



Българска академия на науките
Институт по информационни и комуникационни технологии
Секция: „Киберфизични системи“

автор: маг. инж. КРИСТИЯН СИМЕОНОВ ДИМИТРОВ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

НА ДИСЕРТАЦИЯ

за получаване на образователна и научна степен „ДОКТОР“

КИБЕР-ФИЗИЧНИ СИСТЕМИ ЗА ИНТЕЛИГЕНТНО УПРАВЛЕНИЕ НА КОМПЛЕКСИТЕ ЗА ОТГЛЕЖДАНЕ НА ЖИВОТНИ

научна област:

5. Технически науки

професионално направление:

**5.2 Електротехника, Електроника и
Автоматика**

**Докторска програма: Автоматизирани системи за обработка на информация и
управление**

научен ръководител: проф. д-р Найдено Шиваров

Българска Академия на Науките – София, юни, 2025г

Дисертацията е обсъдена и допусната до защита на разширено заседание на секция „Кибер-физични системи“ на ИИКТ-БАН, състояло се на 16.09.2025 г.

Дисертацията съдържа 178 стр., в които 92 фигури, 18 таблици и 11 стр. литература, включваща 134 заглавия и 33 интернет сайта.

Защитата на дисертацията ще се състои на .0.20... г. от ...:.. часа в зала на блок на ИИКТ-БАН на открито заседание на научно жури в състав:

1. Проф.
2. Проф.
3. Проф.
4. Доц.
5. Проф.

Материалите за защитата са на разположение на интересувашите се в стая на ИИКТ-БАН, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 2.

Автор: Кристиян Симеонов Димитров

Заглавие: КИБЕР-ФИЗИЧНИ СИСТЕМИ ЗА ИНТЕЛИГЕНТНО УПРАВЛЕНИЕ НА КОМПЛЕКСИТЕ ЗА ОТГЛЕЖДАНЕ НА ЖИВОТНИ

Обща характеристика на дисертационния труд

Актуалност на темата

В наши дни управлението на микроклимата в животновъдните ферми придобива все по-голямо значение. Това се дължи не само на нарастващите изисквания за енергоефективност, повишаване на продуктивността и устойчивост, но и на хуманното отношение към животните. Микроклиматът е съвкупност от параметри като температура, влажност, скорост на движение на въздуха, осветеност и концентрация на вредни газове и др. които оказват пряко и косвено въздействие върху здравето, продуктивността и благосъстоянието на животните. Неподходящите условия могат да доведат до забавен растеж, намалена производителност на месо, мляко, яйца, повишена заболяемост и смъртност.

Темата е особено актуална и в контекста на климатичните промени и въвеждането на все по-строгите екологични регулации. Автоматизираните системи могат да помогнат за по-ефективно използване на ресурси като електроенергия, вода и време за управление на стопанството. Освен това, цифровизацията и използването на „умни“ технологии се вписват в тенденцията към изграждане на устойчиво и прецизно земеделие.

Въвеждането на автоматизирани системи за управление на микроклимата е ключово за модернизацията на фермите. Те позволяват прецизен контрол на вътрешната среда чрез сензори и алгоритми, които в реално време могат да управляват параметрите на средата. Като се има предвид цената на съществуващите системи за управление на микроклимата в животновъдните ферми е необходимо разработването на нови системи, които са достъпни за по-широк кръг потребители.

Цели и задачи на дисертацията

Целта на този труд е да се разработи Кибер-физична система (КФС) за управление на микроклимата в комплексите за отглеждане на животни и за управление на средата при отглеждане на риба на базата на openHAB.

Обект на изследването е не само проучването на възможността за реализиране на КФС с избрания софтуер, но и анализирането на влиянието на средата върху продуктивността и здравословното състояние на животните.

Предмета на изследването включва необходимостта да се разгледат различните параметри на микроклимата в животновъдните ферми и влиянието което оказват върху дадения вид животни директно и индиректно. Разглежда се и влиянието на параметрите и качеството на водата при отглеждане на риби или други водни животни в затворена екосистема или т.н. аквапонична система. Разглеждат се различни способи за контролирането на тези параметри, защото средата оказва влияние както на здравословното състояние на животните, така и на производителността им и не на последно място и на

хуманното отношение към тях. Затова е много важно да се разработят системи които могат надеждно да контролират средата, като за целта се използват минимални ресурси.

Апробация на резултатите

Различни части от получените резултати са докладвани на следните форуми, конференции и семинари:

- ✓ „Трети интердисциплинарен докторантски форум 6-7 юни 2022г. Парк-хотел „Кюстендил“, гр. Кюстендил“, „Киберфизична система за интелигентно управление на кравеферма“
- ✓ IFAC Workshop on Control for Smart Cities., June 27-30, 2022, Sozopol, Bulgaria, “Algorithms for Cost Oriented Cyber Physical System (COCPS) for intelligent control of animal husbandry farms“
- ✓ IFAC International Conference on Technology, Culture and International Stability - 21st TECIS 2022, October 26-28, Prishtina (Kosovo) - Online „Cost Oriented Cyber-Physical System algorithm for pig farm microclimate and air quality control“
- ✓ 4th Interdisciplinary PhD Forum with International Participation, 16 – 19 May 2023, Sandanski, Bulgaria „Cyber-Physical System algorithm for pig farm microclimate“
- ✓ 5th Interdisciplinary PhD Forum with International Participation 16 – 19 April 2024 Kyustendil, Bulgaria “Poultry farm microclimate management by calculating felt temperature”
- ✓ XXXIII МЕЖДУНАРОДНА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКА КОНФЕРЕНЦИЯ - АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ДИСКРЕТНОТО ПРОИЗВОДСТВО “АДП – 2024” 27 - 30 юни 2024 г., База Созопол на ТУ- София „Кибер физична система за управление на микроклимата в животновъдни ферми“
- ✓ Научен семинар на ИИКТ – БАН в секция “Кибер-физични системи”, на 06.12.2024г. 15:00 часа в зала 228 в бл. 2. Представена презентация на тема: „Концепция за КФС за контрол на самопочистващ се аквапоничен модул“.

Публикации по дисертационната тема

Научни публикации в издания реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни (Web of Science, Scopus).

- ✓ „Algorithms for Cost Oriented Cyber Physical System (COCPS) for intelligent control of animal husbandry farms“, Stefan Chivarov, Kristian Dimitrov, Nayden Chivarov; IFAC-PapersOnLine Volume 55, Issue 11, 2022, Pages 31-36, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.08.044>
- ✓ „Cost Oriented Cyber-Physical System algorithm for pig farm microclimate and air quality control“, Kristian Dimitrov, Stefan Chivarov, Nayden Chivarov; IFAC-PapersOnLine Volume 55, Issue 39, 2022, Pages 336-341, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.12.047>
- ✓ „Algorithm for Autonomous Management of a Poultry Farm by a Cyber-Physical System“ Special Issue Intelligent Animal Husbandry; Nayden Chivarov, Stefan Chivarov, Kristian

Dimitrov; Animals 2023, 13, 3252. <https://doi.org/10.3390/ani13203252> CiteScore-4.9, Impact factor 2.7, Quartile Rank Q1 – Animal Science and Zoology

- ✓ “Concept of a Cyber-Physical System for Control of a Self-Cleaning Aquaponic Unit” Kristiyan Dimitrov, Nayden Chivarov, Stefan Chivarov, Tsvetelina Paunova-Krasteva, Emil Filipov and Albena Daskalova, AgriEngineering 2024, 6(4), 3843-3874; <https://doi.org/10.3390/agriengineering6040219> CiteScore-4.7, Impact factor 3.0, Quartile Rank Q1 – Horticulture

Научна публикация в не реферирани списания с научно рецензиране.

- ✓ „Кибер физична система за управление на микроклимата в животновъдни ферми“ Кристиан Димитров, Автоматизация на дискретното производство, Брой 6 юли 2024 г. Издателство на ТУ-София, ISSN: 2682-9584, <https://mf.tu-sofia.bg/mntkadp/includes/archive/2024.pdf>

Цитати.

- ✓ Vatn, K.J.D., Kavallieratos, G., Katsikas, S. (2024). Threat Analysis in Dairy Farming 4.0. In: Katsikas, S., et al. Computer Security. ESORICS 2023 International Workshops. ESORICS 2023. Lecture Notes in Computer Science, vol 14398. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-54204-6_3
- ✓ Ibrahimov, B.; Stapleton, L.; Technology, International Stability and Culture (TECIS) – TC9-5 Exploring the Alignment of Control and Automation Systems with the United Nations Sustainable Development Goals (UN SDGs). IFAC-PapersOnLine Volume 58, Issue 3, 2024, Pages 176-181, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.07.146>
- ✓ Tan, C.; Yu, Z. A Low-Carbon Emission Production Scheduling Algorithm of Intelligent Manufacturing based on Energy and Environmental Efficiency. Procedia Computer Science 2024, 247, 1215. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.10.146>
- ✓ Kistanova, E.; Yotov, S.; Zaimova, D. Intelligent Animal Husbandry: Present and Future. Animals 2024, 14, 1645. <https://doi.org/10.3390/ani14111645>
- ✓ Montalvo, A.; Camacho, O.; Chavez, D. Cyber-Physical Systems for Smart Farming: A Systematic Review. Sustainability 2025, 17, 6393. <https://doi.org/10.3390/su17146393>

Съдържание на дисертацията

Настоящата дисертация се състои от увод, седем глави, заключение, приноси и списък на цитираната литература. Състои се от 178 страници, като основното съдържание е поместено в 156 страници, плюс 11 страници използвана литература включваща 134 заглавия и 33 интернет сайта.

ГЛАВА 1. Обзор, анализ и систематизация на съществуващи изследвания и практики по темата

1.1 Въведение

Основна цел на първите две глави е да се покаже нуждата от това изследване и да се дефинира проблемната област. Тук се разглежда мотивацията, представят се целите, методологията и разглежданите задачи на дисертацията.

1.1.1 Дефиниране на проблема

В първа и втора глава са разгледани основните проблеми които стоят на дневен ред в съвременното животновъдство и методи и практики за подобряването и развитието му. По конкретно е обърнато внимание на методите и средствата за подобряване на микроклимата в затворени животновъдни стопанства за отглеждане на дойни крави, прасета и бройлери. Разгледани са и някои основни проблеми при подобряване на средата за отглеждане на риби и растения в аквапонични системи. Разгледано е директното и косвеното влияние на микроклимата върху икономическите показатели на стопанства за отглеждане на животни. Показани са съществуващи системи за автоматизация на микроклимата с основните им подсистеми на водещи фирми в световен мащаб, както и са разгледани някои научни разработки от последните няколко години, с цел да се добие обща представа до къде е стигнало развитието в дадената област.

1.2 Влияние на средата върху продуктивността в животновъдни ферми

1.2.1 Влияние на микроклимата върху млеконадоя в кравеферма

Микроклимата влияе както директно, така и индиректно на производителността. Температурата е основния фактор който трябва да се контролира за да се поддържа термо неутралната зона TNZ. При температури над 28 °C, дори и при ниска относителна влажност кравите показват състояние на хипертония и топлинен стрес [1,2] при което приема на фураж, млеконадоя, производството на млечна мазнина и протеини, както и степента на плодовитост намаляват [3]. Влиянието което температурата оказва на животните е в пряка зависимост с относителната влажност RH. Това се определя от т.н. температурно - влажностен индекс THI (temperature-humidity index) [4]. Високите стойности на THI оказват най-голямо влияние на млеконадоя след два дни [5]. При стойност на THI около 68 имаме най-голям млеконадой, а повишаването на стойността на THI от 68 на 78 намалява DMI с 9,6% и производството на мляко с 21% [6] приемът на храна започва да намалява на следващия ден след започване на топлинния стрес HS, докато добивът на мляко намалява на втория ден след HS [7]. Според други изследвания [8], THI не оказва влияние на млеконадоя при стойности между 35 и 72. Топлинния стрес оказва влияние и на здравословното състояние на кравите.

1.2.2 Влияние на микроклимата върху производството на месо в свинеферми и птицеферми

Микроклиматът оказва сериозно влияние върху здравословното състояние и производството на всички възрастови категории свине [9,10]. Повишаването на температурата над зоната на комфорт води до намаляване приема на храна и от тава прогресивно намалява и производителността на прасето [11]. Тя влияе на репродуктивните способности, растежа и развитието на тялото, качеството и количеството на продукцията, развитието на нови заболявания и смъртността [12]. Отклонението от номиналните параметри на микроклимата в помещението води до намаляване на среднодневното наддаване на тегло и влияе върху безопасността на птиците, особено през есенно-зимния период, както и върху продуктивната [13]. Оптималният микроклимат в птицефермите намалява цената на продуктите при птиците с 15-20%. В студени, влажни и лошо вентилирани птицеферми птиците са до 4 пъти по-податливи на заболявания, а тяхната продуктивност намалява с 10-50%, въпреки че консумацията на фураж се увеличава с 10-30% [14]. Топлинният стрес има отрицателно въздействие върху потреблението на фуражи, ефективността на фуражите, индекса на телесна маса, качеството на месото и смъртността [15]. Въпреки напредъка на технологиите и модернизациите сектора, птицевъдството в световен мащаб е значително засегнато от гледна точка на производителността, здравето и цялостното благосъстояние на пилетата от топлинния стрес [16]. При домашните птици, изложени на топлинен стрес се наблюдават отклонения в имунната система, хормонални нередности, дихателните затруднения и електролитния дисбаланс [17,18]. Вентилацията оказва сериозно влияние на всички параметри на микроклимата в сградата, като и контролира наличието на вредни газове в помещенията.

1.3 Влияние на средата върху производството на аквакултури в аквапонична система

Във връзка с повишената консумация на хранителни продукти през последните години отглеждането на аквакултури също се развива значително. През последните 20 години в ЕС аквакултурите имат устойчив темп на растеж като добива на риба чрез аквакултури от общия добив, е нараснал от около 15% през 2000г до около 20% през 2021г [19]. Обръща се внимание и на рециркулацията на отпадъчни води което има голямо въздействие върху намаляването на замърсяването в аквакултурите [20].

При отглеждане на аквакултури с висока плътност, замърсяването на водата от отпадъчни продукти като екскременти, остатъци от храна и други се превръща във вредни вещества като амоняк NH_3 , нитрити NO_2 и сероводород H_2S . Те могат да бъдат изключително опасни във високи концентрации за отглеждани аквакултури. Това може да доведе до големи икономически загуби, както и до отрицателни въздействия върху околната среда в глобален мащаб [21,22]. Едно от предимствата на аквапониката е затвореният цикъл, при който рибните отпадъци, освободени през хрилете и като урина, които са основно амоняк, се преобразуват чрез процесите на нитрификация [23] и минерализация [24]. Отделят се и твърди отпадъци, част от които се превръщат в амоняк чрез микробна активност [23]. Това намалява биологичното замърсяване на отпадъчните води.

Аквапоничните системи могат да се разположат на открито или на закрито. Има много примери при които се комбинира аквапоника и оранжерии и този подход се развива непрекъснато [25,26,27].

1.4 Обобщение

След внимателен преглед и анализ на показаните по-горе факти относно влиянието на средата и микроклимата върху отглежданите животни, можем да заключим, че осъществяването на контрол на определени параметри на средата е от изключително значение за благосъстоянието им. Управлението на средата спомага както за увеличаване на продуктивността, така и за подобряване на здравословното състояние на животните и не на последно място осигурява хуманно отношение към тях.

Можем да обобщим, че в затворени животновъдни стопанства е необходимо да се контролират температурата, влажността и скоростта на движение на въздуха, наличието на замърсители във въздуха като вредни газове, прахови частици и микробна контаминация, както и осветеността и околния шум. Във втория случай в една аквапонична система е необходимо да се контролира не само качеството на водата, но и други параметри на средата. Това са температура и рН на водата, разтворен кислород и въглероден диоксид, амоняк, нитрити, нитрати и други параметри, както и излагането на пряка слънчева светлина.

Затова е необходимо да се разгледат и сравнят съществуващите методи и средства за контрол на средата и микроклимата в животновъдните ферми и при аквапоничните системи. Това сравнение би дало възможност да се анализират някои пропуски и слабости, като се предложат нови методи или по-достъпни начини за управление.

ГЛАВА 2. Изследване на съществуващи методи и средства

2.1 Съществуващи методи за поддържане на микроклимата в животновъдни стопанства

Като примери за лидери в производството на системи за автоматизация и контрол на животновъдни ферми може да разгледаме фирми като Big Dutchman, Fancom, SKOV и др.

2.1.1 Изпълнителни механизми

Те предлагат разнообразие от оборудване за поддържане на микроклимата. Имат различни видове клапи за свеж въздух, жалузи, комини за свеж въздух или циркулация, вентилатори, отоплителни системи пръскачки за изпарително охлаждане и др. По-долу са разгледани някои основни компоненти за управляване на микроклимата в животновъдните стопанства.

Вентилационните клапи за стена [28,29,30] или за таван [28,29] позволяват лесно управление чрез сервомотор [28,29], като са оборудвани с пружина която ги държи плътно

затворени, а сервомотора ги издърпва. Клапите тип комин [28,29] имат предимството пред другите таванни клапи, защото не се влияят от скоростта на вятъра.

Жалузите се използват когато е необходимо вентилационните отвори да са големи. Например при по-топъл климат, при естествена вентилация, при тунелна вентилация. Управлението им е подобно на това на клапите, но някои жалузи не са снабдени с пружина за затваряне [28,30].

За тунелна вентилация, освен жалузи, могат да се използват и клапи с вертикално отваряне [29] или големи панелни клапи [28]. И двете имат по-малко въздушно съпротивление спрямо жалузите [28,29]. В много случаи е по-удобно и евтино да се използват щори [28] вместо клапи или жалузи

Вентилаторите използвани в животновъдните стопанства могат да се разделят на няколко групи спрямо предназначението им. Това са вентилатори за свеж или отработен въздух (нагнетяващи или изсмукващи), циркулационни вентилатори или вентилатори от смесен тип [28,29,30]. Спрямо конструкцията на перките, вентилаторите могат да се разделят на аксиални или радиални (центробежни). Има вентилатори с или без клапи за затваряне на отвора. Те могат да бъдат без възможност за регулиране на скоростта, със стъпково регулиране или с възможност за безстепенно регулиране. В последните години се появиха и т.н. смарт вентилатори [29].

На пазара могат да се намерят различни системи за отопление. Освен конвенционалното парно отопление с радиатори или лири, има различни методи за газово отопление [28]. През последните години все по-често се използват системи за отопление с топлообменници [28] в животновъдните ферми. При тях разходите за отопление може да се намалят с над 50% [28].

Пръскачките [30,31] се използват за охлаждане на въздуха и контролиране на влажността в помещенията, за директно намокряне на животните с цел охлаждане, за разкисване на засъхнала мръсотия по стените и пода, както и за дезинфекция на помещенията [30,31]. Могат да се използват в птицеферми, свинеферми и кравеферми като основното им предимство спрямо други системи за охлаждане е по-ниската цена. Те са най-ефективни при сух климат и високи температури. Изпарителните охладителни пъти [28,30] намират широко приложение в различни видове стопанства, като се използват при тунелната вентилация. Те се монтират на тунелните входи като принципа им на работа е следния. В горния им край се обливат с вода, като така се умокрят целите пъти. При преминаване на въздуха през тях, водата се изпарява и се получава охлаждане на въздуха без в него да остават водни капки които могат да намокрят постелята и да влошат условията в помещението.

2.1.2 Сензори

Сензорите които масово се използват за контролиране на микроклимата в животновъдни ферми следят само някой от параметрите на средата. Това са сензори за

температура и относителна влажност RH, като обикновено е един комбиниран сензор, сензор за амоняк NH_3 , за въглероден диоксид CO_2 , за налягане, за скорост на движение на въздуха и за осветеност. Дори световни лидери в автоматизацията не използват сензори за постоянно наблюдение на въглероден оксид CO, метан CH_4 , сероводород H_2S и фини прахови частици [28,29,30].

2.1.3 Компютри за управление на микроклимата в животновъдни ферми

На пазара съществуват разнообразни решения за управление на микроклимата в животновъдните ферми. В едната крайност управленията варират от системи за управление на 1 помещение с възможност за включване на няколко сензора за температура, при което спрямо нея може да се включва или изключва отопление и охлаждане, а мощността на вентилацията се настройва ръчно и не се коригира от измерената температура. В другата крайност са системи с многозонов контрол, възможност за включване на множество сензори, които могат да управляват всеки компонент на средата [28,29].

2.2 Съществуващи методи за поддържане на средата и управление на аквапонични системи

Когато става въпрос за автоматизация в съществуващите и предлагани на пазара в момента аквапоничните системи, можем да кажем, че тя е в началото на развитието си. Аквапоничните системи вече са обстойно изследвани, като е събрана достатъчна информация, която позволява да бъдат създадени системи за управление на основните параметри на средата, но на практика такива почти не съществуват. Системите за аквапоника които се предлагат от реномирани световни марки с дългогодишен опит предлагат минимална автоматизация като параметрите които се следят автоматизирано се изчерпват с измерване и регулиране на температурата на водата в резервоарите и температурата на въздуха в помещението и следене на pH. Останалите параметри на средата като твърдост на водата, разтворен кислород, въглероден диоксид CO_2 , амоняк NH_3 , амоний NH_4^+ , нитрити NO_2^- и нитрати NO_3^- се следят ръчно чрез тестови комплекти с реактиви и лакмус ленти.

2.2.1 Изпълнителни механизми

Много важно е въздушните помпи да се подберат правилно, за да осигурят необходимото количество разтворен кислород (Dissolved Oxygen – DO). Помпите основно се делят на два вида спрямо конструкцията им. Първите са бутални, а вторите са турбинни [32]. Използването на дифузери е необходимо за да може повече кислород да преминава от балончетата въздух във водата [23]. Дифузерите [32,33] могат да бъдат направени от различни порести материали като вулканичен камък например. Могат да бъдат изработени също от различни видове пластмаса, керамика или метал. Дифузерите с по-малки отвори са по ефективни, но за тях е необходимо по-високо налягане на въздуха. Освен това се запущат по лесно и е необходима по-честа профилактика [23]. За поддържане на температурата в аквапоничните системи основно се използват електрически нагреватели

[32,33,34]. Често са изработени от титан, заради високата му корозионна устойчивост. Нагревателите могат да бъдат оборудвани със сензори за температура, а някои са оборудвани и с контролер. Може да се монтират потопени в резервоарите или на тръбния път на циркулиращата вода [32,33,34]. При по-студен климат е по-изгодно да се използват термо помпени инсталации което позволява разхода за отопление на вода да се намали значително, но при по-висока първоначална инвестиция. Термопомпите могат и да охлаждат водата, което е от съществено значение при отглеждане на студеноводни риби които не могат да се отглеждат ефективно при температури над 18°C [23]. За храненето на рибите се използват автоматични хранилки които могат много точно да дозират храната [32,33]. При съществуващите системи хранилките се управляват само по таймер който задава часовете от деня и продължителността на подаването на храна. Вибрационните хранилки са подходящи за всякакъв вид храна, като дори и по-мазни храни преминават без да запущват хранилката. Хранилките с ротационен валик имат много точно подаване на количеството храна, а хранилките с разпръсквач са подходящи за по-големи площи, защото не изсипват храната на едно място.

2.2.2 Сензори

За наблюдение на работата на въздушната помпа и на водната циркулационна помпа се използват дебитомери [32]. В общия случай те са оборудвани с един брой нормално отворен или превключващ контакт, който сработва при преминаване съответно на въздух или вода през тях.

Предлагат се също и сензори за следене на рН [35] които имат възможност за подаване на аларма когато стойността превиши или падне под определена стойност.

2.2.3 Компютри за управление на аквапонични системи

Таймерите за управление на хранилките [32] които се използват са разнообразни, като могат да бъдат обикновени таймери с възможност за настройка на времето и продължителността на включване, до специализирани таймери които могат да управляват една или няколко хранилки [32].

Като система за мониторинг и отдалечен достъп голяма част от доставчиците на оборудване за аквапониката използват контролер Sensaphone 800 [32,33] който има възможност за следене на няколко температури и входове за различни аларми. При превишаване на настроените лимити или получаване на аларма от конкретен сензор, дебитомер или друго, контролера може да се обади по телефон на предварително настроени номера, като изпрати различни записани гласови съобщения, в зависимост от алармата която го е задействала.

През последните години с развитието на сензорите се появила доста научни разработки които следят автоматизирано параметрите на средата в аквапоничните системи, но без да се прилага автоматичното им регулиране с изключение на температурата. По-долу

са показани някои примери за съществуващи системи и разработки отнасящи се основно за DWC системите.

2.2.4 Примери за съществуващи научни разработки на системи за мониторинг и контрол в аквапониката

С развитието на интернет на вещите (IoT – Internet of Things) и появата на достъпни електронни сензори се появиха доста разработки за непрекъснат мониторинг и отдалечен достъп до информацията, които включват и частичен контрол върху аквапоничните системи.

Разработена е система за мониторинг на аквапонична система [36] в която е установено, че метаболизма на рибите е пряко свързан с количеството кислород което консумират. Активното движение на рибите е пиково за периода от преди, по време и след храненето, за около 15 до 30 минути [36]. Като се вземе това в предвид е необходимо новото на DO да се следи по време на активното движение, а не само когато рибите са в покой.

При друга система за контрол и мониторинг [37] се измерват pH, ниво, температура и електропроводимост ЕС на водата, общо количество разтворени соли TDS, амониев NH_4^+ , нитритни NO_2^- и нитратни NO_3^- йони. Системата също измерва и температура, относителна влажност RH и въглероден диоксид CO_2 на въздуха, както и осветеност. Тя използва NodeMCU контролер за отчитане и управление. Управлението се свежда до контрол на циркулационната помпа, контрол на електропроводимостта на водата, както и концентрацията на амоняка, като не е обяснено как е реализирано самото управление. Споменато е, че тази система може да контролира също температурата, относителната влажност RH, въглеродния диоксид CO_2 , както и осветеността в помещението.

При някои системи реализирани със същия контролер NodeMCU [38] се наблюдава единствено мониторинг на параметри като pH, температура на водата, разтворен кислород DO и концентрацията на амоняк NH_3 . Докато първите три параметъра се отчитат директно чрез сензори, амоняка се отчита посредством тестова лента потопена във водата като се наблюдава от сензор за определяне на цвета.

Друга система за контрол и мониторинг [39], освен че управлява водната помпа и осветеността има възможност и за автономно хранене на рибите. Тя отчита температурата, pH и нивото на водата, като данните могат да се преглеждат от уеб страница подържана от Raspberry Pi.

2.3 Обобщение

При обстойния преглед на използваните в животновъдните ферми различни типове крайни управляващи устройства и изпълнителни механизми за управление на микроклимата, се установи, че на пазара се предлага голямо разнообразие от тях. Освен, че има много производители на такова оборудване, всеки един от тях предлага широка гама от номенклатури за изпълнение на различни проекти. Това включва различни видове стенни,

таванни и коминни вентилационни клапи както и устройства за управлението им, вентилатори, системи за отопление и охлаждане, за дезинфекция и др. Има също и голямо разнообразие от сензори, като специализираните за използване в животновъдни ферми се предлагат на сравнително високи цени. От другата страна са компютърните системи за управление на микроклимата. Различните производители предлагат широка гама от такива, но при избора на повечето от тях е необходимо предварително да се предвидят всички канали за сензори и крайни устройства които ще са необходими. Системите нямат възможност за допълнително разширяване в бъдеще, а цената на многоканалните системи е твърде висока и е пречка за внедряването им в малки и средноголеми стопанства.

При прегледа на съществуващите системи за управление на средата в аквапонична система се установи, че на пазара не се предлагат такива които да предлагат пълен контрол, а се използват системи за следене на част от необходимите параметри. Останалите се следят не автоматизирано, чрез измерване най-често с лакмус ленти. Въпреки че има някои разработки за системи за частичен контрол на средата в аквапонични системи, те са далеч от желанния резултат за постигане на баланс и управление без да са необходими специализирани познания за аквапониката.

В тази насока би било добре да се разработят повече системи за управление на средата, които са модулни, могат лесно да се надграждат както с разширение броя и вида на управляваните параметри, така и с възможност за променяща се логика на управление. Това ще ги направи леснодостъпни и за по-широк кръг потребители. За тази цел е необходимо първо де се създаде концепция с необходимите изисквания за реализирането на такава система.

ГЛАВА 3. Разработване на концепция с изисквания за създаване на КФС за интелигентно управление на комплекси за отглеждане на животни

3.1 Дефиниции на Кибер физична система

Общата архитектура на Кибер-физичната система (КФС) включва модели на физически процеси, модели на софтуер, изчислителни платформи и мрежи. Веригата за обратна връзка между физическите процеси и изчисленията обхваща сензори, задвижващи механизми, физическа динамика, изчисления, софтуерно планиране и мрежи с конкуренция и забавяне на комуникацията [40]. Кибер-физичните системи са интеграции на изчислителни и физически процеси. Вградените компютри и мрежи наблюдават и контролират физическите процеси, обикновено с обратна връзка, където физическите процеси влияят на изчисленията и обратно [41]. Има много определяния за това какво представлява една КФС. Тя включва множество компоненти и слоеве. В нея се преплитат физически и виртуални компоненти, като се започне със сензори, хардуерни компоненти, изпълнителни механизми, съответно и подходящ софтуер. Използват се различни видове телекомуникационни мрежи чрез които се осъществява връзка между компонентите. