



## РЕЦЕНЗИЯ

върху дисертационен труд за придобиване на образователна и научна степен „Доктор“ в професионално направление 5.3 Комуникационна и компютърна техника по научна специалност „Автоматизирани системи за обработка на информация и управление“

Автор на дисертационния труд: **Маг. инж. Илкер Алтанов Яхов**

Автор на рецензията: **проф. д-р инж. Атанас Велков Атанасов, ХТМУ-София**

Тема на дисертационния труд: **„Изследване на възможностите за разработване на архитектура за обработка на информация в индустрията от следващо поколение“**

### 1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем

Настоящият дисертационен труд е свързан с изключително актуалните проблеми по 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 и необходимост от адаптация към новите реалности. В основата на агро-трансформацията лежат много специални и критични фактори, които имат пряко въздействие върху ежедневието ни живот, а именно демографската криза, намаляващите природни ресурси, климатичните промени и огромните количества хранителни отпадъци.

В дисертационния труд е разработена интегрирана система от оранжерии, използваща принципите на Индустрия 4.0. Чрез нея се повишава оперативната ефективност, качеството, устойчивостта, и обмена на информация между оранжерии. Системата 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.

Разработените в дисертационния труд алгоритми, модели и решения могат да намерят приложение в различни области и сектори на съвременната индустрия.

### 2. Степен на познаване на състоянието на проблема и творческа интерпретация на литературния материал

В аналитичния обзор на дисертационния труд, докторантът е разгледал широк спектър от теми, свързани със сензорните технологии, системите за управление, анализ на данни, комуникационни протоколи и алгоритми за оптимизация, свързани с автоматизацията на оранжерии. Оценени са силните страни и ограниченията на съществуващите решения в множество измерения, вариращи от техническа ефикасност и мащабируемост до рентабилност и удобство за потребителя. На основата на критичен анализ на множество литературни източници са разкрити тенденциите, моделите и новите парадигми в областта, като са определени предимствата и недостатъците на настоящите подходи за автоматизацията на оранжерии.

Анализът разкрива, че в областта на автоматизираните оранжерийни системи се прилагат множество технологични иновации, свързани с подобряването на мониторинга на културите, контрола на климата и управлението на ресурсите в оранжерийна среда. Едновременно с това продължават да съществуват предизвикателства и проблеми,

свързани 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.

За откриване на проблемите и формулиране на целите докторантът е направил критичен анализ на различните (пет) нива на автоматизация, формиращи пирамидата на автоматизация в едно предприятие или индустрия, както и набора от задачи и дейности и ИТ инфраструктура, свързани с всяко едно от тези нива. Анализирани са предимствата и недостатъците на най-популярните индустриални комуникационни протоколи, които могат да се открият в почти всички системи, с оглед на избиране на най-подходящите за автоматизирани оранжерийни системи. Разгледани са разликите между облачните (cloud) и крайните (гранични edge) - базираните решения за целите на изграждането модерни, комуникиращи си автоматизирани оранжерии.

От аналитичния обзор в първата глава на дисертацията е видно, че докторантът отлично познава проблемите в областта на автоматизацията на оранжерии и демонстрира възможности за творческа интерпретация на използвания материал.

### **3. Съответствие на избраната методика на изследване с поставената цел и задачи на дисертационния труд**

Целта на дисертационния труд свързана с разработката на 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. Представена е изцяло нова методология за събиране, съхранение и обработване на информация, на базата на единна система от свързани и комуникиращи оранжерии.

