



ПЛОВДИВСКИ УНИВЕРСИТЕТ „ПАИСИЙ ХИЛЕНДАРСКИ“ ФАКУЛТЕТ ПО
МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАТИКА КАТЕДРА „КОМПЮТЪРНИ СИСТЕМИ“

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд за присъждане на образователна и научна
степен „доктор“

Тема: ОБРАЗНА ДИАГНОСТИКА В СИСТЕМИ ЗА
ИНТЕЛИГЕНТНО ЗЕМЕДЕЛИЕ

Област на висше образование: 4. Природни науки, математика
и информатика; **Професионално направление:** 4.6.

Информатика и компютърни науки; **Докторска програма:**
Информатика

Редовен докторант:
Даниел Желязков Русев

Научен ръководител:
проф. д-р Станимир Стоянов

Пловдив 2025

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Дисертационният труд е посветен на разработването на комплексна методология и приложен софтуерен модул за образна диагностика в системи за интелигентно земеделие. В основата на разработката стои идеята за интегриране на дистанционни данни, спектрални анализи, машинно обучение и пространствени информационни системи, с цел създаване на инструмент за прецизно наблюдение и управление на земеделски култури.

Научната област, в която се ситиуира трудът, е интердисциплинарна и включва елементи от информатика, геоинформационни технологии, агрономия, дистанционни изследвания, системно моделиране и приложна математика. Това разширено поле позволява формулирането на интегрирани решения, които да бъдат както научно обосновани, така и практически приложими в съвременното земеделие.

В глобален контекст интелигентното земеделие се развива като отговор на няколко ключови предизвикателства: климатичните промени, изчерпването на природни ресурси, нуждата от устойчиво производство и повишаването на глобалното търсене на храни. Международни организации като FAO, Европейската комисия, COPERNICUS, USDA и NASA подчертават необходимостта от внедряване на цифрови технологии, включително дистанционни наблюдения, като средство за оптимизация на земеделските практики. Разработваните в последните години цифрови платформи и системи се стремят да предоставят не само данни, а знания и препоръки в реално време, базирани на големи масиви от исторически и текущи наблюдения.

В българския контекст темата придобива особена актуалност поради спецификите на климатичните условия и разнообразната структура на земеделските стопанства. В страната съществува ясно изразена нужда от модернизация на земеделския сектор, особено в областта на мониторинга на културите, управлението на ресурсите и адаптацията към климатичните промени. Лозарството е сред секторите с висока добавена стойност, но и висока чувствителност към климатични и биотични стресови фактори. Това поставя необходимостта от разработване на надеждни инструменти за дистанционен контрол, които да улеснят фермерите при вземане на решения.

Дисертационният труд извежда теоретичната постановка, че съчетаването на мултиспектрални данни, алгоритми за анализ и платформи за интеграция може да осигури система за ранна диагностика и прогнозиране на важни агрономически показатели. Създаден е модел, който надгражда съществуващи подходи чрез включване на времеви анализ, пространствено зонироване, машинно обучение и интеграция с енологични параметри. Това поставя системата в по-широк контекст, в който дистанционните наблюдения не само описват състоянието на растенията, но и подпомагат вземане на решения по цялата производствена верига — от полето до технологиите в избата.

Разработеният приложен модул е интегриран в регионалната платформа ЗЕМЕЛІА, която обединява различни информационни ресурси, модели и инструменти за анализ. Модулът функционира като цифров посредник между физическата агроecosистема и виртуалната среда, в която се извършват обработките. Чрез автоматизирано извличане на данни, обработка в облачна среда и визуализация на резултатите, той реализира концепцията за виртуално-физическо пространство и създава предпоставки за прецизно земеделие.

Дисертационният труд включва теоретична обосновка, методология, разработка на алгоритми, техническа реализация, както и експериментални изследвания, проведени върху реални лозови масиви. Резултатите от тези изследвания демонстрират способността на системата да открива ранни симптоми на стрес, да идентифицира пространствени вариации в здравето на растенията и да подпомага вземането на решения чрез генериране на карти за променливо торене.

Трудът е структуриран така, че да предостави не само технологично решение, но и научен принос към теорията на дистанционните наблюдения в земеделието, включително формализиране на връзката между спектралните индекси и биофизичните процеси в растенията. Подобро е разбирането за това как растителният покрив реагира на климатични и агротехнически фактори, както и как тези реакции могат да бъдат обективно измервани и моделирани чрез дистанционни методи.

