



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ
Факултет Компютърни системи и технологии
Катедра „Информационни технологии в индустрията“

Маг. инж. Илкер Алтанов Яхов

ТЕМА

**„ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА РАЗРАБОТВАНЕ
НА АРХИТЕКТУРА ЗА ОБРАБОТКА НА ИНФОРМАЦИЯ В
ИНДУСТРИЯТА ОТ СЛЕДВАЩО ПОКОЛЕНИЕ“**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
"ДОКТОР"

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.3 „Комуникационна и компютърна техника“
Научна специалност: „Автоматизирани системи за обработка на информация
и управление“

Научни ръководители:
Проф. д-р инж. Румен Трифонов
Доц. д-р инж. Андрей Еленков

СОФИЯ, 2024 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Информационни технологии в индустрията“ към Факултет Компютърни системи и технологии на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 20.02.2024 г..

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 21.05.2024 г. от 13 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-5.3-11 / 29.02.2024 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. проф.д-р Милена Кирилова Лазарова-Мицева Председател
2. доц. д-р Галя Веселинова Павлова Научен секретар
3. проф.д-р Атанас Велков Атанасов
4. проф.д-р Петко Христов Петков
5. доц.д-р Вера Ангелова Ангелова-Димитрова

Рецензенти:

проф.д-р Атанас Велков Атанасов
доц.д-р Вера Ангелова Ангелова-Димитрова

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Факултет Компютърни системи и технологии на ТУ-София, блок № 1, кабинет № 1443А

Дисертантът е редовен докторант към катедра „Информационни технологии в индустрията“ на Факултет Компютърни системи и технологии. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: маг. инж. Илкер Алтанов Яхов

Заглавие: Изследване на възможностите за разработване на архитектура за обработка на информация в индустрията от следващо поколение

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

В дисертацията се разглежда необходимостта от дигитализация и автоматизация в оранжерийното земеделие в съответствие с парадигмата на Индустрия 4.0. Въпреки напредъка в автоматизацията в различните отрасли на селското стопанство, оранжерийното производство е поставено пред сериозни предизвикателства.

Настоящото изследване предлага интегрирана система от оранжерии, използваща принципите на Индустрия 4.0, за да се повиши оперативната ефективност, качеството и устойчивостта, като насърчава сътрудничеството и обмена на информация между оранжерийните. Системата има за цел да оптимизира вземането на решения, разпределението на ресурсите и намаляването на риска в селскостопанските практики.

Като използва цифровите технологии и автоматизацията, предложената система предлага обещаващи перспективи за повишаване на производителността, опазване на ресурсите и устойчивост в оранжерийното земеделие

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Обект на настоящото изследване е оранжерийното производство от следващо поколение, посредством автоматизирани системи за наблюдение, контрол и превенция.

Предмет на настоящето изследване е теоретично базиран, концептуален модел на архитектура на взаимосвързани, комуникиращи по между си умни (автоматизирани) оранжерии, с възможност за превантивни действия.

Цел на труда е да създаде и приложи обобщен дизайн и архитектура на теоретично обоснована система от взаимосвързани комуникиращи оранжерии. За да се постигне целта се разглеждат и анализират съществуващите в момента автоматизирани продукти за оранжерийно производство, използвани в аграрната индустрия и се определят възможни подобрения. За да бъде постижима целта, се представя изцяло нова идеология за събиране, съхранение и обработване на информация, на базата на единна система от свързани и комуникиращи единици, което позволява изграждането на набор от превантивни мерки. За целите на настоящото изследване е формулирана следната хипотеза: Ако се създаде и приложи единна архитектура на комуникиращи оранжерии в аграрното производство, то ще се повиши добивът и ще се намалят ресурсите, необходими за постигането на същото количество производство, както с конвенционална система.

Задачи на изследването

- Разглеждане на голям набор от решения в индустрията
- Идентификация на възможни пропуски във всяка една от съществуващите решения
- Определяне на възможни коригиращи мерки, с цел да се подобрят съществуващите решения
- Определяне на изисквания за предложената система, имайки предвид данните от точка 3
- Проверка за “Early Adopters”
- Изследване на възможността за изграждане на подобна инсталация
- Изграждане на MVP – minimum viable product

Методи на изследване

Изследванията в областта на автоматизацията през призмата на Индустрия 4.0 изискват употребата на някои специфични методи за анализ, разработка и предложение на решение. Някои от методите използвани в дисертацията са:

- Преглед и анализ на съществуващата литература със задълбочен и прецизен синтез на информационните източници по изследваната тематика.
- Определяне на обективни тенденции в изследваните аспекти на оранжерийното производство
- Моделиране на решение – изискванията на различните потребители биват взети под внимание и решението се базира на системно ниво, което ще удовлетвори нуждите на голям брой засегнати потребители.
- Изграждане на единен дизайн на теоретично обоснована архитектура за свързани оранжерии, с цел комуникация и изграждане на превантивни мерки.
- Експеримент – констатиращ и формиращ експеримент с умален модел на действаща оранжерия
- Фокус група (Focus group) - качествен метод за изследване, който е широко използван в маркетинга. В случая е използван за проучване на удовлетвореността и нагласите на бъдещите ползватели на системата. За целта, на група хора (евентуални бъдещи ползватели на системата) се задават въпроси относно тяхното отношение към идеята за подобна система. Въпросите се задават в интерактивна група, в която наблюдаваната група има възможността да дискутира свободно помежду си.
- Анализ на риска – автоматизирането и дигитализирането на подобен вид дейност води до появата на определни нови рискови точки. Чрез този метод се прави проверка за reliability, availability and serviceability на цялостната система и решение.
- Засичане и предотвратяване на инциденти – една от основните акценти на Industry 4.0 е именно Predictive Analysis & Preventive Maintenance. Системите трябва да са защитени от евентуални спирания поради проблем/инцидент.
- Сигурност – взаимосвързаните системи от Industry 4.0 водят със себе си и съответните заплахи. Оценката за сигурност е неизбежна част от подобно изследване и система.

Научна новост

Концептуални рамки: Въвеждане на иновативни концептуални рамки, съобразени с уникалните предизвикателства на автоматизацията на селското стопанство.

Усъвършенствани методологии: Представяне на най-съвременни методологии и аналитични техники, разработени за автоматизирането на селскостопанските процеси.

Технологични постижения: Представяне на технологични нововъведения, които са довели до революция в автоматизацията на селското стопанство, включително сензорни мрежи, задвижващи механизми и системи за управление.

Интердисциплинарни заключения: Изследване на интердисциплинарния характер на автоматизацията на селското стопанство, като са използвани идеи от области като компютърни науки, инженерство и агрономия.

Емпирични открития: Представяне на емпирични открития, получени от обширни експерименти и наблюдения в реални условия на модел на оранжерийни системи.

Разгледани и обсъдени са множество публикации, трудове и разработки в дадената сфера, като са идентифицирани техните пропуски и места за подобрене. Предложени са и различни възможности за подобрене и решаване на отворени задачи.

Практическа приложимост

Валидиране и верифициране: Валидиране и проверка на научните иновации чрез комбинация от симулационни проучвания, полеви експерименти и сравнителни анализи.

Бъдещи насоки: очертаване на бъдещите насоки на научните изследвания и нововъзникващите тенденции в областта на автоматизацията на селското стопанство, като определяне на областите, които са узрели за по-нататъшно проучване и иновации.

В дисертационния труд са разгледани спецификите на аграрното производство (оранжерийното за по специфично) и са дадени множество препоръки за начини на реализиране на системи за автоматизиран контрол.

Практическа приложимост с голяма добавена стойност представлява и предложената система за определяне на нивото на автоматизация и определяне на оптималното ниво на автоматизация.

Апробация

Части от дисертационния труд са представени в специализирани научни издания и научни конференции и участие в научноизследователски проект.

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 5 на брой научни статии, от които 4 в конференции и 1 в списание.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от **188** страници, като включва увод, **4** глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо **92** литературни източници, като **92** са на латиница и **0** на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо **87** фигури и **23** таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. ОБЗОР И АНАЛИЗ НА СЪВРЕМЕННИТЕ РЕШЕНИЯ

Изграждането на възможно най-добър естествен климат за отглеждането на култури вече не е толкова сложно. Последните десетилетия се появиха множество новости и технологични решения, които правят този процес все по смислен и лесен за имплементация. Използването на оранжерии за създаването на благоприятна среда е най-добрият пример. Всяко едно от новите решения, имплементирани в оранжерийното производство водят до подобряване на цялостния процес и подпомагат дейността на производителите. Една модерна оранжерийна система може да се сравни с производствено предприятие, като може да се каже, че не отстъпва с нищо. Няколко са обаче основните подобрения, които довеждат до по-голям смисъл и ускоряват развитието на подобни системи. Като за начало е важно да се спомене имплементацията на автоматизация в тези системи. Нивото на автоматизация зависи от нуждите и възможностите на потребителя.

Автоматизираните оранжерийни системи представляват критична връзка между технологиите, селското стопанство и устойчивостта, като обещава повишаване на производителността на културите, ефективно използване на ресурсите и опазване на околната среда. В тази глава започваме цялостен преглед и анализ на съществуващите решения в областта на автоматизираните оранжерии. Чрез синтезиране на прозрения от академичната литература, индустриални доклади и емпирични наблюдения се цели да се изясни настоящия пейзаж на автоматизацията на оранжерии, да се идентифицират ключови предизвикателства и възможности и да положат основите на изследователските начинания.

Разпространението на автоматизираните оранжерийни системи е обусловено от неотложната необходимост от справяне с многостранните предизвикателства, пред които е изправено съвременното селско стопанство, включително нарастването на населението, недостига на ресурси, променливостта на климата и проблемите на продоволствената сигурност. Конвенционалните практики за управление на оранжерии, разчитащи на ръчна намеса и евристично вземане на решения, стават все по-неприемливи в условията на нарастваща сложност и нестабилност на селскостопанските екосистеми. Вследствие на това нараства необходимостта от внедряване на усъвършенствани технологии за автоматизация, способни да оптимизират условията на околната среда, използването на ресурсите и добивите на култури в оранжерийна среда.

Настоящият преглед и анализ обхваща широк спектър от теми, включително сензорни технологии, системи за управление, анализ на данни, комуникационни протоколи и алгоритми за оптимизация, свързани с автоматизацията на оранжерии. Въз основа на разнообразен набор от източници се оценяват силните страни и ограниченията на съществуващите решения в множество измерения, вариращи от техническа ефикасност и мащабируемост до рентабилност и удобство за потребителя. С помощта на критичен поглед се откриват тенденциите, моделите и новите парадигми в областта, като се изясняват както успехите, така и недостатъците на настоящите подходи към автоматизацията на оранжерии.

