рішення на подану заявку на винахід.

Обсяг роботи. Дисертація має вступ, п'ять глав, висновки, список використаної літератури та додаток. Обсяг II - 201 аркуш, в тому числі: 17 таблиць на 33 аркушах, 44 малюнки на 44 аркушах, де наводяться роздруки алгоритмів розроблених програм, результати дослідження ознакового простору насіння, документи, що підтверджують впровадження, та список літератури на 12 аркушах, який складає 130 назв, з яких 8 іноземних авторів.

## ЗМІСТ РОБОТИ

В першій главі "Методи та способи розпізнавання і класи-

фікації об'єктів" проведено аналіз етапів автоматизації пристроїв для сортування сипучих матеріалів, визначена тенденція їх розвитку, динаміка кількісного та якісного ускладнення технологічних схем очистки, сучасний стан теорії і практики очистки насіння від супутніх бур'янів.

В даний час вітчизняні насінневі заводи устатковані переважно імпортним обладнанням фірм "Kamas" /Швеція/ "Damas" /Данія/. Всі машини і обладнання дозволяють проводити якісний обробіток насіння цукрового буряка, однак, через відсутність спеціальної машини для очистки насіння від важковіддільних засмічувачів, в них залишається, схоже за фізико-механічними властивостями насіння бур'янів /дикої редьки та просвірника/.

Аналіз існуючих машин та обладнання для обробітку насіння на насінневих заводах показує, що для покращення посівних якостей насіння подальші роботи слід зосереджувати на пошуках принципово нових технічних рішень створення засобів та способів очистки насіння.

В цій главі розглянуті основні напрямки параметричного та непараметричного підходу до завдання розпізнавання природних об'єктів.

Після аналізу робіт з оцінки якості і сортування сільськогосподарської продукції зроблено висновок, що в даний час вона здійснюється переважно за спектральним коефіцієнтом яскравості, причому в досконаліших фотометричних системах використовують порівняння оптичних параметрів насіння в двох, трьох і більше ділянках спектру відбитого випромінювання.

Не дивлячись на велику кількість винаходів та наукових робіт, багато актуальних питань теорії розпізнавання ще знахо-

дяться в стадії розв'язання. Слабо вивчені багато координат вихідного ознакового опису, а також методи його перетворення та оптимізації. Методика оптимального розділення класів насіння також потребує удосконалення.

Бичевказані причини зумовили вибір і обґрунтування напрямків дисертаційних досліджень.

В другій главі "Одержання первинної інформації про властивості об'єктів" наведені результати досліджень оптичних, структурних та інших властивостей насіння цукрового буряка і супутних бур'янів. На базі одержаних відмінностей сформульована апріорна система ознак, що характеризує кожний клас.

В опису наведені методики дослідження властивостей насіння, а також одержані результати.

Коефіцієнт заломлення насіння, який вимірювався за кутовим способом, підтвердив прийняту гіпотезу про його відмінність для різних класів насіння. Встановлено, що показник заломлення насіння цукрового буряка рівний 1,672, дикої редьки - 1,676, просвірника - 1,654. Детальніше цей показник не досліджувався в зв'язку з малою різницею, а також в зв'язку з відсутністю безконтактних способів його вимірювання.

Досліджувався показник поглинання насіння, який зв'язує зміну світлового потоку, що пройшов через об'єкт, з величиною падаючого. Дослідження показали, що показник поглинання насіння цукрового буряка коливається в межах  $0,90 \pm 0,23$ ; просвірника -  $0,86 \pm 0,34$ ; дикої редьки -  $0,92 \pm 0,19$ .

Автором виміряний коефіцієнт блиску насіння, який характеризує їх здатність змінювати просторові розподіли відбитої енергії.

Встановлено, що, незважаючи на свою шершаво-матову поверхню, насіння досліджуваних рослин володіють деяким блиском, величина якого залежить від виду культури. Блиск насіння цукрового буряка рівний 0,20 %, просвірника - 0,22 %, дикої редьки - 0,41 %.

Білість насіння /ступінь відступу його кольору від білого/ вимірювали інтегральним способом шляхом порівняння розсіяного інтегрального відбивання насіння з відбиванням контрольного зразка. Дослідження показали, що білість насіння всіх культур коливається в широких межах, середні її значення дуже відрізняються між собою, але внаслідок великого розсіювання навколо середнього, виникають і ділянки "накладення" білості насіння різних класів рослин. Ступінь білості насіння цукрового буряка /в відносних одиницях складає  $0,723 \pm 0,013$ ; дикої редьки -  $0,775 \pm 0,045$ ; просвірника  $0,787 \pm 0,035$ .