При синтеза на управлението на оранжерията е приложено моделно предсказващо управление (Model Predictive Control) за оптимално регулиране на микроклимата в оранжерията, осигуряващо правилно управление на енергийните и водните потоци за напояване, изкуствено осветление, обогатяване с CO<sub>2</sub>, изсушаване, вентилация и отопление и други променливи в средата. Създадени са също така и общи модели за управление и емуляция на типични парникови енергийни системи. Използвани са методи базирани на единен дизайн на теоретично обоснована архитектура за свързани оранжерии, с цел комуникация и изграждане на превантивни мерки. С цел предотвратяване на инциденти са използвани методите на оценка на риска и на прогностичния анализ и превантивната поддръжка (Predictive Analysis & Preventive Maintenance). Приложени са множество методи за оценка на киберсигурността на системите. При разработката на архитектурата на системата са приложени итеративните методологии Agile, Kaizen и др. С цел проучване на удовлетвореността и нагласите на бъдещите ползватели на системата е използван качествения метод Фокус група (Focus group), който е широко използван в маркетинга.

Избраните методи за извършване на научните изследвания и симулации съответства напълно на поставените цели и задачи в дисертационния труд.

### **4. Характеристики на дисертационния труд**

Представеният дисертационен труд е с обем 191 страници. В него има включени 23 таблици, 87 фигури и 11 графики. Списъкът на използваната литература включва 92 литературни източници, от които 23 интернет-базирани. Всичките източници са на

английски език и само 18 са от преди 10 години. Останалите са в периода 2014-2023г., като повечето от тях са от последните 5 години.

Структурата на дисертационния труд включва обект, цел и задачи и методи на дисертационния труд, въведение, четири глави, списък с приноси, списък с публикациите на дисертанта и списък на ползваната литература.

В първа глава е представен критичен анализ на нивата на автоматизация (Field Level, Control Level, Supervisory Level, Planning Level, Management) за изграждане на съвременни индустриални системи, Разгледани са предимствата и недостатъците на най-разпространените индустриални протоколи, използването на облачни и крайни изчислителни технологии и киберсигурността за изграждане на съвременни разпределени (и йерархични) автоматизирани системи, както е направен и анализ на най-модерните решения в областта на оранжерийните системи като хидропониката, аквапониката, аеропониката и соларните системи.

Във втора глава е предложен нов модел за оптимизацията на класическите системи за автоматизация, използвани в (парниковите енергийни системи) оранжерии, чрез прилагането на усъвършенствани стратегии, като Model Predictive Control (MPC). За повишаване на производителността на системата, без да се налагат физически промени в съществуващата инфраструктура, е използвана обобщена стратегия за предсказващ контрол. В главата е направено емпиричното валидиране на алгоритъма на MPC в сложната и динамична среда на оранжерията на основата на симулации върху, разработен прототипен стенд, имитиращ мащаба на стандартна търговска растежна камера. Симулациите потвърждават ефективността на предложената стратегия, като демонстрират нейните предимства по отношение на точност и устойчивост в сравнение с конвенционалните MPC методологии. 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 оранжерии.

В трета глава са изследвани възможностите за изграждане на единна система за събиране, обработване и анализиране на информация с цел подобряване на производителността и продуктивността на аграрни предприятия. Направени са целенасочени изследвания, за да се изгради единна архитектура за събиране 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.

Предложена е архитектура от 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.

В четвърта глава са предложени топологията, архитектурата и алгоритмите на обединената система за автоматизация на оранжерийни системи, включваща компонент за събиране и анализ на данни; система за подпомагане вземането на решения, която обработва събраните данни, извършва анализ и генерира препоръки и решения въз основа на предварително зададени правила, алгоритми и приоритети и потребителски интерфейс.



При изграждането на системата са използвани RAMS и FMEA анализите. RAMS анализът гарантира, че системата ще може да изпълнява своите функционалности в състояние на висока надеждност (Reliability), постоянна наличност (Availability), лесна поддръжка (Maintenance) и предварително дефинирана безопасност (Safety). FMEA анализът (Failure Mode and Effects Analysis) е систематичен подход за идентифициране и предотвратяване на потенциални повреди в даден процес, продукт или система, преди те да са възникнали. За анализа, разработката и поддръжката на системата са използвани още и бизнес моделът Канава, ранните осиновители (Early adopters), както и PDCA, DMAIC, Lean, KAIZEN и Риск и SWOT анализите.

## **5. Приноси в дисертационния труд**

Приемам всички заявени от дисертанта приноси, които той е формулирал като научни, научно-приложни и приложни. Приносите съответстват на поставените в дисертация цели и на постигнатите резултати.

### **Научните приноси са свързани с:**

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

### **Научно – приложните приноси са:**

- Анализ на предизвикателствата в изграждането на автоматизирана оранжерийна система, чрез идентифициране на сложността на управлението на системата, включително разпознаване на нелинейността в динамичните системи.
- Изграждане на план за приемане на съвременни технологии за управление.
- Идентифициране на ограниченията на системата, като необходимостта от експериментално валидиране, използвайки 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.

### **Приложните приноси са:**

- Разработване на система за определяне на нивото на автоматизация, 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, фокусирана 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.

#### **6. Оценка за степента на личното участие на дисертанта в приносите.**

Считам, че направените изследвания, симулации и получените резултати и приноси в дисертационния труд на Илкер Алтанов Яхов са лично негово дело. Това се потвърждава и от публикациите му, коментирани в следващата точка.

#### **7. Преценка на публикациите по дисертационния труд**

Основните резултати от дисертационния труд са представени в 5 научни публикации. Четири от тях са доклади в международни научни конференции, отпечатани в пълен текст, а една е публикация е отпечатана в годишника на ТУ-София. Във всички публикации и докладите докторантът е първи съавтор с ръководителите на дисертацията си. Една от посочените по-горе четири публикации е представена на конференция, реферирана в IEEE Xplore (Scopus). Броят и характера на представените публикации съответства на общоприетите изисквания за разпространение на резултати от научните изследвания. Наукометричните показатели надвишават двукратно, изискуемите за ПН 5.3.

#### **8. Използване на резултатите от дисертационния труд в научната и социалната практика.**

Резултатите от дисертацията подчертават трансформиращия 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. Предложените стратегии на MPC осигуряват надеждна алтернатива, като автоматизират процеса на управление и намаляват рисковете, свързани с ръчните намеси. MPC стратегиите може да намерят приложение в различни индустрии.

#### **9. Оценка на автореферата на дисертацията**

Представеният от докторанта автореферат е в обем от 30 страници и адекватно отразява целта на дисертацията, решаваните задачи и постигнатите резултати, както приносите на докторанта. Оформянето на автореферата отговаря на изискванията и препоръките на ТУ – София.

#### **10. Препоръки и критични забележки**

Нямам особени забележки към дисертационния труд. Той е оформен внимателно и старателно с високо ниво на представяне на научните изследвания и свидетелства за доброто познаване на предметната област.

#### **11. Заключение**

Крайната ми оценка относно съдържанието и приносите на дисертационния труд на маг. инж. Илкер Алтанов Яхов е положителна. Дисертационният труд отговаря на изискванията на Закона за развитие на академичния състав на Република България, на

Правилника за неговото приложение и на Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени в Техническия университет – София.

Гореизложеното ми дава основание да препоръчам на Уважаемото Научно жури да присъди на маг. инж. Илкер Алтанов Яхов образователната и научна степен „доктор“ по професионално направление 5.3 Комуникационна и компютърна техника по научна специалност „Автоматизирани системи за обработка на информация и управление“

17.04.2024 г.

гр. София

Рецензент:...../.....

(проф. д-р инж. А. Атанасов)

# REVIEW

on a dissertation for obtaining an educational and scientific degree  
"Doctor" in professional field

5.3. "Communication and computer technology", scientific specialty  
"Automated information processing and management systems".

Author of the dissertation  
**Ilker Altanov Yakhov, M.Sc.**

Dissertation title  
**Exploring the possibilities of developing an architecture for data processing  
in the industry of next generation**

**Reviewer: Prof. Dr. Eng. Atanas Velkov Atanassov, UCTM - Sofia**

**1. Relevance of the problem developed in the dissertation in scientific and applied science terms. Degree and levels of relevance of the problem and specific tasks developed in the dissertation.**

The current dissertation work is related to the extremely topical issues of digitization and automation in greenhouse agriculture in accordance with the Industry 4.0 paradigm.

Despite progress in automation in various branches of agriculture, greenhouse production is faced with serious challenges and the need to adapt to new realities. At the heart of the agro-transformation lie many special and critical factors that have a direct impact on our daily lives, namely the demographic crisis, dwindling natural resources, climate change and huge amounts of food waste.

In the dissertation, an integrated system of greenhouses using the principles of Industry 4.0 was developed. It increases operational efficiency, quality, sustainability, and the exchange of information between greenhouses. The system optimizes decision-making, resource allocation and risk reduction in agricultural practices. By using digital technologies and automation, the proposed system offers promising prospects for increasing productivity, resource conservation and sustainability in greenhouse agriculture.

Algorithms, models and solutions developed in the dissertation work can find application in various fields and sectors of modern industry.

**2. Degree of knowledge of the state of the problem and creative interpretation of the literature material.**

In the analytical review of the dissertation, the Ph.D. student has considered a wide range of topics related to sensor technologies, control systems, data analysis, communication protocols and optimization algorithms related to greenhouse automation. The strengths and limitations of existing solutions are assessed along multiple dimensions ranging from technical efficiency and scalability to cost-effectiveness and user-friendliness. On the basis of a critical analysis of numerous literary sources, the trends, models and new paradigms in the field are revealed, and the advantages and disadvantages of the current approaches to the automation of greenhouses are determined.



The analysis reveals that many technological innovations are being implemented in the field of automated greenhouse systems related to the improvement of crop monitoring, climate control and resource management in a greenhouse environment. At the same time, challenges and issues related to interoperability, cybersecurity vulnerabilities and the need for standardized protocols and interfaces persist. In addition, differences in adoption rates and technological readiness represent an obstacle to the widespread implementation and adoption of automated greenhouse solutions.

To discover the problems and formulate the goals, the Ph.D. student has made a critical analysis of the different (five) levels of automation forming the pyramid of automation in an enterprise or industry, as well as the set of tasks and activities and IT infrastructure related to each of these levels. The advantages and disadvantages of the most popular industrial communication protocols, which can be found in almost all systems, are analyzed with a view to selecting the most suitable ones for automated greenhouse systems. The differences between cloud and edge-based solutions for the purposes of building modern, communicating automated greenhouses are examined.

From the analytical overview in the first chapter of the dissertation, it is clear that the Ph.D. student knows the problems in the field of greenhouse automation very well and demonstrates possibilities for creative interpretation of the material used..

### **3. Correspondence of the chosen research methodology with the set goal and tasks of the dissertation work.**

The purpose of the dissertation related to the development of a general design and architecture of a theoretically grounded system of interconnected communicating greenhouses. In order to achieve the goal, the currently existing automated greenhouse production products used in the agricultural industry are examined and analyzed and possible improvements are determined. A completely new methodology for collecting, storing and processing information is presented, based on a unified system of connected and communicating greenhouses.

In the synthesis of greenhouse management, Model Predictive Control was applied for optimal regulation of the microclimate in the greenhouse, ensuring proper management of energy and water flows for irrigation, artificial lighting, CO<sub>2</sub> enrichment, drying, ventilation and heating and other variables. In the middle. General models for the control and emulation of typical greenhouse energy systems have also been created. Methods based on a unified design of a theoretically grounded architecture for connected greenhouses were used, in order to communicate and build preventive measures. In order to prevent accidents, the methods of risk assessment and predictive analysis and preventive maintenance were used. Numerous methods have been applied to assess the cyber security of systems. In the development of the system architecture, iterative methodologies Agile, Kaizen, etc. were applied. In order to study the satisfaction and attitudes of the future users of the system, the qualitative method Focus group (Focus group), which is widely used in marketing, was used.

The chosen methods for carrying out scientific research and simulations fully correspond to the goals and tasks set in the dissertation work.

### **4. A brief analytical description of the nature and assessment of the credibility of the material on which the contributions of the dissertation are based.**

The presented dissertation has a volume of 191 pages. It includes 23 tables, 87 figures and 11 graphs. The list of used literature includes 92 literary sources, of which 23 are Internet-based. All sources are in English and only 18 are from 10 years ago. The rest are in the period 2014-2023, and most of them are from the last 5 years.

The structure of the dissertation includes the object, purpose and tasks and methods of the dissertation, an introduction, four chapters, a list of contributions, a list of the dissertation's publications and a list of references.

In the first chapter, a critical analysis of the levels of automation (Field Level, Control Level, Supervisory Level, Planning Level, Management) for building modern industrial systems is presented. The advantages and disadvantages of the most common industrial protocols, the use of cloud and edge computing technologies and cybersecurity for building modern distributed (and hierarchical) automated systems, as well as analysis of the most advanced solutions in the field of greenhouse systems such as hydroponics, aquaponics, aeroponics and solar systems.

In the second chapter, a new model is proposed for the optimization of classical automation systems used in (greenhouse energy systems) greenhouses by applying advanced strategies such as Model Predictive Control (MPC). A generalized predictive control strategy was used to increase system performance without requiring physical changes to the existing infrastructure. The chapter empirically validates the MPC algorithm in the complex and dynamic greenhouse environment based on simulations on a developed prototype bench mimicking the scale of a standard commercial growth chamber. Simulations confirm the effectiveness of the proposed strategy, demonstrating its advantages in terms of accuracy and robustness compared to conventional MPC methodologies. By designing control methods that minimize an objective function subject to time horizon constraints, MPC offers a systematic and anticipatory approach to greenhouse climate management.

In the third chapter, the possibilities of building a unified system for collecting, processing and analyzing information in order to improve the productivity and productivity of agricultural enterprises are explored. Focused research has been done to build a unified architecture for gathering and optimizing information processing, enabling companies and manufacturing facilities worldwide to achieve greater flexibility and increased productivity with shorter lead times and lower cost. of the final product.

An architecture of a network of interconnected greenhouses, each equipped with advanced monitoring, control and prevention systems, is proposed. Cloud systems play an important role in the architecture, providing flexible and scalable storage and computing capabilities. By incorporating private, public, hybrid and multi-cloud environments, greenhouse operators can take advantage of each model.

In the fourth chapter, the topology, architecture and algorithms of the unified system for the automation of greenhouse systems are proposed, including a component for data collection and analysis; a decision support system that processes collected data, performs analysis and generates recommendations and solutions based on predefined rules, algorithms and priorities and a user interface.

RAMS and FMEA analyzes are useful in system construction. RAMS analysis guarantees that the system will be able to perform its functions in a state of high reliability, constant availability, easy maintenance and predefined safety. FMEA analysis (Failure Mode and Effects Analysis) is a systematic approach to identify and prevent potential failures in a process, product or system before they occur. The Kanava business model, early adopters, as well as PDCA, DMAIC, Lean, KAIZEN and Risk and SWOT analyzes were also used for the analysis, development and maintenance of the system.

## **5. Scientific and/or applied science contributions of the dissertation.**

I accept all the contributions stated by the dissertation student, which he has formulated as scientific, scientific-applied and applied. The contributions correspond to the goals set in the

dissertation and the results achieved.

**The scientific contributions are:**

- Comprehensive analysis of technologies for automation in agricultural production, such as sensors, actuators, control systems and communication protocols.
- Development of general models for automation and management of automated greenhouse systems.
- Proposal of MPC strategy for greenhouse energy system planning.
- Identifying future research directions related to advanced algorithms for optimized plant growth and resource allocation.

**The scientific and applied contributions are:**

- Analysis of the challenges in the construction of an automated greenhouse system, by identifying the complexity of the system management, including the recognition of non-linearity in dynamic systems.
- Building a plan for adopting modern management technologies.
- Identification of the limitations of the system, such as the need for experimental validation using a semi-closed greenhouse and the limited duration.
- Overall progress in the field of greenhouse systems - Provide models, demonstrate detailed procedures for the applicability of automation strategies.
- Adaptation of iterative methodologies (Agile, Kaizen) - Iterative development, continuous improvement and effective problem solving.

**Applied contributions are:**

- Development of a system to determine the level of automation that allows greenhouse operators to assess the current level of automation, determine the optimal level and receive recommendations to bridge the gap.
- Proposal of a system focused on creating a network of automated greenhouses that communicate with each other.
- Solving practical challenges in implementing automation and applying an MPC system in automation - Identifying and practical solutions to challenges in implementing automated control, including real-time response considerations, platform selection, and limitations of hardware systems and programming languages.
- Guidelines for the integration of innovative technologies - Recommendations for greenhouse operators to adopt advanced management technologies.
- Model development for experiments and tests.

**6. Evaluation of the degree of personal participation of the candidate in the contributions**

I believe that the researches, simulations and the obtained results and contributions in the dissertation work of Ilker Altanov Yakhov are his personal work. This is also confirmed by his publications, commented on in the next point.

**7. Evaluation of the publications on the dissertation: number, nature of the editions in which they were published. Reflection in science – use and citation by other authors, in other laboratories, countries, etc.**

The main results of the dissertation work are presented in 5 scientific publications. Four of them are reports in international scientific conferences, printed in full text, and one is a publication printed in the TU-Sofia yearbook. In all publications and reports, the Ph.D. student is co-first author with their thesis supervisors. One of the above four publications was presented at a conference refereed in IEEE Xplore (Scopus). The number and nature of the publications



presented corresponds to the generally accepted requirements for the dissemination of research results. Scientific indicators twice exceed those required for PF 5.3.

**8. Use of the results of the dissertation in scientific and social practice. Existence of achieved direct economic effect, etc. Documents on which the statement is based.**

The results of the thesis highlight the transformative potential of the proposed MPC strategies in greenhouse crop production. The economic benefits and efficiency gains warrant recommending the implementation of this new technology, especially given the prevailing reliance on natural ventilation and manual humidification in current greenhouse management systems. The proposed MPC strategies provide a reliable alternative by automating the management process and reducing the risks associated with manual interventions. MPC strategies may find application in many industries.

**9. Assessment of the compliance of the Autoreferat with the requirements for its preparation, as well as the adequacy of reflecting the main points and contributions of the dissertation.**

The Autoreferat presented by the doctoral student is 30 pages long and adequately reflects the purpose of the dissertation, the tasks to be solved and the results achieved, as well as the contributions of the doctoral student. The format of the auto-refereal meets the requirements and recommendations of TU - Sofia.

**10. Notes, opinions and recommendations**

I have no particular objections to the dissertation work. It is carefully and painstakingly designed with a high level of presentation of scientific research and evidence of good knowledge of the subject area.

**11. Conclusion with a clear positive or negative assessment of the dissertation.**

My final assessment of the content and contributions of the M.Sc. Eng. Ilker Altanov Yahov is positive. The dissertation meets the requirements of the Law on the Development of the Academic Staff of the Republic of Bulgaria, the Regulations for its Application and the Regulations for the Conditions and Procedures for Acquiring Scientific Degrees at the Technical University - Sofia.

The above gives me reason to recommend to the Honorable Scientific Jury to award M.Sc. Eng. Ilker Altanov Yahov the educational and scientific degree "Doctor" in Professional Field 5.3 "Communication and computer engineering" and scientific specialty "Automated systems for information processing and management".

17.04.2024

Sofia

**Reviewer:**

/Prof. Dr. Eng. Atanas Atanassov/