Като цяло, прегледът и анализът разкриват пейзаж, характеризиращ се с бързи технологични иновации, разрастващи се приложения и еволюиращи най-добри практики в автоматизираните оранжерийни системи. Въпреки че е постигнат значителен напредък в подобряването на мониторинга на културите, контрола на климата и управлението на ресурсите в оранжерийна среда, продължават да съществуват няколко предизвикателства, включително проблеми с оперативната съвместимост, уязвимости в областта на киберсигурността и необходимост от стандартизирани протоколи и интерфейси. Освен това

различията в степента на приемане и технологичната готовност представляват пречка за широкото внедряване и възприемане на автоматизирани оранжерийни решения.

В този контекст, идеята на дисертационния труд е да се разработи и приложи интегрирана рамка за автоматизирано управление на оранжерии, която да отговори на основните предизвикателства и да използва новите технологии за оптимизиране на производството на култури, използването на ресурсите и устойчивостта на околната среда. Чрез използване на мощта на усъвършенстваната автоматизация, анализа на данни и прогнозното моделиране, изследването се стреми да повиши устойчивостта, ефективността и рентабилността на оранжерийните операции в условията на динамични условия на околната среда и променящи се пазарни изисквания.

В тази глава се поставят основите на изследователските начинания, като се предоставя нюансирано разбиране на текущото състояние на автоматизираните оранжерийни системи. Чрез обобщаване на прозренията от различни източници и критична оценка на съществуващите подходи се идентифицират ключовите предизвикателства и формулира ясна цел и набор от задачи, които да ръководят дисертационно изследване. Чрез систематично проучване и иновации се стреми към напредък в границите на знанието и практиката в областта на автоматизацията на оранжерии, като в крайна сметка се допринесе за устойчивостта на селскостопанските екосистеми. Въз основа на това се стига до следната формулировка на цел и задачи: За целите на настоящото изследване е формулирана следната хипотеза:

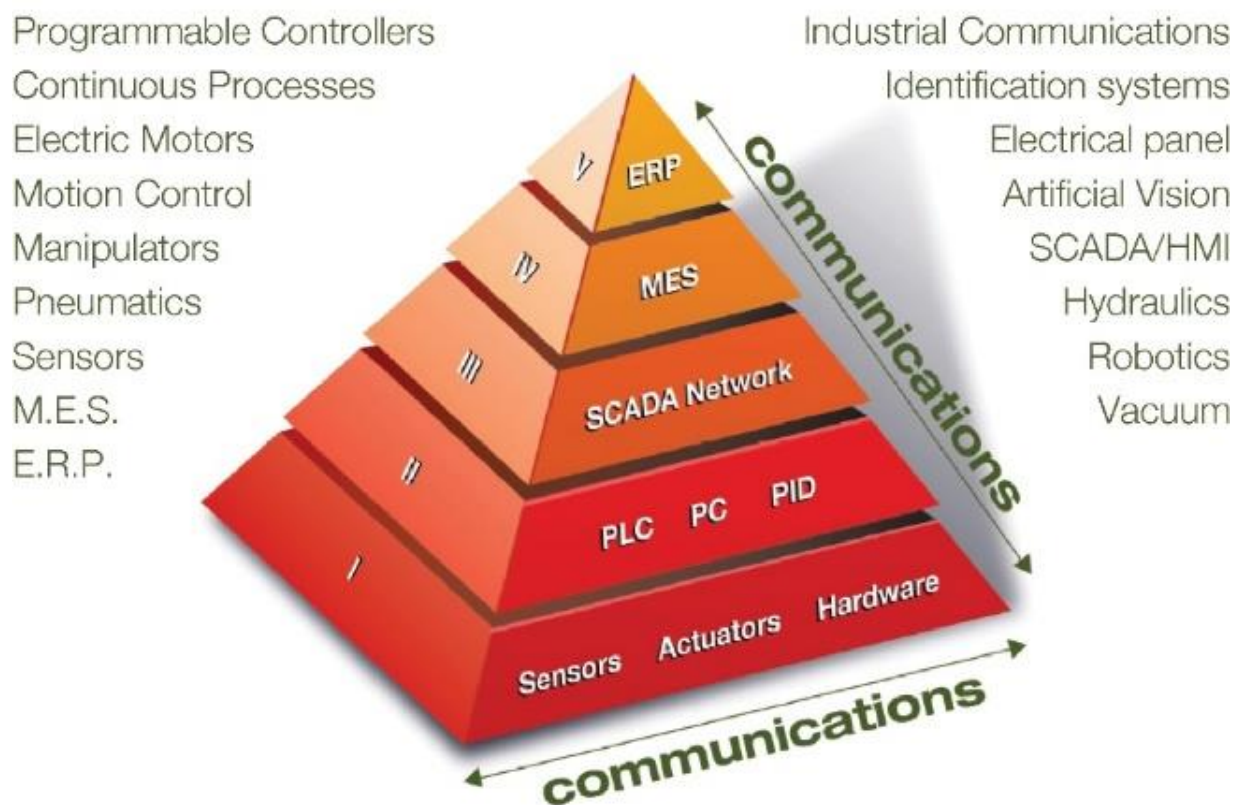
- Ако се създаде и приложи единна архитектура на комуникиращи оранжерии в аграрното производство, то ще се повиши добивът и ще се намалят ресурсите, необходими за постигането на същото количество производство, както с конвенционална система.

Задачи на изследването

- Разглеждане на голям набор от решения в индустрията
- Идентификация на възможни пропуски във всяка една от съществуващите решения
- Определяне на възможни коригиращи мерки, с цел да се подобрят съществуващите решения
- Определяне на изисквания за предложената система, имайки предвид данните от точка 3
- Проверка за “Early Adopters”
- Изследване на възможността за изграждане на подобна инсталация
- Изграждане на MVP – minimum viable product

Изследването започва от дълбините на автоматизацията, като преглежда цялостната картина на пирамидата на автоматизацията при тези системи. Пирамидата на автоматизация е нагледно изобразяване на различните нива на автоматизация в едно предприятие или цяла индустрия. Тя обхваща всички процеси и дейности от най-ниското до най-високото ниво, като разделя процесите на слоеве спрямо тяхната същност и изпълнение. Нивата, в пирамидата на автоматизацията са общо 5, като включват – Field Level, Control Level, Supervisory Level, Planning Level, Management. От своя страна, тази концепция класифицира различните IT нива в индустриалните автоматизирани системи. Всяко ниво съдържа своя набор от задачи и дейности, както и IT инфраструктура, според която да действа.

TECHNOLOGIES



Фигура 1 – Пирамида на автоматизацията

Следва обширен поглед над индустриалната комуникация, като съвместимостта и гъвкавостта са основни фактори за всяка една нова система в днешния индустриален свят. Въпреки това, към момента почти всички ново изградени системи налагат имплементацията на допълнителни модули, които комуникират и работят на различни технологии. Същото важи и за връзката между устройствата в различните архитектурни решения. Поради големите различия в процесите, изискванията, дейностите, и ограниченията на различните сфери, към момента не съществува изцяло унифицирана комуникационна инфраструктура. Когато се разглеждат настоящите постижения в областта на проектирането на оранжерии, повечето проучвания се фокусират върху оптимизирането на дизайна за конкретно място или разглеждат само един параметър на дизайна.

В таблицата са изложени като примери едни от най-популярните индустриални комуникационни протоколи, които могат да се открият в почти всички системи, действащи около нас. Всеки един от тези протоколи си има определени предимства и недостатъци, като различията идват от там, че се използват различни, добре дефинирани формати за обмен на съобщения. Изборът на определена комуникационна технология, топология и стандарт зависят изцяло от изискванията на дейността, която ще се извършва и проблема, който трябва да се реши. Някои от важните характеристики, които трябва да се следят внимателно при избора на технология са:

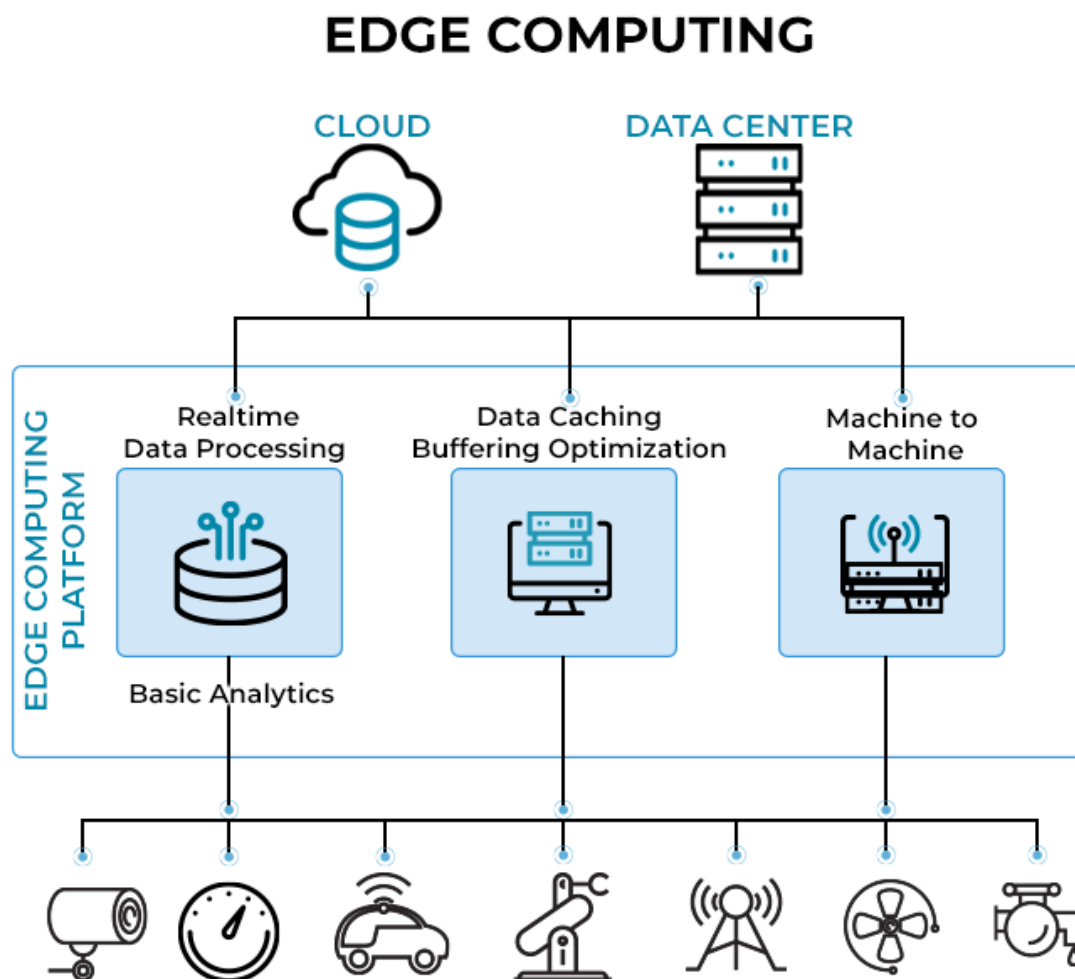
- Скорост на прехвърляне на данни
- Размер на пакети
- Защита (криптиране на данни)
- Топология
- Обхват от поддържан хардуер