Досліджувався процес поляризації відбитого випромінювання. Одержані результати підтвердили гіпотезу про здатність насіння повертати вектори електричного та магнітного полів на певний кут. Встановлено, що ступінь поляризації має спектральну залежність і найбільш чітко виражена в ультрафіолетовій та близькій видимій області спектру.

Найменше значення відмінностей ступеня поляризації досліджуваних видів насіння приходиться на довжину хвилі  $480 \cdot 10^{-9}$  м. Становище екстремумів на хвильовій вісі, їх величина та число переважно не співпадають у різних типів насіння.

Вимірювання коефіцієнту відбивання проводилось в видимій, близькій інфрачервоній та ультрафіолетовій областях спектру. Як випливає із експерименту, спектральний коефіцієнт відбивання має невелике значення в ультрафіолетовій області, зростає в видимій

і досягає максимуму в близькій інфрачервоній області довжин хвиль. На деяких довжинах хвиль коефіцієнти відбивання досліджуваних класів насіння рівні між собою /  $\lambda = 400 \cdot 10^{-9} \text{ м}$  /, тобто при таких значеннях хвиль класи не відрізняються за відбиванням, а на інших - /  $\lambda = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$  / - коефіцієнти відбивання різні.

Дослідження залежності здатності насіння відбивати світло при різних кутах спостереження показали, що всі види насіння мають просторовий розподіл відбивання, близький до рівномірно-дифузійного. Це пояснюється тим, що всі насінини мають шершаву поверхню, а тому яскравість поверхні в відбитому світлі практично однакова за всіма напрямками простору і мало залежить від кута спостереження. Довжина радіус-векторів індикатрис відбивання насіння залежить від його виду і довжини хвилі: оскільки розміри насіння значно перевищують довжини досліджуваних світлових хвиль, то характер розподілу світла не залежить від розмірів.

Опис кольорових образів класів насіння проводився за трьохкільоровою системою XYZ. Експеримент показав, що кольорові характеристики не мають істотних відмінностей для досліджуваних класів насіння, а тому вони не були введені в апріорну систему ознак.

Крім оптичних, були вивчені також структурні властивості видів насіння. Дослідження ступеня складності об'єктів /ступеня їх відмінностей від кола/ показали, що насіння цукрового буряка, яке має складну форму з великою кількістю вигуклостей і впадин, мають і більший коефіцієнт складності: мінімальний коефіцієнт складності має кругле насіння просвірника. Дослідження ступеня еліптичності об'єктів, яка визначається співвідношенням всієї фігури, показало, що насіння дикої редьки і просвірника в деяких проєкціях значно відрізняються від насіння буряка за цим параметром.

Виконані випробування магнітних властивостей насіння показав-

ли, що для всіх досліджуваних класів вони є діаманетики. Внаслідок малої різниці в величинах магнітної сприйнятливості, а також складності методики та техніки вимірювань, використання цих властивостей для класифікації не реальне.

Дослідження електричних властивостей насіння показало, що при стандартній вологості насіння всіх класів - діелектрики, різниця їх електричних властивостей незначна.

На базі вивчення фізичних властивостей насіння виділені характеристики, які максимально відображають якісні відмінності насіння різних рослин. Із цих характеристик сформульована апіорна система ознак, яка є вихідною для синтезу робочого словника ознак, що описують класи насіння, розпізнавання яких вимагається при розв'язанні даного завдання.

В третій главі - "Дослідження і синтез ознакового опису об'єктів" проведена мінімізація ознакових описів класів, дослідження їх на відповідність нормальному закону розподілу, визначення допустимих помилок вимірювання ознак, розрахунок реальних помилок, які виникають при практичному вимірюванні цих ознак, визначені вимоги до процесу вимірювання.

Для мінімізації апіорної системи ознак використано поняття інформативності за Шенноном, у відповідності з яким інформативність деякого  $K$ -го параметру відносно множини класів об'єктів оцінюється як різниця початкової ентропії системи та ентропії розв'язку за цим параметром.

Обрахунок інформативності ознак, які включені в апіорну систему, виконувався за допомогою ЕОМ. За результатами обчислень побудовані криві зміни інформативності ознак залежно від кількості градацій  $J$ . Аналіз цих кривих за всіма ознаками дозволив здійснити мінімізацію кількості градацій ознак з точки зору затрат

патенті пристрою розпізнавання та сумарних втрат інформативності параметрів розпізнавання.

За результатами експерименту був зроблений висновок про найбільшу інформативність ознак  $X_1, X_2$  при розпізнаванні насіння просвірника серед насіння цукрового буряка /класи  $\Omega_3, \Omega_1$ / та ознак  $X_1, X_3$  при розпізнаванні насіння дикої редьки серед насіння цукрового буряка /класи  $\Omega_2, \Omega_1$ / . На основі цього для побудови системи розпізнавання були вибрані ознаки  $X_1, X_2, X_3$ , де  $X_1$  - ознаки, що характеризують інтегральну білість насіння,  $X_2$  - ступінь складності форми,  $X_3$  - ступінь еліптичності.

Із вибраних ознак сформовано робочий ознаковий простір у вигляді тривимірного масиву. Перекладені на машинні носії інформації масиви контрольних та екзаменаційних вибірок використовували в подальшому як базу для розробки алгоритму розпізнавання видів насіння. Обчислені статистичні характеристики вибірок: середні значення ознак, дисперсії, коваріаційні та кореляційні матриці. Результати обрахунків показують, що всі ознаки взаємно корельовані, мають асиметрії та ексцеси.

Виконане дослідження показало відповідність розподілів ознак нормальному законові. Вектор допустимих помилок знайдено за методом визначення допустимої багатовимірної помилки вимірювання ознак, що базується на статистичному моделюванні процесу розпізнавання.

Під час моделювання ставились параметри опису класів розпізнавання: вектори середніх, коваріаційні матриці, об'єми навчальних та екзаменаційних вибірок, параметри статистичної моделі, імовірності помилок першого / $P_{1,2}$ / та другого / $P_{2,1}$ / роду. Вектор допустимих помилок вимірювання ознак робочих описів насіння буряка має вигляд /у відносних одиницях/ :  $S_{x\theta} = /3,2\%, 5\%, 3,91/$  ;

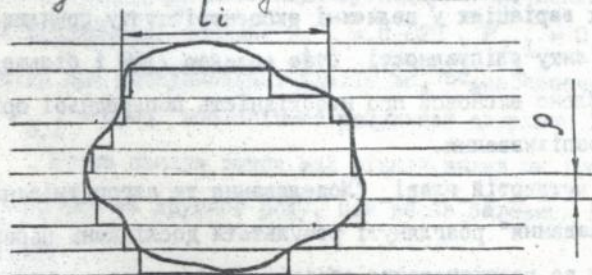
насіння дикої редьки  $S_{\chi\delta} = /3,3\%, 5,8\%, 4,9\%/$ ; насіння просвірника  $S_{\chi\delta} = /3,3\%, 4,0\%, 5,2\%/$ . Вихідні дані та параметри моделі були взяті із експерименту.

Вимірювання геометричних параметрів проєкцій насіння /площ, периметрів, показників еліптичності/ запропоновано проводити шляхом їх оптичного сканування за допомогою фотоприймача з зарядовим зв'язком КІ200СІІ. Постає завдання визначення помилки оцінок, що виникають за такого їх вимірювання.

Під час проходження проєкції рухомого об'єкту через рядкову матрицю світлочутливих елементів в кожний момент часу на виході її можна одержати деяку послідовність імпульсів, суму яких можна подати одиничним сумарним імпульсом /хордою/. Площа  $i$ -го об'єкту за методом додавання довжин хорд визначається як:

$$S_i = \rho \sum_{j=1}^n l_j \quad / I /$$

де  $n$  - кількість хорд, що приходяться на об'єкт,  $\rho$  - крок квантування,  $l_j$  - довжина  $j$ -ї хорди /мал. I/



Мал. I. Спосіб визначення геометричних параметрів об'єктів

Було показано, що точність вимірювання залежить не від кількості рядків  $N$ , що приходяться на досліджувану фігуру, і від кількості імпульсів, що визначають довжину хорди /сторони/ цієї фігури. При  $N = 50$ ,  $n = 100$  помилка у вимірюванні площ фігур

не перевищує 1 %.

Дійсний периметр фігури рівний сумі довжин дуг, які її складають. Але вимірювання дуг технічно здійснювати достатньо важко, а тому периметр визначався як сума сторін ступінчатої фігури, вертикальні сторони якої - відстані між рядками, а горизонтальні - різниця між двома хордами на сусідніх рядках.

Цей спосіб має істотні переваги з точки зору простоти технічної реалізації:

$$L = \sum_{i=1}^n (l_i - l_{i-1}) + 2\rho \quad / 2 /$$

Величина  $L$ , обчислена за формулою /2/ завжди більша дійсної, але даний метод визначення параметрів може успішно застосовуватися, так як величина та знак помилки при вимірюванні класів досліджуваних фігур зберігаються приблизно однаковими біля 32%.

Дослідження величини помилки, що виникає при визначенні ступеня еліптичності фігур показало, що ця величина залежить від діапазону зміни ексцентриситету досліджуваних об'єктів: чим він більше, тим гірша точність визначення коефіцієнту еліптичності; при значних варіаціях у величині ексцентриситету помилка у визначенні коефіцієнту еліптичності стає великою /15% і більше/, а тому було зроблено висновок про необхідність попередньої орієнтації об'єктів розпізнавання.

В четвертій главі "Моделювання та алгоритмізація процесу розпізнавання" розглянуті результати досліджень параметричного підходу до розпізнавання образів, синтезовано алгоритм розпізнавання.

Базою для дослідження стали масиви статистичних вимірювань ознак насіння, що належать до вихідної системи. При побудові алгоритму розпізнавання використовувалися рівняння функції, одержані

ні шляхом застосування відношення максимальної правдоподібності до сукупностей, які становлять класи розпізнавання. Багатовимірні сукупності апроксимували нормальним законом.

Розглянуто загальний і чотири окремих випадки. Загальний випадок - коли класи насіння мають ознакові описи з нерівними і недіагональними коваріаційними матрицями. Скремими вважались випадки, коли коваріаційні матриці: недіагональні і рівні між собою; нерівні, але діагональні; діагональні і рівні, одиничні. Рівняння дискримінантних функцій для всіх типів коваріаційних матриць одержували з допомогою ЕОМ за спеціально розробленою програмою. Для кожного випадку обчислені імовірності помилок розпізнавання. Проведені дослідження дали можливість одержати такі результати:

- двовимірний простір ознак виявився неприйнятним для даного підходу в зв'язку з неадекватністю розподілів ознакових підпросторів різних класів насіння: одна і та ж пара ознак може забезпечувати малі імовірності помилок класифікації при розпізнаванні одних класів і великі - при розпізнаванні інших. Так при розпізнаванні класів  $\Omega_1, \Omega_2$  при двовимірному підпросторі ознак  $\chi_1, \chi_2$  забезпечуються імовірності помилок  $P_{1,2} = 0,028$ ,  $P_{2,1} = 0,014$ ; цей же підпростір при розпізнаванні класів  $\Omega_1, \Omega_3$  забезпечує  $P_{1,3} = 0,270$ ,  $P_{3,1} = 0,04$ . Аналогічний результат одержано і для ознак  $\chi_1, \chi_2$ . Кожна ознака опису має рівний вплив на імовірність помилок першого та другого роду, цей вплив залежить і від інших ознак опису;

- внаслідок корельованості ознак, простори більш високої розмірності не завжди дають менші імовірності помилок класифікації порівняно з просторами невисокої розмірності.

- квадратичні дискримінантні функції майже в усіх випадках забезпечили менші імовірності помилок розпізнавання, ніж лінійні,

але останні завищують імовірність помилки не більше, ніж на 1% при довірчій імовірності 0,95.

Під час розпізнавання класів насіння за видами через значне зростання помилок не можна виконувати навчання "насіння цукрового буряка - насіння бур'янів", і необхідно здійснювати окреме навчання "насіння цукрового буряка - насіння просвірника", "насіння цукрового буряка - насіння дикої редьки", а потім екзамінувати за одержаними рівняннями всі класи і використовувати те рівняння, яке забезпечує найменші імовірності помилок.

Математично цей алгоритм можна записати /для 3 - вимірного ознакового простору/:

$$(x_1, x_2, x_3) \in \Omega, \text{ якщо } g_{13}(x) > 0 \wedge g_{12}(x) > 0$$

$$(x_1, x_2, x_3) \in \Omega_2 \vee \Omega_3, \text{ якщо } [g_{13}(x) > 0 \wedge g_{12}(x) < 0] \vee \\ \vee [g_{13}(x) < 0 \wedge g_{12}(x) < 0] \vee / 3 / \\ \vee [g_{13}(x) < 0 \wedge g_{12}(x) > 0].$$

де  $g_{12}(x)$  - дискримінантна функція, одержана при навчанні "насіння цукрового буряка - насіння дикої редьки",  $g_{13}(x)$  - дискримінантна функція, одержана при навчанні "насіння цукрового буряка - насіння просвірника".

Враховуючи вище наведене, а також, виходячи із міркувань економічності пристрою, який розробляється, за робочий було взято лінійний алгоритм класифікації, використання якого під час експериментальних досліджень показало хороші результати.

Одержане рівняння дискримінантної функції під час використання трьох ознак має вигляд:

$$g(x) = [x - 0,5(\bar{x}^{(1)} + \bar{x}^{(2)})]^t S^{-1} (\bar{x}^{(1)} - \bar{x}^{(2)}) = / 4 / \\ = a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3 + d,$$

$$\text{де } a_1 = S_{11}(\bar{x}_1^{(1)} - \bar{x}_1^{(2)}) + S_{12}(\bar{x}_2^{(1)} - \bar{x}_2^{(2)}) + S_{13}(\bar{x}_3^{(1)} - \bar{x}_3^{(2)});$$

$$a_2 = S_{21}(\bar{x}_1^{(1)} - \bar{x}_1^{(2)}) + S_{22}(\bar{x}_2^{(1)} - \bar{x}_2^{(2)}) + S_{23}(\bar{x}_3^{(1)} - \bar{x}_3^{(2)});$$

$$a_3 = S_{31}(\bar{x}_1^{(1)} - \bar{x}_1^{(2)}) + S_{32}(\bar{x}_2^{(1)} - \bar{x}_2^{(2)}) + S_{33}(\bar{x}_3^{(1)} - \bar{x}_3^{(2)});$$

$$d = -0,5 [a_1(\bar{x}_1^{(1)} + \bar{x}_1^{(2)}) + a_2(\bar{x}_2^{(1)} + \bar{x}_2^{(2)}) + a_3(\bar{x}_3^{(1)} + \bar{x}_3^{(2)})],$$

$S_{jk} = \frac{1}{N_i} \sum_{q=1}^{N_j} (x_{jq} - \bar{x}_j)(x_{kq} - \bar{x}_k)$  - елементи коваріаційної матриці,  $S^{-1}$  - обернена коваріаційна матриця.

Алгоритм оптимального розпізнавання насіння цукрового буряка ( $\Omega_1$ ) від насіння дикої редьки ( $\Omega_2$ ) і просвірника ( $\Omega_3$ ) має вигляд:

$$(x_1, x_2, x_3) \in \Omega_1, \text{ якщо } [(-1,02x_1 + 0,24x_2 - 0,04x_3 + 43,3) > 0] \wedge \\ \wedge [(-0,45x_1 + 0,06x_2 + 0,03x_3 - 7,39) > 0]$$