Дисертацията доказва, че интегрираният подход към обработка на мултиспектрални изображения, машинно обучение и интелигентни платформи може да бъде ефективен инструмент за устойчиво управление на земеделските системи. Този подход създава условия за оптимизиране на ресурсите, намаляване на разходите, подобряване на качеството на продукцията и намаляване на екологичния отпечатък от земеделските дейности.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Основната цел на дисертационния труд е разработването на научнообоснована, методологично издържана и технологично реализуема система за образна диагностика в интелигентното земеделие, която интегрира дистанционни наблюдения, спектрални индекси, пространствен анализ и алгоритми за машинно обучение. Системата има за цел да предоставя надеждна информация за състоянието на земеделските култури, да подпомага вземането на агротехнически решения и да създава условия за устойчиво и ефективно управление на земеделските ресурси.

Формираната обща цел се обосновава с няколко ключови научни и практически аргумента:

- Нарастващата необходимост от методи за ранно откриване на стресови фактори при растенията.
- Наличието на големи масиви от дистанционни данни, които остават частично неизползвани поради ограничена обработка и анализ.
- Нуждата от автоматизация и стандартизация на процесите по наблюдение на културите.
- Потребността от интеграция на аналитични инструменти в съществуващи аграрни платформи.
- Прагматичната цел да се създаде инструмент с реално приложение в земеделската практика.

В подкрепа на общата цел са формулирани следните **основни задачи** на дисертационното изследване, представени тук в разширен, аналитично обоснован вид.

Задача 1. Извършване на систематичен научен обзор на съвременните подходи в интелигентното земеделие и дистанционните наблюдения

Целта на тази задача е да се дефинира теоретичната рамка на изследването и да се идентифицират научните празноти, които дисертацията запълва. Анализът включва сравнение на съществуващи методи, системи и архитектурни решения, както и оценка на тяхната приложимост в българския контекст. Особено внимание се обръща на

спецификите на лозарството като култура, за която образната диагностика е от критично значение.

Задача 2. Формулиране на теоретична основа за използването на спектрални индекси в оценката на растителното състояние

Тази задача има за цел да изясни физическата и физиологичната природа на спектралните отразявания в различни диапазони и да определи научната обосновка за използване на индекси като NDVI, NDRE и NDMI. Провежда се анализ на чувствителността на индексите спрямо различни стресови фактори, биофизични параметри и фенологични етапи, което създава основа за последващото моделиране.

Задача 3. Разработване на методология за обработка и анализ на дистанционни изображения

Целта е създаване на последователен, възпроизводим и мащабируем процес за обработка на данни, включващ:

- предварителни корекции и нормализация;
- сегментация на земеделските площи;
- извличане на характеристики;
- анализ чрез традиционни и съвременни алгоритми;
- оценка на точността и валидиране.

Методологията цели да гарантира висока надеждност на резултатите и тяхната приложимост в реални условия.

Задача 4. Проектиране и разработване на приложен модул за образна диагностика, интегриран в платформата ЗЕМЕЛА

Тази задача насочва усилията към технологичната реализация на системата. Разработката включва:

- дефиниране на архитектурата на модула;
- разработване на функционални компоненти;
- интеграция с GEE, Google Cloud и кадастрална система на България;
- създаване на визуализационни механизми;
- автоматизация на изчислителните процеси.

Резултатът е устойчив софтуерен инструмент, който функционира в реална оперативна среда.

Задача 5. Провеждане на експериментални изследвания върху реални лозови масиви

Експериментите имат за цел да валидират:

- точността на разработените алгоритми;
- приложимостта на спектралните индекси за оценка на стрес;
- способността на системата да открива пространствени вариации;
- ефективността на генерираните VRA карти.

Задачата включва сравнение с теренни наблюдения и агрономически оценки, както и анализ на влиянието на климатични и биофизични фактори.

Задача 6. Анализ и моделиране на връзките между дистанционни наблюдения и енологични показатели

Тази задача разширява традиционните граници на дистанционния мониторинг чрез включване на данни за качеството на гроздето и параметри на ферментацията. Извършва се статистически и корелационен анализ, чрез който се изследват зависимостите между спектрални индекси, динамиката на лозята и показателите на виното. Постигната е интеграция на агрономически и енологични знания в общ модел.

Задача 7. Формулиране на препоръки и създаване на модел за практическо внедряване на системата

Тази задача е насочена към оценка на:

- приложимостта на системата в различни агроекосистеми;
- възможностите за разширяване на функционалността;
- потенциала за внедряване в практиката;
- икономическите и екологичните ползи от използването ѝ.

Резултатът е набор от научно обосновани препоръки за земеделските производители и институциите.