Protocol	Physical	Data link	Network	Transport	Session	Presentation	Application
EtherNet/IP	Ethernet 10/100/1000 Mbps	Ethernet CSMA/CD	IP	TCP/UDP	CIP protocol family		
ControlNet	RG-6 coaxial cables, 5Mbps	ControlNet CTDMA	ControlNet, 99 nodes	ControlNet	CIP protocol family		
DeviceNet	CANbus with twisted pair cables, 1Mbps	CAN bus CSMA/NBA	DeviceNet, 64 nodes	DeviceNet	CIP protocol family		
Modbus-RTU or ASCII	Serial cable, ex: RS- 232, RS-485	Modbus	Modbus Map, 247 nodes	Modbus			Modbus client or server + interface
Modbus- TCP/IP	Ethernet 10/100/1000 Mbps	EtherNet	IP, 254 nodes/module	TCP port 502	Modbus TCP		Modbus client or server + interface
PROFIBUS	RS-485 cables, fiber optic cable or MBP	PROFIBUS Fieldbus data link	32 nodes, 126 with fiber optic cable	Not used	Not used	Not used	PROFIBUS DP
EtherCAT	Ethernet 10/100/1000 Mbps	EtherNet w/EtherCAT slave controller chip	IP with timing layer, up to 65535 nodes	TCP/UDP	EtherCAT		
HART (Wired)	Simultaneous hybrid analog & digital signaling, 4-20mA copper wiring	Mechanical/ electrical connection, transmits raw bitstream		Auto segmented transfer of large data sets, reliable stream transport, negotiated segment sizes	Not used	Not used	Command oriented, predefined data types and application procedures
HART (Wireless)	2.4GHz wireless, IEEE802.15.4 based radios, 10dbm transmission power	Secure and reliable, time synced TDMA/CSMA frequency agile with ARQ	Power- optimized, redundant path, self- healing wireless mesh network		Not used	Not used	
PROFINET	Ethernet 10/100/1000 Mbps	Ethernet CSMA/CD	IP	TCP/UDP	Not used	Not used	PROFINET

Таблица 1 – Сравнение между популярни решения за индустриална комуникация

Като следваща фаза са разгледани разликите между облачните (cloud) и edge computing решения - Поради необходимостта от масивни центрове с капацитет от огромни ресурси, които са необходими за изграждането, предоставяне и поддръжка на облачни услуги, сравнително малко са компаниите-доставчици на подобни услуги. Немалка част от тях са вече огромни корпорации, сред които се намират: Amazon (Amazon Web Services), Google (Google AppEngine), Microsoft (Microsoft Azure), Apple iCloud, Salesforce, Sun Microsystems, IBM, Oracle, VMWare, а в България - Cloud.bg и pCloud. С разрастването на броя на свързаните устройства в системите по света се разширяват и възможностите на тези матрици, но от друга страна нараства и необходимостта от вземане на (правилните) решения в реално време. Доста често латентността на облачните системи играе отрицателна роля в подобни казуси и се налага преместването на дейностите от облака, към ръба, или към така наречените edge computing системи. Въпреки, че това са едни много различни една от друга технологии, които споделят някои общи черти, въпросът не е, дали трябва да използваме някоя от двете, а как да направим така, че да използваме и двете максимално ефективно. Казано по друг начин, отговорът на въпроса Cloud или Edge е по добрият избор за нашата система е Cloud И Edge. Решението, което се предлага за целта на тази система е да се интегрират edge сървъри до самите оранжерии (в зависимост от размера и капацитета на самите предприятия, може да се изградят комбинирани, които да действат като изчислителна среда за няколко различни потребителя). За да може да се гарантира

адекватно събиране на данните на едно място, с цел последващ анализ на данните, информацията от отделните edge устройства ще се събира и преработва вторично в облачна среда. Към момента това е единствената алтернатива, която да позволи събирането на толкова огромно количество информация от толкова различни първоизточника. Първичната обработка от edge средата ще гарантира еднотипност на формата на данните, като ще улесни и процеса на обработка, тъй като ще са преминали през първичен подбор и анализ. Също така, това ще улесни и ускори процеса на изкарване на анализи за конкретните оранжии, тъй като данните ще се събират и съхраняват много близко до самите тях. Потребителите ще имат възможност да се докоснат както до суровите данни, така и до обработени и резюмирани във всеки един момент от деня.



Фигура 2 - Съвместна интеграция между Cloud и Edge Computing

По този начин решаваме и един допълнителен (и доста сериозен проблем), а именно – нежеланието на потребителите да споделят част от информацията. Задържането на конфиденциалната информация в рамките на Edge системата ще успокои потребителите и ще допринесе до по-лесната адаптация и приемане на подобна технология (дори най-добрата система не струва, ако няма достатъчните потребители).

ГЛАВА 2. ПРЕДЛОЖЕНИЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА MODEL PREDICTIVE CONTROL СИСТЕМА ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА АВТОМАТИЗИРАНА ОРАНЖЕРИЯ

Чрез последващите проведените тестове и изследвания се предлага оптимизацията на класическите системи в рамките на контролирана среда в оранжериите чрез прилагането на усъвършенствани стратегии, като Model Predictive Control (MPC). Използвайки строго изведени линеаризирани модели, съсредоточени около предварително определени зададени стойности, се прилага сложна обобщена стратегия за предсказващ контрол, за да се повиши производителността на системата, без да се налагат физически промени в съществуващата инфраструктура. Отличителна черта на това изследване е емпиричното валидиране на алгоритъма на MPC в сложната и динамична среда на оранжерията. Строгите симулации потвърждават ефективността на предложената стратегия, като демонстрират нейното превъзходство при постигането на зададените стойности, като същевременно предлага подобрени променливи на управлението, точност и устойчивост в сравнение с конвенционалните MPC методологии.

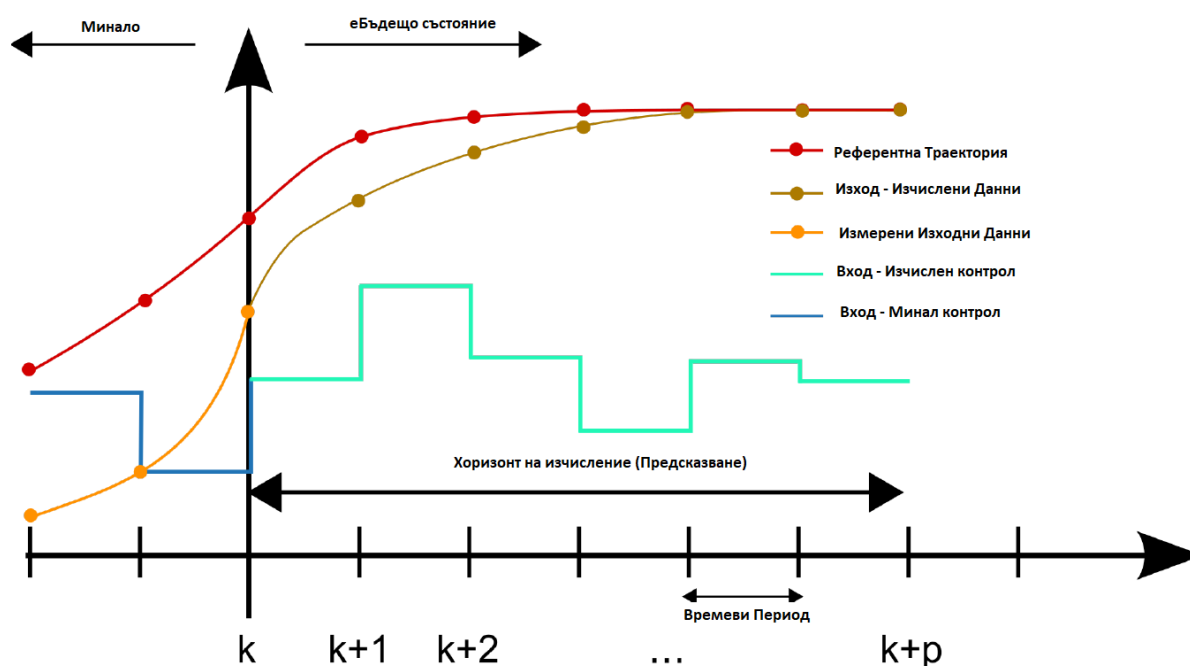
За да се оценят предложените стратегии за MPC за повишаване на ефективността и устойчивостта при производството на оранжерийни култури, щателно е разработен прототипен вариант на производствена единица. Този прототип теоретично имитира мащаба на стандартна търговска растежна камера, създавайки реалистичен и мащабируем стенд за експериментално валидиране. Мрежата от сензори и изпълнителни механизми в рамките на експерименталния модел формира гръбнака на събирането на данни и управлението в реално време. Сензорите, стратегически разпределени в оранжерията, непрекъснато следят ключови параметри като температура, влажност и концентрация на въглероден диоксид. Изпълнителните механизми, включително тези, които управляват термоелектрическият охладител, отоплителните системи и вентилацията, отговарят на указанията на алгоритмите на MPC, за да поддържат желаните условия на околната среда.

Определени са и предимствата на подобна система, като:

- Интуитивност и лекота на настройката - Едно от основните предимства на MPC е неговата интуитивност, което го прави особено привлекателен за лица с ограничени познания в областта на управлението. Едновременно с това настройването на алгоритмите на MPC е сравнително лесно, което допринася за неговата достъпност и приложимост.
- Приложимост в различни процеси - MPC демонстрира своята гъвкавост, като е приложим към широк спектър от процеси, вариращи от такива с проста динамика до сложни системи с дълги времена на закъснение, неминимални фазови характеристики или дори нестабилност. Присъщата способност за работа с многовариантни системи допълнително повишава полезността му.
- Компенсация на мъртвите времена и смущенията - MPC по своята същност компенсира мъртвите времена в процесите и безпроблемно въвежда механизмите за управление на принципа на "feedforward", за да противодейства на измерените смущения. Тази функция подобрява адаптивността на контролера към реалните оперативни предизвикателства.
- Изпълнение на линейни закони за управление - Полученият контролер от проектирането на MPC е линеен закон за управление, който е не само ефективен, но и лесен за прилагане. Тази простота улеснява практическото приложение на MPC в управлението на климата в оранжериите.
- Третиране на ограниченията - MPC се отличава с обработката на ограниченията в рамките на управлението. Систематичното включване на ограниченията по време на процеса на проектиране гарантира, че контролерът работи в определени граници, което допринася за повишаване на стабилността и устойчивостта.

- Съображения за бъдещи референции - MPC се оказва особено полезен, когато са известни бъдещи референтни стойности, както често е случаят в приложения като роботика или партидни процеси. Тази особеност позволява да се приложи по-специфичен и изпреварващ подход за управление.
- Отворена методология с потенциал за бъдещо разширяване - MPC се основава на фундаментални принципи, които предлагат отворена методология. Тази гъвкавост позволява бъдещи разширения и адаптации, като гарантира нейната актуалност в развиващите се технологични пейзажи.