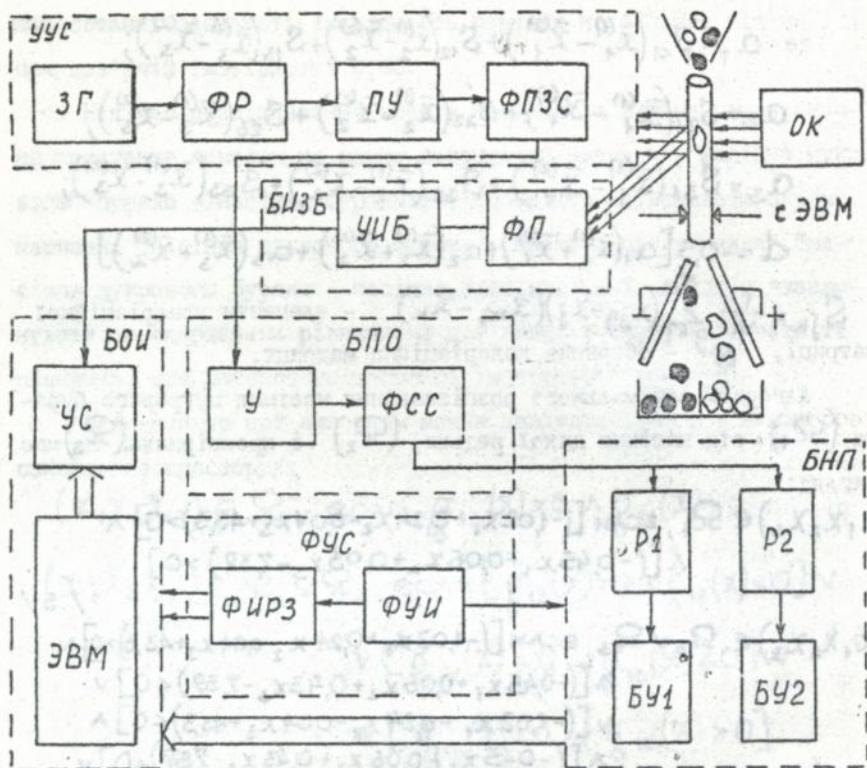
/ 5 /

$$(x_1, x_2, x_3) \in \Omega_2 \vee \Omega_3, \text{ якщо } [(-1,02x_1 + 0,24x_2 - 0,04x_3 + 43,3) > 0] \wedge \\ \wedge [(-0,45x_1 + 0,06x_2 + 0,03x_3 - 7,39) < 0] \vee \\ \vee [(-1,02x_1 + 0,24x_2 - 0,04x_3 + 43,3) < 0] \wedge \\ \wedge [(-0,45x_1 + 0,06x_2 + 0,03x_3 - 7,39) < 0] \vee \\ \vee [(-1,02x_1 + 0,24x_2 - 0,04x_3 + 43,3) < 0] \wedge \\ \wedge [(-0,45x_1 + 0,06x_2 + 0,03x_3 - 7,39) > 0].$$

В п'ятій главі "Реалізація наукових результатів" розглянуті питання технічного втілення, синтезованого алгоритму, а також перспективи подальшого використання результатів.

На базі фотоприладу з зарядовим зв'язком /ФЗС/ створено експериментальний пристрій для класифікації насіння, який включає 7 основних блоків: пристрій управління та синхронізації датчика ФЗС /УЗС/, блок попереднього обробітку інформації /БПО/, формувальник сигналу управління /УС/, блок накопичення та передачі інформації /БНП/, блок вимірювання білості /БВБ/, блок обробітку інформації /БОІ/, оптичний канал /ОК/ /мал.2./.

ЛНБ ім. В. Стефанюка  
АН України



Мал. 2. Система для класифікації насіння /УУС - пристрій управління та синхронізації, ЗГ - задавачий генератор, ФР - формувач розвертки, ПУ - перетворювач рівня, ФПЗС - фотоприлад з зарядовим зв'язком, УПО - пристрій попереднього обробітку, У - підсилювач, ФСС - формувач стандартних сигналів, Р1, Р2 - регістри, БУ1, БУ2 - буферні підсилювачі, БНП - блок накопичення та передачі інформації, ФУС - формувач імпульсів управління, ФИРЗ - формувач імпульсів дозволу запису, БОИ - блок обробітку інформації, УС - пристрій сполучення, ОК - оптичний канал, ІМ - виконавчий механізм/.

Для роботи фотоприймача необхідні фазові послідовності, які формуються за допомогою задаткового генератора, формувача розвертки та перетворювача рівня. Світловий промінь, сформований оптичним каналом, попадає на пролітаючу через нього насінину, відбитий сигнал попадає на БІЗБ, а тіньова проєкція - на ФІЗС. Одержана з вихідного пристрою ПЗС-датчика інформація надходить до БПО, де підсилюється і приводиться у відповідність з параметрами ТШ формувачем стандартних сигналів ФСС, а далі сигнали попадають в блок накопичення та передачі інформації, який складається із регістрів та буферних підсилювачів. Інформація з кожних восьми послідовних комірок ФІЗС по чергово записується в регістри, а потім через буферні підсилювачі попадає в БОМ.

ЕУС формує імпульси для управління роботою регістрів та буферних підсилювачів, а також імпульси дозволу запису в БОМ. БІЗБ включає в себе фотоприймач для вимірювання інтегральної білості насіння, буферний підсилювач, аналого-цифровий перетворювач з комутатором аналогових сигналів та блок живлення. Вхідні аналогові сигнали з фотоприймача, які відповідають рівню білості насіння, попадають на вихідний комутатор. Вибраний з комутатора сигнал через повторювач напруги попадається до входу АЦП. Сигнал запуску та готовності АЦП, а також сигналу управління комутатором, формуються і контролюються пристроєм сполучення з БОМ через блок буферного підсилювача.

БОМ включає в себе сполучення з БОМ і саму БОМ, що керує роботою всієї системи. Пристрій сполучення - це паралельний інтерфейс, що здійснює обмін з системним каналом мікро-БОМ за допомогою реєстра стану джерела і вхідного реєстра. Він здійснює переривання, забезпечує обмін із зовнішніми пристроями за допомогою сигналів, які керують уводом/виводом інформації.

Програмне забезпечення системи включає основну програму обробки зображень насіння, обчислення дискримінантної функції і прийняття рішення про належність об'єкту до будь-якого класу з видачею команди на виконавчий механізм і допоміжні підпрограми: увід інформації з БНП і БМЗБ, вивід інформації на дисплей. Програми написані на мові асемблера.

В результаті використання лінійних дискримінантних функцій при тривимірних ознаках опису експериментальна установка забезпечила наступні імовірності помилок розпізнавання:

$$P_{1,2} = 0,008, P_{2,1} = 0,025; P_{1,3} = 0,014, P_{3,1} = 0,002,$$

де індексами позначена імовірність помилкового прийняття об'єктів одного класу /позначеного першим індексом/ за другий /позначений другим індексом/.

На базі експериментальної установки пристрою розпізнавання, розроблено промисловий зразок очисника насіння цукрового буряка від важковіддільних бур'янів.

Продуктивність такого пристрою - 100 кг/год. Економічний ефект від втілення /за даними УкрНДІСГОМа і УНДІДСа/ складає понад 1,5 млн. крб. на рік.

#### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

В результаті виконаних теоретичних та експериментальних досліджень в дисертації науково обгрунтовані технічні розробки створення пристрою розпізнавання очисника насіння цукрового буряка від важковіддільних бур'янів. При цьому одержані такі науково - технічні результати:

1. Сформована апріорна система ознак, що містить перелік фізичних властивостей і характеристик, які максимально відображають видові і якісні відмінності досліджуваних видів насіння. Систему складають наступні ознаки: коефіцієнт блиску з кутом

спостереження  $30^\circ$ ; спектральний коефіцієнт відбивання на ділянці довжин хвиль білість, коефіцієнт складності форми; коефіцієнт еліптичності. Розроблено методи одержання інформації про ці ознаки.

2. Зроблена мінімізація числа градацій ознак з точки зору затрат пам'яті розпізнавального пристрою і сумарних втрат інформативності параметрів розпізнавання. Зроблена мінімізація числа ознак, одержано оптимальний тривимірний опис класів насіння -  $/X_1, X_2, X_3/$ , де  $X_1$  - інтегральна білість насіння,  $X_2$  - коефіцієнт складності форми,  $X_3$  - коефіцієнт еліптичності.

Розраховані допустимі багатовимірні похибки вимірювань ознак за методом, що базується на статистичному моделюванні процесу розпізнавання. Розраховані реальні похибки ознак, які виникають під час їх практичного вимірювання, визначені вимоги до процесу вимірювання з тим, щоб гранична помилка не перевищувала допустиму.

3. Алгоритмізація розпізнавання виконана шляхом застосування відношення максимальної правдоподібності до сукупностей, що являють собою розпізнавальні класи. За допомогою даної методики одержані алгоритми оптимального розпізнавання насіння цукрового буряка від насіння бур'янів. Автором виявлено, що квадратичні дискримінантні функції забезпечили менші імовірності помилок розпізнавання, ніж лінійні, але останні завершують імовірність помилки не більше, як на  $1/3$  при довірчій імовірності 0,95. Значний ріст помилок розпізнавання дозволив зробити висновок про недоцільність навчання "насіння цукрового буряка - насіння бур'янів" і необхідність виконувати окреме навчання "насіння цукрового буряка - насіння дикої редьки", "насіння цукрового буряка - насіння просвірника", потім проєкціювати за одержаними рівняннями всі класи. Одержані алгоритми забезпечили розпізнавання насіння з імовірностями помилок відповід-

но  $P_{1,2} = 0$ ,  $P_{2,1} \neq 0,02$ ;  $P_{1,3} = 0,014$ ,  $P_{3,1} = 0$ .

4. Результати виконаних досліджень по знаходженню ефективних описів класів насіння і оптимального алгоритму розпізнавання підтвержені експериментально, одержані практично прийнятні імовірності помилок розпізнавання  $P_{1,2} = 0,008$ ,  $P_{2,1} = 0,025$ ;  $P_{1,3} = 0,014$ ,  $P_{3,1} = 0,002$ .

В результаті виконаних теоретичних і експериментальних досліджень розроблено пристрій розпізнавання очисника насіння цукрового буряка від важковіддільних бур'янів на базі фотоприймачів з зарядовим зв'язком, що містить пристрій управління і синхронізації датчика ЄЛС, блоки попередньої обробки, накопичення і передачі інформації, формувач сигналу управління, блок вимірювання білості насіння, обчислювальний пристрій на базі мікропроцесора КМ1810.

Створений пристрій призначений для очистки особливо цінних сортів насіння цукрового "Еліта" та "Супереліта", вартість яких велика.

Запровадження у виробництво одержаних наукових результатів і розроблених технічних засобів здійснюється в даний час в УкрНДІСГОМі, УНДІДСі та інших організаціях.

Сумарний економічний ефект від застосування наукових результатів і технічних засобів розробки складає за даними УкрНДІСГОМу і УНДІДСу понад 1,5 млн. крб. на рік.

Матеріали дисертації опубліковані в таких роботах:

І. Галай Н.В., Ермилова Н.В. Определение информативности признаков при распознавании объектов. В кн. Проблемы конструирования и технологии производства сельскохозяйственных машин //Тез. докл. Республиканской научно-техн. конф. Кировоград. 1991. С.37.

2. Галай Н.В., Ермилова Н.В. Автоматическая классификация семян сахарной свеклы // Тез. докл. научно-технич. конф. ВНИИТИМЭСХ по итогам исследований 1990 года. Зерноград. 1991. С.10.

3. Ермилова Н.В., Якубова Г.Г. Методика исследования оптических свойств сыпучих материалов // Тез. докл. 43 научн. конф. ПолтИСИ. Полтава. 1991. С.308.

4. Галай Н.В., Ермилова Н.В. Распознавание образов по геометрическим признакам // Тез. докл. 43 научн. конф. ПолтИСИ. Полтава. 1991. С.303.

5. Ермилова Н.В. Исследование коэффициента поглощения сыпучих материалов в инфракрасном диапазоне волн // Тез. докл. 44 научной конф. ПолтИСИ. Полтава. 1992. С.316.

6. Ермилова Н.В., Галай Н.В. Классификация объектов при общей ковариационной матрице признаков описаний. В кн.: Эффективные строительные материалы и конструкции, используемые при возведении зданий и сооружений. Киев. 1992. С.82-86.

7. Ермилова Н.В. Исследование формы объектов на базе фотоэлектрических приборов с зарядовой связью // Тез. докл. 44 научной конф. ПолтИСИ. Полтава. 1992. С.314.

8. Ермилова Н.В. Автоматическое распознавание объектов по форме // Сб. научных трудов Полтавского ИСИ. Киев. 1993. С.52-59.

9. Ермилова Н.В. Организация обработки аналоговых сигналов в ЭВМ // Тез. докл. 45 науч. конф. ПолтИСИ. Полтава. 1993. С.263.

10. А.с. СССР № 1735710. Способ измерения размеров изделий / Н.В.Галай, Н.В.Ермилова, Г.М.Лысенко // Бюллетень изобретений. 1992. № 10.

11. Галай Н.В., Ермилова Н.В. Синтез оптимального алгоритма

распознавания // Тез. докл. 45 научной конф. ПолтИСИ. Полтава, 1993. С.252.

12. Способ сортировки семян сахарной свеклы / ПолтИСИ; авт. изобр. Н.В.Ермилова, А.М.Медведев. Заявл.01.04.92 № 5035412. Пат. реш. о выд. а.с. на изобр.

13. Ермилова Н.В. Оценка точности измерения геометрических характеристик сложных фигур // Тез. докл. 45 научн. конф. ПолтИСИ. Полтава. 1993. С.259.





465836

AB 27.269

**AB 27.269**