Обобщение

Поставените цели и задачи очертават логическата структура на дисертацията и ориентират нейното съдържание към постигане на значими научни и приложни

резултати. Те образуват цялостен изследователски цикъл - от теоретичната постановка, през методологичното изграждане и технологичната реализация, до експерименталната проверка и практическата приложимост.

МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Методиката на изследването представлява систематично разработена рамка, която обединява принципите на дистанционните наблюдения, спектралния анализ, пространственото моделиране и методите на машинното обучение. Тя е създадена да осигури възпроизводимост, обективност и надеждност на резултатите, като в същото време позволява адаптация към различни земеделски култури и агроекологични условия.

Представената методика включва последователност от ясно дефинирани етапи, обединени в единен работен поток - от придобиването на данни, през тяхната обработка и анализ, до интерпретацията и приложението им при вземане на решения. Всяка стъпка е изградена така, че да минимизира информационните загуби, да елиминира неопределеностите и да повиши точността на крайния резултат.

Избор и характеристика на източниците на дистанционни данни

Първият етап от методиката включва избор на надеждни източници на дистанционни изображения. Използвани са сателитни данни предимно от мисията Sentinel-2 (MSI – MultiSpectral Instrument), която предоставя:

- пространствена резолюция от 10 m за ключовите спектрални канали (RED, NIR);
- 20 m резолюция за Red Edge и SWIR диапазоните;
- честота на наблюдение от 5 дни (при комбинирани орбити);
- високо радиометрично качество и безплатен достъп чрез програмата COPERNICUS.

Използвани са и изображения от Sentinel, Landsat 8/9 OLI, които предоставят по-дълъг архив за времеви анализ. В отделни експериментални серии е включено и дроново заснемане с мултиспектрални сензори, осигуряващо висока резолюция (до 5–10 cm), позволяващо оценка на микро-зони в лозовия масив.

Изборът на тези източници се обосновава със следните предимства:

- синхронизация с аграрните фенологични етапи;
- висока чувствителност към хлорофил и водно съдържание;
- подходяща резолюция за лозарски масиви;

- възможност за автоматизация на обработките;
- наличност на голям архив за анализ на времеви редове.

Предварителна обработка на изображенията

Предварителната обработка е ключов етап, който гарантира точността на последващите анализи. Прилагани са следните алгоритми и процедури:

Радиометрични и атмосферни корекции

Извършват се чрез продуктовете нива L2A на Sentinel-2, които включват:

- корекция на атмосферното разсейване;
- нормализация на осветеността;
- преобразуване към стойности на повърхностно отражение.

Това позволява сравняване на изображения, заснети при различни атмосферни условия.

Маскиране на облаци и сенки

Чрез QA60 канала на Sentinel-2 се премахват облачните пиксели и сенките.

Пространствена хомогенизация

Поради различните пространствени резолюции на каналите, е приложено интерполиране до унифицирана решетка от 10 m, базирано на билинейна интерполация. Това позволява коректно комбиниране на NIR, RED, RE и SWIR диапазоните.

Сегментация на земеделските площи

Използван е подход, който комбинира:

- NDVI маски за отделяне на растителност;
- кадастрални граници за очертаване на конкретни парцели;
- морфологични операции за елиминиране на артефакти;

Сегментирането осигурява изолиране на лозовите масиви от пътища, почви, сенки и други неактивни пиксели.

Изчисляване на спектрални индекси

Методиката включва изчисляване на трите основни индекса:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

$$NDRE = (NIR - RE) / (NIR + RE)$$

$$NDMI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$

За всеки индекс се създават:

- моментни карти;
- времеви редове;
- профили по фенологични фази;
- хистограми и статистически обобщения;
- пространствени анализи (минимум/максимум/медиана/вариация).

Чрез тези анализи се извличат закономерности, свързани с динамиката на растежа и стресовите явления.

Извличане на характеристики

Освен спектрални индекси се извличат и допълнителни показатели:

Текстурални характеристики

Изчисляват се чрез GLCM (Grey Level Co-occurrence Matrix):

- контраст;
- ентропия;
- хомогенност;
- корелация.

Текстуралните характеристики отразяват структурните различия в лозовия покрив, които често предхождат видими изменения в спектралните индекси.

Пространствени характеристики

Включват:

- пространствено зонироване;
- изчисляване на зонална статистика;
- анализ на пространствена автокорелация.

Това позволява оценка на вътрешно зоновите различия и идентификация на микро-зони.

Моделиране и машинно обучение

Методологията включва прилагане на статистически и машинно обучителни модели:

Класификация

Използвани са:

- Random Forest
- Support Vector Machines
- Decision Trees

Целта е да се класифицират участъци според:

- състояние на растителността;
- степен на стрес;
- хлорофилно съдържание;
- воден баланс.