Определени са и предизвикателствата на подобна система, като прилагането на MPC в контекста на производството на оранжерийни култури е в съответствие с присъщите на методологията силни страни. Чрез проектиране на методи за управление, които минимизират целева функция, подчинена на ограничения за определен времеви хоризонт, MPC предлага систематичен и изпреварващ подход към управлението на климата в оранжерииите.



Фигура 3 - MPC Диаграма

В тази глава посредством експериментите, се представя иновативна стратегия за управление, предназначена за ефективна работа на оранжерия, захранвана от микромрежа. Стратегията използва моделно предсказващо управление за оптимално регулиране на микроклимата в оранжерията, като осигурява правилно управление на енергийните и водните потоци за напояване, изкуствено осветление, обогатяване с CO₂, изсушаване, вентилация и отопление и други променливи в средата. Оптимизационните модели отчитат неопределеността на възобновяемите енергии, натоварванията и метеорологичните прогнози. Получените стратегии за управление демонстрират ефикасността на метода за оптимизация, показвайки неговата пригодност за устройства за управление на енергията в оранжерии. Това се постига чрез придържане към сигналите за зададени стойности на микроклимата и съобразяване със задължителните експлоатационни ограничения дори при наличие на неопределеност.

Изпълнението и последващото тестване в реално време на модела представлява специфично предизвикателство, включващо фактори като получаване на достъп до реална инсталация, създаване на подходящ комуникационен интерфейс, свързващ инсталацията и хардуера, предназначен за изпълнение на алгоритъма, и справяне с тънкостите, свързани със самия хардуер. Сложността на провеждането на тестове в реално време се подчертава

от наблюдението, че в обзорна статия, посветена на MPC системи се посочват предимно теоретични статии с ограничено включване на приложни статии, представящи емпирични данни от измервания. При прототипната реализация на алгоритмите за управление щателното внимание трябва да бъде насочено към избора на подходяща платформа, проектирането на ефективни комуникационни интерфейси, свързващи различните системи, и избора на език за програмиране, който да е в съответствие с цялостната архитектура на системата. Тези съображения оказват значително влияние върху аспектите на развитие на алгоритмите за управление, разнообразието от налични функционалности и потенциалните ограничения, наложени на алгоритъма. Наложително е да се признае, че не всички оптимизатори се поддържат универсално от всяка хардуерна система или език за програмиране. Освен това способността на системата за реално време да се свързва с други системи се улеснява чрез стандартни мрежови портове или аналогови и цифрови сигнали, обработвани от входно-изходни модули. По време на експеримента, целта е да се следва референтна стойност за температурата на въздуха в оранжерията, като същевременно се сведе до минимум входящото управление. Освен това за промените в контролните входове се определя ограничение, за да се предотвратят резки промени в положението на проветривания механизъм или температурата на отоплителната система, тъй като такива промени могат да предизвикат умора и потенциална повреда на изпълнителните механизми. Управляващите входове са предмет на ограничения, наложени от физическите ограничения на задвижващите механизми.

За да се улесни практическото прилагане на оптимизацията, като се вземат предвид неопределеностите при моделирането и външните смущения, присъщи на реалните сценарии, се предлага при реална употреба в реална среда да се използва йерархичен подход за управление. Подходът включва различни нива, като логиката на горното ниво определя референтни стойности за факторите на околната среда в оранжерията. В долния слой се проектират контролери за моделно предсказващо управление (MPC), които ефективно да следят тези референтни траектории. Тази йерархична структура повишава адаптивността и устойчивостта на стратегията за управление при справяне с реални предизвикателства. В обобщение, изследванията, представени в тази глава, осигуряват цялостно проучване на стратегиите за оптимизация на оранжерии, като отчитат фактори извън традиционното потребление на енергия за отопление и охлаждане. Работата разширява фокуса, като включва относителната влажност, концентрацията на CO₂ и контрола на напояването в оранжерията, предлагайки практически решения за подобряване на ефективността на използване на водата и намаляване на нуждите от вода. Освен това разглеждането на системата за засенчване и включването на множество фактори на околната среда в йерархичния контрол допълнително повишават значимостта и приложимостта на изследването. Разработването на динамичен модел и оптимален контролер, заедно с ефективна техника за решаване, представлява основен принос, осигуряващ ценна основа за оптимизиране на оранжерийните системи за повишаване на енергийната ефективност и производството на култури. Резултатите от това изследване подчертават трансформирания потенциал на предложените стратегии за MPC в производството на оранжерийни култури. Икономическите предимства и повишаването на ефективността налагат да се препоръча внедряването на тази нова технология, особено като се има предвид преобладаващата зависимост от естествената вентилация и ръчното овлажняване в настоящите системи за управление на оранжерии. Съществуващите системи за контрол на оранжерии, разчитащи на ръчна намеса за задаване на референтни стойности на температурата, скоростта на нагряване, влажността и скоростта на замъгляване, са склонни към грешки. Ръчният подход не само увеличава разходите за труд, но и усложнява управлението на оранжерии. Предложените стратегии на MPC осигуряват надеждна алтернатива, като автоматизират процеса на управление и намаляват рисковете, свързани с ръчните намеси.

Като се имат предвид очевидните ползи, на действащите обекти в областта на градинарството силно се препоръчва да приемат тази нова технология. Приемането на

стратегии за МРС може ефективно да елиминира грешките, да намали разходите за труд и да рационализира управлението на оранжерийните системи. Преминването към автоматизирано управление съответства на принципите за ефективност, прецизност и оптимизиране на ресурсите. Предложеният проект полага основите на бъдещи постижения в системите за управление на оранжерии. Следващите препоръки предоставят пътна карта за разширяване и прилагане на резултатите от изследването:

- Бъдещите системи за контрол биха могли да изследват интегрирането на техники за многоцелева оптимизация. Това би включвало оптимизиране на параметрите не само за намаляване на консумацията на енергия, но и за минимизиране на загубите в оборудването и едновременно с това за повишаване на прецизността на изпълнителните механизми. Такъв всеобхватен подход съответства на всеобхватната цел за устойчиво и ресурсно ефективно управление на оранжерииите.

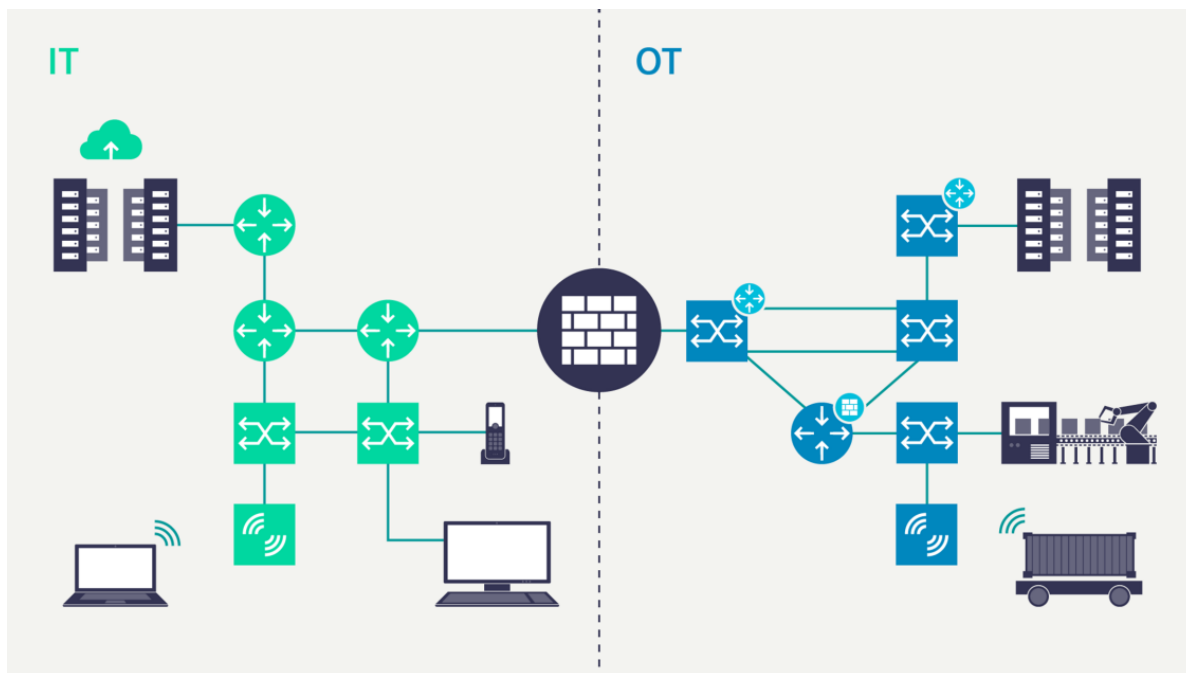
- Разширяването на обхвата на контрола на оранжерииите с включването на регулирането на съдържанието на CO₂ представлява значителна възможност за подобрене. Включването на стратегии на МРС за управление на CO₂ може да допринесе за оптимизиране на условията за растеж на растенията, което допълнително повишава устойчивостта и производителността на оранжерийното производство на култури.

- Предложените МРС стратегии, въпреки че са стриктно проучени в контролирана среда, трябва да бъдат практически приложени на полето. Приложенията в реални условия ще позволят цялостна оценка на поведението на контролера при разнообразни условия на околната среда и за продължителен период от време.

Въпреки че настоящото изследване осигурява стабилна основа, от съществено значение е да се признаят неговите ограничения. Предложената стратегия за управление е анализирана за ограничен период от време в полузатворена оранжерия, а експерименталното валидиране е ограничено от наличието на ресурси. Бъдещите проучвания трябва да се справят с тези ограничения, като разширят анализа до различни култури, оранжерии с различна конфигурация и проведат експерименти за валидиране на предложените стратегии за МРС. Препоръчителното приемане на МРС стратегии в производството на оранжерийни култури означава промяна на парадигмата към ефективност, прецизност и устойчивост. Очертаните бъдещи разширения и реализации служат като ръководство за напредване на настоящото състояние на системите за управление на оранжерии, проправяйки пътя за трансформиращи практики в градинарството и селското стопанство. Непрекъснатите научни изследвания и практическите реализации ще допринесат за усъвършенстване и разширяване на приложението на МРС в управлението на оранжерии.

ГЛАВА 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЕН ПРОЕКТ

Изграждането на централизирана система от комуникаращи и взаимодействащи единици, посредством децентрализирани процеси е ключов фактор в развитието не само на оранжерийното производство, а на целия аграрен сектор като цяло. Индуриалната комуникация и свързаност е много гореща тема. Производителите се нуждаят от стабилни системи за индустриална комуникация, за да могат да контролират машини или цели производства. Най-оптималното възползване от данните, които се генерират от многото процеси в производството изисква перфектен баланс на комуникация между Operational Technology (OT) и Information Technology (IT) мрежите.



Фигура 4 – IT/OT диаграма

За да се получи оптимална взаимовръзка между IT и OT мрежите е важно да се разберат основите и на двете системи.

OT мрежите са част от автоматизационната система. Тъй като всякакви грешки тук могат да доведат до огромни загуби, тези системи трябва да са с много високо ниво на availability и reliability. Преносът на данните трябва да е непрекъснат, дори и в състояние на критични проблеми.

IT системите са по-насочени към крайните системни потребители, като тук целта е да се постигнат ниски времена за предаване и обработка на информацията.

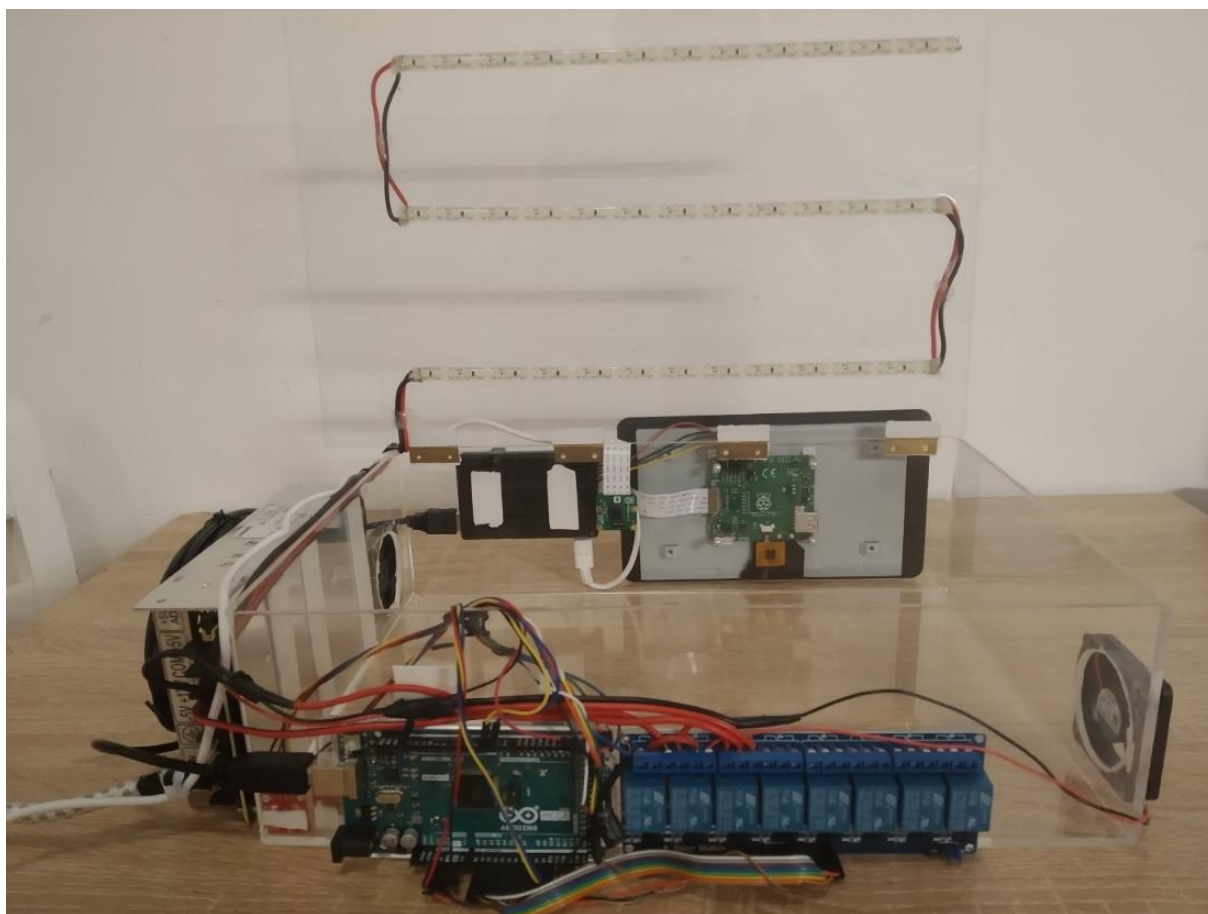
Като допълнение на дисертационния труд, бе разработен и научноизследователски труд със заглавие Иновативна система за управление на оранжерии, като целта бе изследването на възможностите за разработката на архитектура за обработка на информация в аграрната индустрия от следващо поколение. В конкретния случай, бяха изследвани възможностите за изграждане на единна система за събиране, обработване и анализиране на информация с цел подобряване на производителността и продуктивността на аграрни предприятия. Съществен елемент на проекта бе провеждането на целенасочени изследвания, за да се изгради единна архитектура за усвояване и оптимизирана обработка на информация, даваща възможност на компании и производствени предприятия в световен мащаб да постигнат по-голяма гъвкавост и повишена продуктивност с по-кратки срокове на изпълнение и по-ниска себестойност на крайния продукт. Наблегна се и върху физическите компоненти от цялостната система, като за пример бяха взети начините за разработка на иновативни, вертикални системи за отглеждане на култури, в частност

аеропонни и хидропонни (безпочвени) системи, позволяващи по- ефективно използване на наличните ресурси и намаляване на брака. Конкретната задача на изследванията бе да се проверят възможностите за разработване на архитектура за обработка на информация в аграрната индустрия от следващо поколение и създаване на система за управление на оранжерии, която заедно с иновативният вертикален начин на отглеждане на култури (и не само) ще следи цялостния процес.

Основен аспект на целия дисертационен труд е обосновката за изграждането на автоматизирано аграрно производство с единна система за управление и повишена продуктивност. За целта се набляга на възможностите за елиминирането на съществуващите недостатъци на такъв вид системи чрез нови технологии, модерна сензорика, и иновативни подходи. За постигането на тази цел бяха решени следните задачи:

- Изясняване на конструктивните особености на предприятия от този тип
- Проучване, заявка и закупуване на необходимите материали
- Проектиране, разработване и реализиране на система за иновативно отглеждане на култури (автоматизирана оранжерия)
- Преглед и анализ на резултатите
- Написване на публикации на база на резултати и заключение

Проектът ще има принос в създаването на устойчиво развити аграрни системи с насока към запазването на околната среда и намаляването на замърсяването на природата.



Фигура 5 - Реализиран модел за експериментална установка 5

Заключенията от проекта гласят, че съществуващите решения не са достатъчни, за да направят тези системи подходящи за масова употреба. Очаква се предложените съвети да подпомогнат решаването на налични проблеми и да дадат възможност за внедряване на

технологията в модерните аграрни предприятия, които да станат водеща част от индустрията от следващо поколение. Резултатите от проекта като цяло дават насока накъде трябва да продължи развитието на модерното аграрно производство и показват какви трябва да са следващите стъпки, които трябва да се предприемат. Изпълнението на проекта подпомага докторанта в изследванията, като конкретизира, потвърждава и подкрепя очакваните приложно-научни приноси към дисертацията му. Резултатите от изследванията играят голяма роля и по време на разработката на няколко научните публикации от страна на докторанта.

На базата на експериментите е предложена архитектура за определяне на нивото на текущата автоматизация и архитектура за определяне на нивото на оптималната автоматизация. Разработването на оптимално автоматизирано ниво на оранжерия изисква цялостна архитектура, която интегрира различни технологии, разгледани в дисертацията. Тази архитектура има за цел да създаде единна система, способна да определя необходимостта от автоматизация, да оценява настоящото ниво на автоматизация, да определя желаното ниво на автоматизация и да предлага решения за постигането му. Като използва индустриални комуникационни протоколи, облачни системи, крайни изчисления и ключови селскостопански технологии като хидропоника, аквапоника, аеропоника и соларни системи, тази архитектура ще революционизира работата в оранжерии и ще увеличи производителността.

Предложената архитектура предвижда мрежа от взаимосвързани оранжерии, всяка от които е оборудвана с усъвършенствани системи за наблюдение, контрол и превенция. Облачните системи играят важна роля в архитектурата, като осигуряват гъвкави и мащабируеми възможности за съхранение и изчисления. Чрез включването на частни, публични, хибридни и мултиоблачни среди операторите на оранжерии могат да използват предимствата на всеки модел. Частните облаци гарантират неприкосновеността на данните и предлагат специализирани ресурси за критични операции, докато публичните облаци осигуряват рентабилна мащабируемост и достъп до усъвършенствани аналитични инструменти. Хибридните и многооблачните подходи позволяват персонализирана комбинация от частни и публични облаци, което позволява оптимизирана обработка на данните и използване на ресурсите.

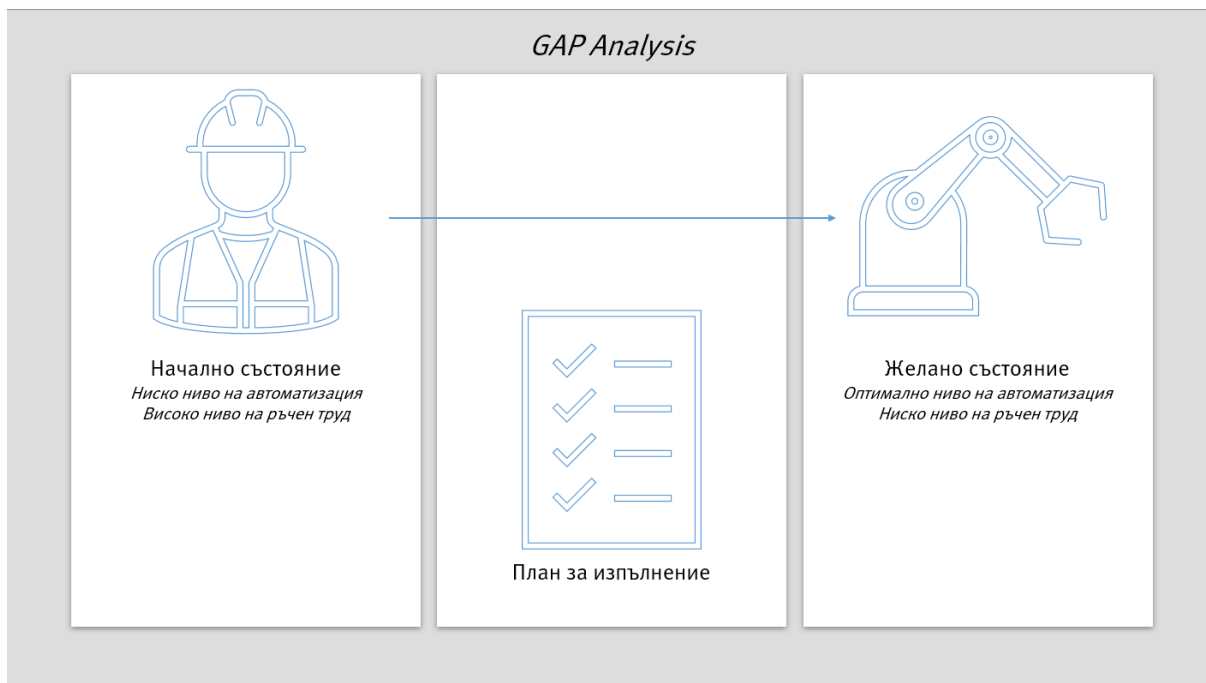
Архитектурата обхваща и крайните изчисления, като стратегически позиционира изчислителните ресурси по-близо до оранжерии. Крайните устройства събират данни в реално време от сензори и изпълнителни механизми, което позволява незабавна обработка на данните, анализ и вземане на решения. Това намалява латентността, подобрява способността за реагиране и дава възможност за навременни превантивни действия, допринасяйки за подобряване на здравето на културите и оперативната ефективност.

Освен това интегрирането на ключови селскостопански технологии, като хидропоника, аквапоника, аеропоника и соларни системи, подобрява възможностите на архитектурата. Тези доказани решения предлагат алтернативни методи за отглеждане, подходи за ефективно използване на ресурсите и устойчиви практики. Чрез включването на тези технологии архитектурата осигурява гъвкавост и адаптивност, позволявайки на операторите на оранжерии да избират най-подходящите техники въз основа на изискванията на културите, наличните ресурси и условията на околната среда.

Чрез синергичната комбинация от индустриални комуникационни протоколи, облачни системи, крайни изчисления и селскостопански технологии предложената архитектура полага основите на оптимално ниво на автоматизирано оранжерийно производство. Тя дава възможност на операторите на оранжерии да получат цялостна представа за нуждите от автоматизация, да наблюдават в реално време текущото състояние на автоматизацията, да определят желаните нива на автоматизация и да дават препоръки за по-нататъшна автоматизация. Чрез прилагането на тази архитектура оранжерийната

индустрия може да постигне по-високи добиви, да намали потреблението на ресурси, да подобри качеството на културите и да проправи пътя към устойчиво и технологично напреднало бъдеще в селското стопанство.

Първата стъпка от дейността е да се определи разликата между моментното състояние и крайната цел. За улеснение, ще се използва инструмент за определяне на несъответствие или така нареченият Gap Analysis.



Фигура 6 - GAP Analysis

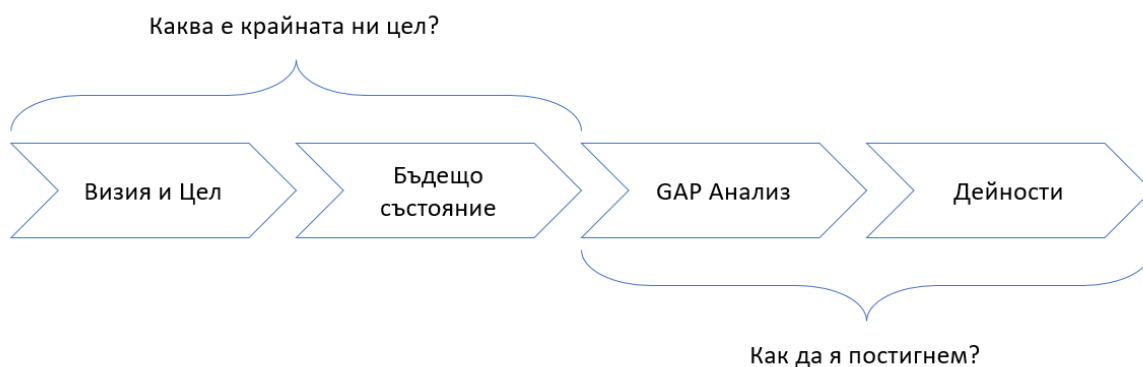
Алгоритъм за оценка на GAP анализа:

- Входни данни:
 - Текущо състояние на автоматизацията на оранжерииите
 - Желано състояние на автоматизацията на оранжерииите
 - Данни, събрани от съществуващите системи
 - Идентифицирани пропуски в нивата на автоматизация
- Изчисляване на резултата от пропуските:
 - Първоначално оценката на пропуските е 0.
 - За всеки идентифициран пропуск присвоете тегло въз основа на неговия приоритет и въздействие.
 - Определете сериозността на пропуските (напр. висока, средна или ниска) въз основа на разликата между текущото и желаното състояние.
 - Умножете теглото на пропуските по тяхната сериозност.
 - Добавете получената стойност към оценката на пропуските.

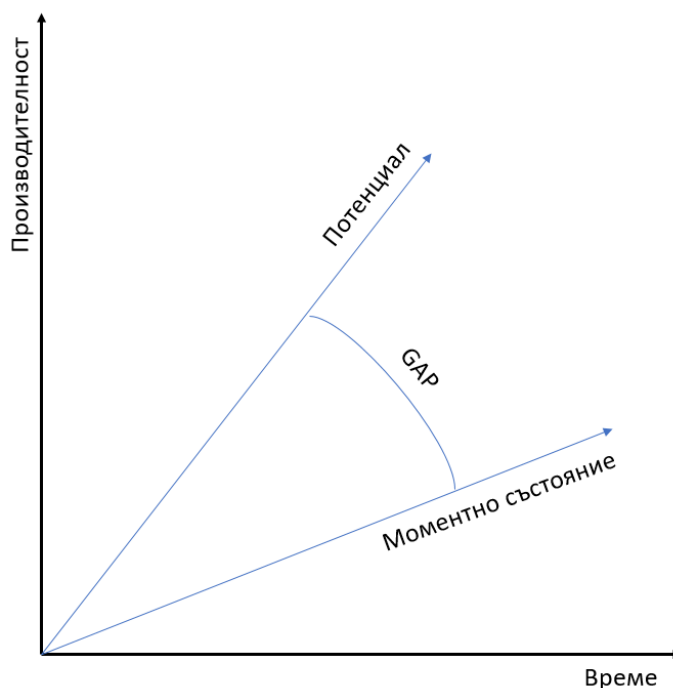
- Оценка на технологичната интеграция:
 - Оценете съвместимостта и осъществимостта на интегрирането на индустриални комуникационни протоколи (напр. MQTT, OPC Unified Architecture и др.) в оранжерийната среда.
 - Оценете интеграцията на облачни системи (частни, публични, хибридни или многооблачни) въз основа на изискванията за мащабируемост, сигурност на данните и анализ.
 - Обмислете прилагането на крайни изчисления за обработка на данни в реално време и вземане на решения на ниво оранжерия.
 - Преценете интегрирането на селскостопански технологии (хидропоника, аквапоника, аеропоника, соларни системи) за подобряване на ресурсната ефективност и практиките за отглеждане на култури.
- Предложете стратегии за смекчаване на последиците:
 - Въз основа на установените пропуски разработете стратегии за смекчаване на последиците, за да преодолеете пропуските в автоматизацията.
 - Обмислете ъпгрейд на хардуера и софтуера, интегриране на допълнителни сензори и изпълнителни механизми, усъвършенствани алгоритми за управление и процедури за превантивна поддръжка.
 - Приоритизирайте стратегиите за смекчаване на последиците въз основа на тяхното въздействие и осъществимост.
- Разработване на план за изпълнение:
 - Определете подробен план за прилагане на предложените стратегии за смекчаване на последиците.
 - Очертайте стъпките, ресурсите и сроковете, необходими за всяка стратегия.
 - Вземете предвид бюджетните ограничения, участието на заинтересованите страни и възможността за разширяване на плана за изпълнение.
- Оценяване на напредъка и мониторинг:
 - Изпълнявайте предложените стратегии в съответствие с определения план за изпълнение.
 - Наблюдавайте напредъка на подобренията в автоматизацията чрез измерване на ключови показатели за ефективност (KPI), свързани с производителността, използването на ресурсите, качеството на реколтата и устойчивостта.

- Редовно оценявайте ефективността на внедрените решения и при необходимост правете корекции.
- Резултат:
 - Предоставете изчерпателен доклад за оценка, съдържащ подробна информация за резултата от пропуските, установените пропуски, предложените стратегии за смекчаване на последиците, плана за изпълнение и механизмите за мониторинг.
 - Представете доклада на операторите на оранжерии и заинтересованите страни за преглед и вземане на решения.

Алгоритъмът осигурява систематичен подход за оценка на GAP анализа, приоритизиране на пропуските, предлагане на подходящи стратегии за смекчаване и разработване на план за изпълнение. Той гарантира, че желаното състояние на автоматизацията на оранжерии ще бъде постигнато чрез ефективно и ефикасно преодоляване на установените пропуски.



Графика 1 – Цел и начин на постигане



Графика 2 – GAP Analysis

При изграждането на архитектурата за автоматизиране на оранжерия, основана на принципите на бизнес трансформацията (управление и трансформация на бизнес технологиите), включва интегриране на бизнес и технологични елементи, за да се стимулира трансформацията на оранжерийните операции. Тук е представен преглед на високо ниво на компонентите на архитектурата:

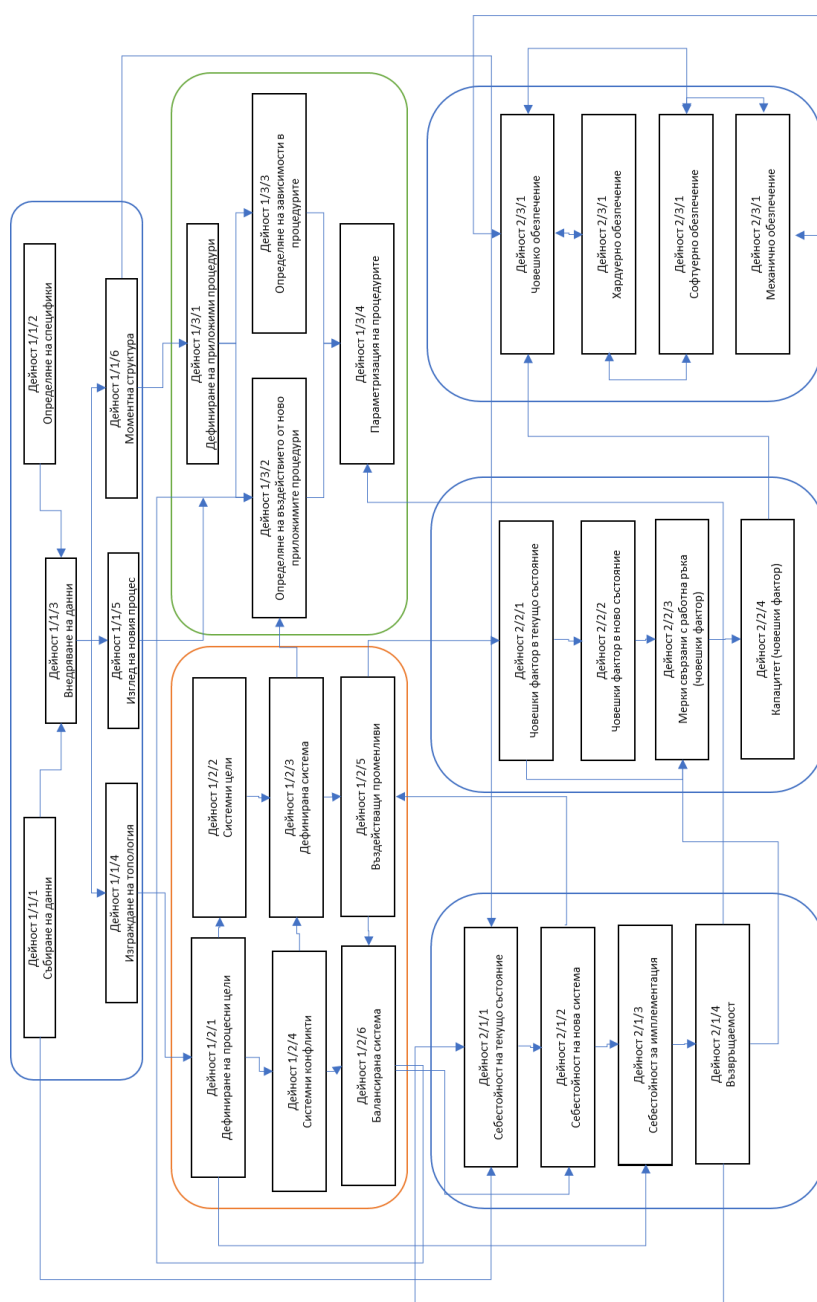
- Бизнес стратегия и цели:
 - Определете бизнес стратегията, целите и задачите на оранжерията.
 - Идентифицирайте ключовите показатели за ефективност (KPI), свързани с производителността, оптимизацията на ресурсите, подобряването на добива и устойчивостта.
- Технологична стратегия:
 - Разработете технологична стратегия, която е в съответствие с бизнес целите на оранжерията.
 - Идентифицирайте технологиите и решенията, които могат да подобрят автоматизацията, мониторинга и контрола на оранжерията.
 - Разгледайте технологии като индустриален интернет на нещата (IIoT), сензорни мрежи, системи за автоматизация и анализ на данни.
- Управление и мениджмънт:
 - Създайте рамка за управление, за да наблюдавате технологичните инициативи и процесите на вземане на решения.
 - Определете ролите и отговорностите на заинтересованите страни, участващи в автоматизацията на оранжерията.
 - Приложете практики за управление на риска, за да идентифицирате и смекчите потенциалните предизвикателства или прекъсвания.
- Инфраструктура:
 - Проектиране и внедряване на стабилна и мащабируема инфраструктура в подкрепа на автоматизацията на оранжерията.
 - Вземете предвид аспекти като мрежова свързаност, хардуерни устройства, сензори, задвижващи механизми и комуникационни протоколи.
 - Осигурете съвместимост и оперативна съвместимост между различните системи и технологии.
- Управление и анализ на данни:
 - Приложете стратегия за управление на данни за събиране, съхраняване и обработка на данни, свързани с оранжерията.

- Използвайте техники за анализ на данни, за да получите полезни данни за вземане на решения.
- Прилагайте алгоритми за машинно обучение, за да оптимизирате използването на ресурсите, управлението на вредителите и растежа на културите.
- Системи за автоматизация и контрол:
 - Внедряване на системи за автоматизация за наблюдение и контрол на оранжерийните операции.
 - Интегрирайте данните от сензорите със системите за управление, за да осигурите възможност за наблюдение в реално време и автоматични настройки.
 - Прилагайте вериги за обратна връзка, за да осигурите непрекъснато оптимизиране и адаптивност.
- Интеграция и оперативна съвместимост:
 - Осигурете безпроблемна интеграция между различните системи и технологии за автоматизация на оранжерии.
 - Използвайте стандартни за индустрията комуникационни протоколи (напр. MQTT, OPC Unified Architecture), за да улесните обмена на данни и оперативната съвместимост.
 - Интегриране с външни системи, като например прогнозиране на времето, анализ на пазарното търсене и управление на веригата за доставки.
- Управление на промените и обучение:
 - Разработване на стратегии за управление на промените в подкрепа на приемането на автоматизирани оранжерийни технологии.
 - Осигуряване на обучение и подготовка на персонала на оранжерии за използване и поддръжка на автоматизираните системи.
 - Насърчаване на културата на иновации и непрекъснато усъвършенстване в оранжерията.
- Измерване и оптимизиране на ефективността:
 - Определяне на ключови показатели за ефективност и метрики за измерване на ефективността и въздействието на автоматизацията на оранжерии.
 - Наблюдавайте и анализирайте данните, за да идентифицирате областите за оптимизация и подобряване на ефективността.
 - Непрекъснато усъвършенствайте и оптимизирайте автоматизираната оранжерийна система въз основа на прозрения за ефективността.

ГЛАВА 4. ОБСЪЖДАНЕ И АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Пътят на решаването на проблемите в сектора минава през дигитализацията и цифровата трансформация. През последните години се наблюдава и засилване на тенденцията на наблягането към подобни решения, както в научните среди, така и в самата индустрия. Основен недостатък е обаче, че предлаганите решения се въртят около едни и същи подобрения, които от своя страна не са достатъчни за превантивното прихващане и изчистване на наличните проблеми. Всички разгледани до момента примери са насочени към проследяването и реакцията към някакви неблагоприятни действия, но не и към откриването и превенцията на причинителя.

Важно е да се отбележи, че алгоритъмът може да бъде допълнително усъвършенстван и персонализиран въз основа на конкретни изисквания и налични данни. Унифицираната система осигурява рамка за оценка на необходимостта от автоматизация, оценка на текущото състояние, определяне на желаните цели и предлагане на възможни решения, като се отчитат различни фактори и предпочитания на заинтересованите страни.



Графика 3 - Елементарни взаимовръзки в архитектурата на системата

Топология:

Обединената система се състои от три основни компонента:

1. Събиране и анализ на данни: Този компонент събира информация чрез интервюта, въпросници и анализ на данни, за да оцени текущото състояние и да определи желаното ниво на автоматизация.

2. Система за подпомагане вземането на решения: Този компонент обработва събраните данни, извършва анализ и генерира препоръки и решения въз основа на предварително зададени правила, алгоритми и приоритети.

3. Потребителски интерфейс: Този компонент осигурява удобен за потребителите интерфейс за взаимодействие със системата, въвеждане на данни, визуализиране на резултатите и достъп до препоръчаните решения.

Архитектура:

Архитектурата на единната система се състои от следните модули:

1. Модул за събиране на данни:

- Провеждане на интервюта и въпросници за събиране на информация от заинтересованите страни в оранжерията.

- Събиране на данни от използваните съществуващи системи, сензори и технологии за автоматизация.

- Използвайте техники за анализ на данни, за да получите представа за текущото състояние на автоматизацията и да идентифицирате потенциални области за подобрене.

2. Модул за обработка и анализ на данни:

- Анализирайте събраните данни, за да определите необходимостта от автоматизация и да оцените настоящото ниво на автоматизация.

- Идентифицирайте пропуските и областите за подобрене чрез сравняване на текущото състояние с желаните цели и предварително определените референтни стойности.

- Претеглете и приоритизирайте дейностите въз основа на предварително определени критерии и предпочитания на заинтересованите страни.

3. Модул за подпомагане вземането на решения:

- Използвайте машинно обучение, оптимизационни алгоритми и системи, базирани на правила, за да генерирате препоръки и решения.

- Вземете предвид фактори като инвестиционни разходи, очаквани ползи, осъществимост и мащабируемост.

- Осигурете набор от възможни решения за автоматизация въз основа на различни нива на сложност и инвестиции.

4. Модул на потребителския интерфейс:

- Разработете удобен потребителски интерфейс за операторите на оранжерии за въвеждане на данни, преглед на резултатите от анализа и достъп до препоръки.

- Показвайте настоящото ниво на автоматизация, желаните цели и потенциалните решения по ясен и интуитивен начин.

- Позволете на потребителите да взаимодействат със системата, да променят входните данни и да проучват алтернативни сценарии.

Алгоритъм:

Следният алгоритъм очертава стъпките, включени в единната система:

1. Събиране на подходящи данни чрез интервюта, въпросници и анализ на данни от заинтересованите страни от оранжерията и съществуващите системи.
2. Анализирайте събраните данни, за да определите текущото ниво на автоматизация и да идентифицирате областите за подобрене.
3. Определете желаните цели и критерии за автоматизация въз основа на изискванията на заинтересованите страни и най-добрите практики в отрасъла.
4. Преценете и приоритизирайте дейностите, като вземете предвид фактори като потенциални ползи, инвестиционни разходи и осъществимост.
5. Генерирайте препоръки и решения, като използвате машинно обучение, алгоритми за оптимизация и системи, базирани на правила.
6. Представете резултатите от анализа, текущото ниво на автоматизация, желаните цели и препоръчаните решения чрез удобен за потребителя интерфейс.
7. Позволете на потребителите да взаимодействат със системата, да променят входните данни и да проучват алтернативни сценарии, за да прецизират препоръчаните решения.
8. Непрекъснато наблюдавайте напредъка на автоматизацията на оранжерията, актуализирайте системата и коригирайте препоръките, ако е необходимо.

Важно е да се отбележи, че алгоритъмът може да бъде допълнително усъвършенстван и персонализиран въз основа на конкретни изисквания и налични данни. Унифицираната система осигурява рамка за оценка на необходимостта от автоматизация, оценка на текущото състояние, определяне на желаните цели и предлагане на възможни решения, като се отчитат различни фактори и предпочитания на заинтересованите страни.

При изграждането на подобна система голяма роля играят както основните функционалности, които архитектурата притежава, така и достъпността до тях. RAMS анализът е дисциплина, която може да се определи и като набор от инструменти, които дават сигурност, че даден продукт, процес или цяла система ще могат да изпълнят своята дейност, за която са проектирани в състояние на висока надеждност, постоянна наличност, лесна поддръжка и предварително дефинирана безопасност.

Reliability – надеждност - Надеждността представлява дефиниция на възможността даден продукт, процес или система да работят на пълна производителност, без това да се променя с течение на времето и настъпващите обстоятелства. Основната мерна единица, приета за определянето на нивото на надеждност е *failure rate* или процент на брак за даден период от време. Съществуват множество техники, които позволяват да се предвиди и пресметне подобна характеристика преди още продукта да бъде разработен или внедрен.

Availability – наличност - За да бъде достатъчно добро ниво на конкурентност на днешния волатилен и силно неустойчив пазар, даден продукт трябва да бъде не само надежден, но и постоянно наличен, в смисъла на оперативната дейност. Наличността се определя на база времената на повреда и оперативна дейност.

Maintenance – поддръжка - Всяка продукт, процес и система, без значение от нивото си на зрялост изисква определени дейности на поддръжка, за да се получат високо ниво на надеждност и наличност. Критично важно е поддръжката да бъде възможно най-опростена.

Safety – безопасност - Безопасността определя нивата на възможностите за неприемлив риск.

Също така са направени FMEA анализ и риск анализ според събраната информация.

Severity Scale		
Effect	Criteria: Severity of Effect	Ranking
Hazardous - Without Warning	May expose client to loss, harm or major disruption - failure will occur without warning	10
Hazardous - With Warning	May expose client to loss, harm or major disruption - failure will occur with warning	9
Very High	Major disruption of service involving client interaction, resulting in either associate re-work or inconvenience to client	8
High	Minor disruption of service involving client interaction and resulting in either associate re-work or inconvenience to clients	7
Moderate	Major disruption of service not involving client interaction and resulting in either associate re-work or inconvenience to clients	6
Low	Minor disruption of service not involving client interaction and resulting in either associate re-work or inconvenience to clients	5
Very Low	Minor disruption of service involving client interaction that does not result in either associate re-work or inconvenience to clients	4
Minor	Minor disruption of service not involving client interaction and does not result in either associate re-work or inconvenience to clients	3
Very Minor	No disruption of service noticed by the client in any capacity and does not result in either associate re-work or inconvenience to clients	2
None	No Effect	1

Таблица 2 - Severity Scale

Изградена е и business model canvas, като са разгледани възможните early adopters.

Посредством DMAIC, KAIZEN, Lean, Agile итеративни методологии е анализиран начина на имплементация на системата.

Използването на подобни технологично напреднали системи носи и своите големи рискове. Системата за взаимно свързани оранжерии трябва да бъде внимателно изградена, за да може да допринесе за развитието на сферата, като следните точки са дефинирани, като високо рискови:

- Рискове за сигурността на данните: Свързаната оранжерийна система ще включва предаване и съхранение на чувствителни данни, като например производствени графици, данни за реколтата и финансови документи. Съществува риск от нарушаване на сигурността на данните, хакерски атаки и кибер атаки, които могат да застрашат целостта и поверителността на тази информация.

- Технически рискове: Свързаната оранжерийна система ще разчита в голяма степен на използването на технологии, включително сензори за интернет на нещата, инструменти за анализ на данни и мрежова инфраструктура. Технически повреди, като например

хардуерни или софтуерни неизправности, биха могли да доведат до прекъсване на работата на системата, загуба на данни и намаляване на производителността.

- **Оперативни рискове:** Въвеждането на свързана оранжерийна система ще изисква значителни промени в оперативните процеси на участващите оранжерии, включително събирането, анализа и обмена на данни. Съществува риск от съпротива срещу промените, текучество на служители и липса на технически опит, което може да попречи на ефективността на системата.

- **Икономически рискове:** Въвеждането на свързана система за оранжерии ще изисква значителни инвестиции в хардуер, софтуер и мрежова инфраструктура. Съществува риск системата да не осигури достатъчна възвръщаемост на инвестициите или да не генерира очакваните икономии на разходи.

- **Екологични рискове:** Свързаните оранжерийни системи биха могли да изискват повишено използване на енергийни и водни ресурси, което би могло да има отрицателно въздействие върху околната среда, като например повишени емисии на парникови газове и недостиг на вода.

За да се намалят тези рискове, следва да се разработи цялостен план за управление на риска, включващ оценка на риска, третиране на риска и стратегии за наблюдение на риска. Това следва да включва сътрудничеството на всички заинтересовани страни, включително производителите на оранжерийна продукция, доставчиците на технологии, анализаторите на данни и регулаторните органи. Основните стратегии за намаляване на риска могат да включват:

- Прилагане на надеждни протоколи за сигурност на данните, включително криптиране, контрол на достъпа и редовно архивиране на данните.

- Извършване на редовна поддръжка и тестване на техническата инфраструктура и разработване на планове за действие при непредвидени обстоятелства в случай на срив на системата.

- Предоставяне на широко обхватно обучение и подкрепа на производителите на оранжерийна продукция и персонала, за да се гарантира ефективното приемане на свързаната система.

- Извършване на подробен анализ на разходите и ползите и финансово моделиране, за да се гарантира жизнеспособността на системата и да се сведат до минимум икономическите рискове.

- Възприемане на устойчиви и екологично отговорни практики, като например намаляване на потреблението на енергия и вода и насърчаване на използването на възобновяеми енергийни източници.

Като цяло анализът на риска е от решаващо значение за идентифициране и намаляване на потенциалните рискове и предизвикателства, свързани с внедряването на свързана оранжерийна система. Като възприемат проактивен и стратегически подход към управлението на риска, заинтересованите страни могат да гарантират дългосрочния успех и устойчивост на системата.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

Дисертационният труд е насочен към автоматизацията на процеси в аграрното производство с поглед към Индустрия 4.0.

Приносите на дисертационния труд могат да бъдат разделени в 3 категории, като Научни, Научно-приложни и Приложни.

Научни

- Изчерпателен анализ на технологиите за автоматизация - Анализ на технологии за автоматизация в аграрното производство, като сензори, задвижващи механизми, системи за управление и комуникационни протоколи.
- Разработване на модели за автоматизация в оранжерии - Създаване на общи модели за изграждане и управление на автоматизирани оранжерийни системи.
- Предложение на стратегия за управление основана на MPC - Предложение и изследване на MPC стратегия за планиране на енергийната система при оранжерии.
- Идентифициране на бъдещи насоки за научни изследвания - Проучване на усъвършенствани алгоритми за оптимизиран растеж на растенията и разпределение на ресурсите.

Научно – приложни

- Разглеждане на предизвикателствата в изграждането на автоматизирана оранжерийна ситема - Идентифициране на сложността на управлението на автоматизирана система, включително разпознаване на нелинейността в динамичните системи.
- Препоръки за приемане – Изграждане на план за приемане на съвременни технологии за управление.
- Идентифициране на ограниченията на системата - Разпознаване на ограниченията, като например необходимостта от експериментално валидиране и фокусирането на изследването върху полузатворена оранжерия и ограничената продължителност.
- Цялостен напредък в областта на оранжерийните системи - Предоставяне на модели, демонстриране на подробни процедури за приложимостта на стратегиите за автоматизация.
- Адаптиране на итеративни методологии (Agile, Kaizen) - Итеративно разработване, непрекъснато усъвършенстване и ефективно решаване на проблеми.

Приложни

- Разработване на система за определяне на нивото на автоматизация – Система, която позволява на операторите на оранжерии да оценят настоящото ниво на автоматизация, да определят оптималното ниво и да получат препоръки за преодоляване на разликата.
- Предложение на система за свързване на автоматизирани оранжерии - Система, която се фокусира върху създаването на мрежа от автоматизирани оранжерии, които да комуникират помежду си.
- Решаване на практическите предизвикателства при прилагането на автоматизация и приложение на MPC система при автоматизация - Идентифициране и практически решения на предизвикателствата при прилагането на автоматизиран контрол, включително съображения за реакция в реално време, избор на платформа и ограничения на хардуерните системи и езиците за програмиране.
- Насоки за интеграция на иновативни технологии - Препоръки за операторите на оранжерии за приемане на усъвършенствани технологии за управление.
- Разработка на модел за експерименти и тестове – научно-изследователски проект.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 5 на брой научни статии.

- I. Yahov, R. Trifonov, "Proposal and Study of Model Predictive Control System for Automated Greenhouse Management", Proceedings of The Technical University of Sofia

<https://proceedings.tu-sofia.bg/>

Conference Proceedings ISSN: 2738-8549

- I. Yahov, A. Elenkov, "Digital agriculture industry - current situation on the basis of existing researches and share facts", 2020 International Conference Automatics, 2020, Sozopol, Bulgaria

https://e-university.tu-sofia.bg/e-conf/files/169/paper_10.47978@TUS.2020.70.03.016.pdf

DOI: 10.47978/TUS.2020.70.03.016

- I. Yahov, A. Elenkov, "Feasibility study of development and testing of connected greenhouse network architecture", XVIIIth International Conference Challenges in Higher Education and Research in the 21st Century", 2021, Sozopol, Bulgaria

<https://elfe.tu-sofia.bg/cher21/Cher21-21.zip>

Conference Proceedings ISSN: 2683-0337

- I. Yahov, A. Elenkov, "Proposal, development and testing of self-controlling system for greenhouse automatization", IV International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech), 2021, Sofia, Bulgaria

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9614209>

DOI: 10.1109/HiTech53072.2021.9614209

- I. Yahov, A. Elenkov, "Digital agriculture industry – development of sustainable strategies for industry automatization", 30th International Scientific Symposium Metrology and Metrology, 2020, Sozopol, Bulgaria

https://metrology-bg.org/fulltextpapers/Proceedings_MMO_2020.pdf

Conference Proceedings ISSN 2603-3194

SUMMARY

The following dissertation with the title “Exploring the possibilities of developing an architecture for data processing in the industry of next generation” by MEng. Ilker Altanov Yahov is exploring the possibilities of automating the greenhouse production.

In today's rapidly evolving agricultural landscape, the adoption of advanced technologies holds immense promise for addressing pressing challenges such as population growth, resource scarcity, and climate change. Automated greenhouse systems emerge as pivotal solutions in this endeavor, offering the potential to enhance sustainability and crop productivity through innovative technological interventions.

The dissertation embarks on a comprehensive exploration of automated greenhouse systems, underpinned by a meticulous review and analysis of existing solutions. Drawing insights from academic literature, industry reports, and empirical observations, this review underscores the complexities and opportunities inherent in greenhouse automation. By delineating key challenges and unexplored avenues, it sets the stage for the dissertation's overarching aim.

Central to the study is the investigation of scientific innovations driving the evolution of automated greenhouse systems. Delving into the realms of sensor technologies, control algorithms, data analytics, and optimization strategies, this exploration illuminates the cutting-edge advancements shaping modern greenhouse management practices. It underscores the transformative potential of these innovations in optimizing resource utilization and enhancing crop yields.

The dissertation proceeds to detail the design and implementation of an experimental model and test bench setup, serving as the empirical foundation for proposed solutions. Through the deployment of a comprehensive sensor network, adaptive control algorithms, and an integrated data analytics platform within a real-world greenhouse environment, the dissertation endeavors to validate the efficacy of proposed approaches.

A pivotal focus of the study lies in the application of Model Predictive Control (MPC) in greenhouse plant production. Through rigorous empirical testing and validation, the dissertation evaluates the effectiveness and scalability of MPC algorithms in optimizing crop growth and resource utilization. By elucidating the role of MPC in greenhouse management, it offers insights into its potential to revolutionize agricultural practices.

In conclusion, the dissertation contributes significantly to the advancement of automated greenhouse systems, offering a synthesis of theoretical insights and empirical findings. By bridging the gap between theory and practice, it lays the groundwork for a more resilient, sustainable, and productive agricultural future, poised to meet the challenges of the 21st century.