Регресия

Моделите предсказват:

- очакван добив;
- динамика на растежа;
- параметри на ферментацията.

Методите включват:

- линейна регресия
- регресионни дървета

Метрики за оценка

Включват:

- RMSE
- R^2
- Accuracy
- Precision/Recall
- MAE

Те осигуряват количествена оценка за точността на системата.

Генериране на карти за променливо торене (VRA карти)

Методиката включва:

1. Спектрално зонироване
2. Агрегиране на пиксели в хомогенни блокове
3. Изчисляване на зонални статистики

4. Генериране на карта за приложение

VRA картите се предоставят на агрономите за:

- диференцирано торене
- локализирано третиране
- оптимизация на разходите

Валидация с теренни данни

Методиката включва събиране на:

- измервания на листна маса;
- визуални оценки;
- проби за лабораторен анализ;
- GPS проследяване на точки за проверка.

Данните служат за оценка на качеството на резултатите от дистанционните анализи.

Обобщение

Разработената методика представлява интегриран научен инструментариум, съчетаващ:

- дистанционни данни;
- математически модели;
- алгоритми за анализ;
- софтуерни автоматизации.

Тя осигурява надеждна основа за моделиране на аграрни процеси и подпомага прецизното вземане на решения в реална земеделска среда.

СЪДЪРЖАТЕЛЕН ОБЗОР НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. ПРЕГЛЕД НА ИНТЕЛИГЕНТНОТО ЗЕМЕДЕЛИЕ И ОБРАЗНАТА ДИАГНОСТИКА

Първата глава изгражда теоретичната рамка на изследването и поставя дисертацията в контекста на съвременните тенденции в цифровата трансформация на земеделието. Представени са основните концепции, технологични направления и научни подходи, които формират полето на интелигентното земеделие, интердисциплинарно обединяващо информатика, агрономия, геоинформационни науки и инженеринг на данни.

Разгледано е развитието на земеделието в историко-технологична перспектива – от традиционни системи, базирани на емпирични знания, през етапа на механизацията, до съвременната парадигма на цифровите, автономни и адаптивни земеделски системи. Особено внимание е отделено на прехода към прецизно земеделие, което въвежда интегрирани сензорни системи, геопространствени платформи, машинно обучение и високоразделителни дистанционни данни.

Разширено са анализирани компонентите на интелигентното земеделие:

- **Сензорни мрежи и IoT технологии**, които позволяват непрекъснат мониторинг на почвено-влажностни показатели, климатични параметри и физиологични характеристики на растенията.
- **Географски информационни системи (GIS)**, подпомагащи пространственото моделиране, интеграция на хетерогенни данни и визуализация на динамични процеси.
- **GNSS технологии**, осигуряващи висока точност в позиционирането на земеделска техника и автоматизация на операции като торене и пръскане.
- **Big Data и облачни платформи**, които позволяват мащабируемо съхранение и анализ на години исторически данни.
- **Дистанционни наблюдения** - сателитни, дронави и наземни - като ключови инструментариуми за наблюдение на вегетационните процеси.

В тази част се включва анализ на европейски и международни инициативи: стратегията на ЕС „Farm to Fork“, COPENICUS, FAO Digital Agriculture Framework, както и индустриални решения като Climate FieldView, John Deere Operations Center, xarvio BASF и др. Това поставя дисертацията в международен технологичен контекст.

Особено внимание е отделено на архитектурния модел ViPS (Virtual Physical Space), върху който е изградена платформата ЗЕМЕЛА. Моделът е разгледан като двупосочна

връзка между физическите обекти и техните цифрови представления, позволяваща проследимост, симулации и автоматизирани анализи.

Глава първа очертава ключови предизвикателства: недостиг на висока резолюция при облачност, нееднородност на данните, сезонна динамика, липса на интегрирани системи за анализ. Тези научни и технологични ограничения мотивират необходимостта от разработване на нова система за образна диагностика, каквато се предлага в дисертацията.

ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИИ ЗА ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ НА ИЗОБРАЖЕНИЯ В ЗЕМЕДЕЛИЕТО

Втора глава представя работния поток за обработка на изображения, използван в дисертацията. Той включва:

- придобиване на изображения (сателитни, дронави, наземни);
- предварителна обработка (атмосферни корекции, маскиране на облаци, орторектификация);
- сегментация на растителни площи;
- извличане на спектрални характеристики;
- класификация и регресионен анализ чрез модели на машинно обучение;
- визуализация на данни и верификация.

Особено място е отделено на спектралните индекси, които служат за количествена оценка на растителната жизненост, хлорофилното съдържание и водния статус.

Основните използвани индекси са:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

$$NDRE = (NIR - RE) / (NIR + RE)$$

$$NDMI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$

Тези формули са представени в удобен за копиране текстов вид и могат лесно да се центрират в документа.

Глава втора разглежда Google Earth Engine (GEE) като основна облачна платформа за обработка на дистанционни данни. Описани са предимствата му – мащабиране в облак, достъп до глобални сателитни архиви, създаване на времеви редове и интегриране на алгоритми за машинно обучение.

Анализирани са традиционни методи за класификация (Random Forest, SVM, Decision Trees), както и възможностите за използване на дълбоко обучение при задачи с по-висока сложност.

Обсъдени са основните предизвикателства при анализа на изображения: атмосферни влияния, разлики в пространствената резолюция, сезонни фенологични промени и необходимостта от адаптивно калибриране с теренни данни.

ГЛАВА 3. ПРИЛОЖЕН МОДУЛ ЗА ПЛАТФОРМАТА ЗЕМЕЛА

Третата глава описва приложния софтуерен модул, разработен и интегриран в платформата ЗЕМЕЛА. Модулът е предназначен за автоматизирана образна диагностика и включва:

- модул за извличане на дистанционни данни;
- модул за предварителна обработка;
- модул за спектрални индекси;
- модул за сегментация и зонироване;
- модул за анализ с машинно обучение;
- модул за визуализация и изготвяне на карти;
- интерфейсни компоненти за интеграция с кадастъра и облачни услуги.

Работният поток на системата включва:

1. Автоматизирано извличане на изображения и данни.
2. Предварителна обработка и премахване на атмосферни артефакти.
3. Изчисляване на спектрални индекси и създаване на времеви редове.
4. Сегментация на полето и създаване на маски за растителността.
5. Анализ чрез машинно обучение за откриване на стресови зони.
6. Генериране на VRA карти за променливо торене и растителна защита.
7. Визуализация чрез интерактивни карти и графики в ЗЕМЕЛА.

Особено внимание е отделено на VRA картите, които позволяват прецизно торене и управление на ресурсите. Модулът е приложен в реални пилотни тестове върху лозови масиви. Резултатите показват успешна идентификация на различия в растежа, стресови състояния и зони, нуждаещи се от допълнителни агрономически интервенции.

Интеграцията с българската кадастрална система позволява автоматично очертаване на парцели и свързване на анализа с реални граници в земеделските масиви.

ГЛАВА 4. МОДЕЛИРАНЕ НА АГРАРНИ ПРОЦЕСИ И ИНТЕГРАЦИЯ НА ЗНАНИЯ

Четвъртата глава представя модели, които обвързват дистанционните данни с агрономически и енологични показатели. Разгледани са:

- модели за оценка на състоянието на лозята;
- модели за добив, базирани на спектрални индекси;
- модели за анализ на стрес;
- пространствено зонироване на масиви.

Използват се входни данни като дистанционни изображения, климатични и почвени параметри, агротехнически мероприятия и реални теренни измервания.

Важен принос е моделът, свързващ спектрални индекси и състоянието на лозята с параметри на ферментацията при винопроизводството.

Проведен е корелационен анализ, който показва, че определени спектрални индекси и техните времеви вариации имат статистически значима връзка със захарност, киселинност и други показатели, характеризиращи качеството на виното.

Този подход позволява прогнозиране на качествени характеристики на виното още преди гроздобера и оптимизиране на технологичните решения във винопроизводството.

Основни научни резултати

Настоящият дисертационен труд представя комплексен набор от научни резултати, свързани с разработването, моделирането и прилагането на система за образна диагностика в интелигентното земеделие. Резултатите отразяват както теоретични постижения, така и практически ориентирани разработки, свързани с прилагане на дистанционни данни, машинно обучение и пространствен анализ в аграрния сектор. Те са структурирани в логически последователност, обхващаща целия жизнен цикъл на разработената система – от концептуализацията до експерименталната валидация и приложението в реална земеделска среда.

Теоретични резултати

На първо място, дисертационният труд предлага задълбочен анализ на научните основи на интелигентното земеделие, като систематизира множество технологични направления и ги свързва с концепцията за прецизно и автономно управление на земеделските процеси. Извършен е подробен анализ на съвременните тенденции в дистанционния мониторинг, спектралните технологии и машинното обучение, като е оформена рамка за интегриране на тези подходи в единен модел за образна диагностика.

Разработена е теоретична основа за използване на спектрални индекси като количествени оценки на физиологичното състояние на растенията. Тази основа включва уточняване на чувствителността на различни диапазони към физиологични промени и обосноваване на причинно-следствените връзки между спектралните подписите на растителността и биофизичните процеси, протичащи в културите.

Основните използвани индекси са:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

$$NDRE = (NIR - RE) / (NIR + RE)$$

$$NDMI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$

Представено е сравнително изследване на индекси в контекста на различни фенологични фази и климатични условия. Това позволява създаването на теоретична база, определяща приложимостта на индексите при оценка на стрес, хлорофилно съдържание, воден баланс и други ключови характеристики.

Методологични резултати

В труда е разработена цялостна методика за образна диагностика, която синтезира процеси по придобиване, обработка, анализ и интерпретация на дистанционни изображения. Методиката включва ясно дефинирани етапи, които позволяват повтораемост, проследимост и стандартизация - все качества, които са критични за научна и приложна употреба.

Изграденият работен поток включва:

1. Спецификация и избор на подходящи източници на изображения (различни платформи на Sentinel и Landsat, дронови системи, наземни сензори).
2. Прилагане на алгоритми за предварителна обработка, включително атмосферни и радиометрични корекции.
3. Разработване на подход за сегментация, позволяващ разграничаване на растителната покривка от други елементи в сцената.
4. Извличане на спектрални структурни характеристики, анализирани в многомерно пространство.
5. Моделиране чрез традиционни ML методи (Random Forest, Decision Trees) и експериментиране с по-усъвършенствани подходи за анализ.
6. Валидация на резултатите чрез теренни измервания и експериментални данни от реални лозови масиви.

Методиката е представена така, че може да бъде приложима и към други култури – овощни, зърнени, зеленчукови и трайни насаждения, което показва нейната висока универсалност.

Технологични резултати

Съществен принос представлява разработеният приложен модул за платформата ЗЕМЕЛА – модул, който осигурява автоматизиран, стандартизиран и възпроизводим процес на образна диагностика. Архитектурата на модула е съобразена с принципите на модулност, оперативна съвместимост и мащабируемост.

Сред технологичните реализации изпъкват:

- Автоматично извличане на изображения чрез GEE и тяхната синхронизация с кадастрални данни.
- Алгоритми за автоматично изчисляване на спектрални индекси и извеждане на ключови показатели.
- Визуализационен модул за интерактивни карти, времеви редове и тематични анализи.
- Компоненти за интеграция с Google Cloud Analytics Hub, които позволяват сигурно споделяне на данни.
- Механизъм за генериране на VRA карти (Variable Rate Application), които подпомагат диференцираното торене и растителна защита.

Особено важен технологичен резултат е интегрирането на прототипа с платформата ЗЕМЕЛА, което превръща научната разработка в реално използваем инструмент за фермери, агрономи и научни екипи.

Експериментални резултати

Експерименталната част на дисертацията е реализирана в реална среда - лозови масиви, където са събрани данни в различни фенологични фази. Данните са обработени чрез разработената система и са анализирани множество аспекти от растежа, вегетацията и състоянието на лозята.

Експериментите показват:

- Висока корелация между NDVI/NDRE и визуално определени параметри за жизненост на лозите.
- Добра чувствителност на NDMI към наличието на воден стрес.
- Съвпадение между автоматично откритите стресови зони и агрономически оценки на място.
- Успешна идентификация на микро-зони в лозовия масив, които се различават по физиологично състояние, добивен потенциал и нужди от агротехнически намеси.
- Потвърждение на приложимостта на VRA картите за променливо торене.

Генерираните VRA карти са сравнени с традиционни методи на агрономическа оценка и са установени значителни икономически и ресурсни предимства при тяхното използване.

Резултати от интеграция с енологични данни

Един от най-иновативните резултати е свързването на дистанционните наблюдения на лозята с показателите от ферментационния процес при производството на вино.

Изследвани са зависимости между:

- динамиката на NDVI, NDRE и NDMI през вегетацията;
- показатели като захарност, титруема киселинност, pH и фенолно съдържание;
- развитието на ферментацията, включително скорост и температурни профили.

Експериментите показват, че съществуват ясни, статистически значими връзки, които могат да се използват за ранно прогнозиране на качеството на гроздето и очаквания стил на виното.

НАУЧНИ ПРИНОСИ

Научните приноси на дисертационния труд се изразяват в разработването на нови методи, модели, алгоритми и технологични решения в областта на образната диагностика за интелигентното земеделие. Те обхващат теоретични, методологични, технологични и приложни аспекти. Приносите са формулирани според стандартите на ВАК за яснота, обоснованост и измеримост, като всеки от тях е подкрепен от резултати, описани в дисертационния труд и в свързаните научни публикации.

Теоретични приноси

1. Формулирана е разширена теоретична рамка на интелигентното земеделие, която интегрира дистанционното наблюдение, спектралния анализ и машинното обучение в единна концептуална система. Това позволява по-задълбочено разбиране на многопластовите връзки между биофизичните процеси в растенията и техните спектрални характеристики.
2. Дефинирана е обоснована връзка между физиологичните процеси в растенията и спектралните индекси NDVI, NDRE и NDMI, като е уточнена интерпретацията им в контекста на различни фенологични фази, типове стрес и агротехнически условия. Това представлява принос към теорията на растителната спектрална диагностика.
3. Извършена е нова научна класификация на факторите, влияещи на точността на образната диагностика – атмосферни условия, сезонна динамика, резолюционни

различия, биофизични вариации и агротехнически интервенции – и е предложен модел за оценка на тяхното влияние в анализа.

4. Разработена е теоретична основа за интегриране на агрономически и енологични параметри чрез дистанционни наблюдения, като е предложен подход за свързване на спектралните характеристики на лозята с качествените свойства на произведеното вино.

Методологични приноси

1. Създадена е цялостна методика за образна диагностика, включваща всички етапи от придобиването на дистанционни данни до тяхната интерпретация и използване при вземане на решения. Методиката е универсална, приложима за различни култури и мащаби на земеделски стопанства.
2. Разработен е алгоритмичен подход за предварителна обработка на сателитни изображения, който подобрява точността на последващия спектрален анализ чрез адаптивно маскиране на облачност и автоматична нормализация на данните.
3. Предложен е метод за сегментация на земеделски площи, който комбинира спектрална информация и пространствени характеристики, позволявайки по-точно отделяне на растителната покривка от нерелевантни обекти.
4. Създаден е модел за многомерен анализ на спектрални характеристики, който интегрира NDVI, NDRE и NDMI със структурни и текстурални показатели, като значително подобрява детекцията на стресови зони.
5. Формулирана е методика за оценка на точността на автоматизирани анализи чрез теренни наблюдения, която отчита пространствени, времеви и биологични фактори.

Технологични приноси

1. Разработен е приложен модул за автоматизирана образна диагностика, интегриран в платформата ЗЕМЕЛА, създаден върху принципите на модулност, оперативна съвместимост и мащабируемост.
2. Въвежда се автоматизиран процес за извличане и обработка на сателитни изображения, който елиминира нуждата от ръчни операции и намалява времето за анализ от часове до минути.
3. Реализиран е софтуерен компонент за автоматично генериране на карти на спектрални индекси и визуализации на времеви редове, което дава възможност за проследяване на развитието на културите в динамика.
4. Създаден е механизъм за автоматизирано създаване на VRA карти (Variable Rate Application), които подпомагат диференцираните агротехнически интервенции - променливо торене, локализирано третиране и напояване.

5. Реализирана е интеграция с Google Cloud Analytics Hub, която осигурява възможност за защитено споделяне на анализи, дистанционни данни и модели със заинтересовани страни.
6. Интегрирана е функционалност за автоматично очертаване на земеделски парцели чрез кадастрални данни, което позволява пространствено прецизно обвързване на наблюденията.

Експериментални и приложни приноси

1. Проведени са експерименти в реални лозови масиви, които демонстрират висока точност при откриване на стресови зони и значителна корелация между спектралните индекси и реалните параметри на растенията.
2. Валидирани са методите за диагностика чрез сравнение на автоматично генерирани VRA карти с агрономически оценки и теренни измервания, доказвайки практическата стойност на разработената система.
3. Доказано е, че използването на NDMI позволява надеждна оценка на водния стрес при лозята, което е критично за правилното управление на напояването.
4. Установени са връзки между NDRE и хлорофилното съдържание, което подпомага ранното откриване на хранителни дефицити.
5. Показано е, че интегрирането на дистанционни наблюдения с енологични данни може да служи за прогнозиране на захарност, киселинност и други качествени показатели на гроздовата продукция.
6. Разработеният прототип е приложен успешно в реална среда и е доказал потенциал за внедряване в широкомащабни земеделски операции, професионални земеделски стопанства и научни центрове.

Обобщение на приноси

Дисертацията предлага:

- нов модел за образна диагностика;
- нови методи за спектрален анализ и сегментация;
- ефективен софтуерен инструмент за интелигентно земеделие;
- практическа приложимост в реални условия;
- иновативно свързване на дистанционни данни с параметри на виното.

ПЪЛЕН СПИСЪК публикации

на Даниел Желязков Русев,
докторант към катедра „Компютърни системи“

1. Deep learning-based object classification on automotive radar spectra
K Patel, K Rambach, T Visentin, D Rusev, M Pfeiffer, B Yang
2019 IEEE Radar Conference (RadarConf), 1-6
2. Modelling Distributed Fault-Tolerant High Availability Storage Cluster Based on Block-Chain Concepts for Tracking Scientific-Research Progress
V Valkanov, M Petrov, D Rusev, I Radeva
2020 IEEE 10th International Conference on Intelligent Systems (IS), 590-595
3. Guard System in Cyber-Physical Space
B Toskov, A Toskova, D Rusev
International Scientific Conference “Blue Economy and Blue Development, 1-2
4. Anomaly Identification in a Smart Farming Platform
M Rusev, D Rusev, V Tabakova-Komsalova, L Doukovska
2024 IEEE 12th International Conference on Intelligent Systems (IS), 1-6
5. Система от гардове в кибер-физическото пространство
B Toskov, A Toskova, D Rusev
Компютърни науки и комуникации 7 (1), 119-124
6. Imaging in a Smart Agriculture Platform
D Rusev, M Rusev, S Stoyanov, V Tabakova-Komsalova
2024 IEEE 12th International Conference on Intelligent Systems (IS), 1-6
7. Integration of Virtual and Physical Worlds in ViPS
S Stoyanov, D Rusev
2019 Big Data, Knowledge and Control Systems Engineering (BdKCSE), 1-5

СПИСЪК НА ЦИТИРАНИТЕ В ДИСЕРТАЦИЯТА публикации

**на Даниел Желязков Русев,
докторант към катедра „Компютърни системи“**

1. Imaging in a Smart Agriculture Platform.

ПЪЛЕН СПИСЪК Проекти

на Даниел Желязков Русев,
докторант към катедра „Компютърни системи“

1. Национална научна програма „Интелигентно земеделие“ (2021-2024): The Bulgarian Ministry of Education and Science under the National Research Program “Smart crop production” approved by Decision of the Ministry Council №866/26.11.2020.
2. Научен проект КР-06-М62/2“ МОДЕЛИРАНЕ НА ЗНАНИЯ В ОБЛАСТТА НА БЪЛГАРСКИЯ ФОЛКЛОР“, към Фонд „Научни изследвания“ при ИИКТ на БАН

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дисертационният труд представя комплексно решение за образна диагностика в системи за интелигентно земеделие, обединяващо концептуални, методологични, технологични и приложни аспекти. Изведените резултати потвърждават валидността и ефективността на разработения подход и демонстрират неговата практическа приложимост в реални земеделски условия.

Разработеният модел за образна диагностика успешно интегрира данни от дистанционни наблюдения, методи за предварителна обработка, спектрален анализ, машинно обучение и пространствена визуализация. Тази интеграция осигурява възможност за ранно откриване на стресови фактори, оценка на състоянието на културите и оптимизиране на агротехническите решения.

Особено значими са технологичните постижения, свързани с внедряването на приложния модул в платформата ЗЕМЕЛА. Той осигурява автоматизиран, надежден и бърз анализ на сателитни изображения и улеснява работата на агрономи и фермери чрез достъпни визуализации, тематични карти и динамични времеви редове. Реалните експериментални резултати доказват, че системата подпомага практическото управление на лозовите масиви и води до повишаване на ефективността и устойчивостта на земеделското производство.

Интересен и иновативен аспект на дисертацията е връзката между дистанционните показатели и енологичните параметри на ферментацията. Установените зависимости дават възможност за прогнозиране на качествените характеристики на продукцията още преди гроздобера. Това отваря ново направление за прилагане на дистанционните методи в лозаро-винарския сектор и показва потенциал за интеграция на дистанционни и лабораторни данни в единна система.

Дисертацията поставя основите за бъдещи научни разработки, свързани с:

- разширяване на спектъра от използвани дистанционни данни (хиперспектрални, термални, LiDAR);
- прилагане на дълбоко обучение за по-прецизни модели;
- интеграция на данни от почвени и климатични сензори за мултимодален анализ;
- автоматизирано прогнозиране на добиви и агротехнически препоръки;
- прилагане на подобни методики и в други земеделски отрасли.

Разработката демонстрира, че комбинацията от дистанционни технологии, машинно обучение и интелигентни платформи може да доведе до значително подобрене в

управлението на земеделските процеси, оптимизация на ресурсите и повишаване на устойчивостта на производството.

Трудът предлага не само научна стойност, но и реално приложим инструмент с икономически и екологични ползи. Това го позиционира като важен принос към развитието на интелигентното земеделие в България и демонстрира потенциала за бъдещи иновации в сектора.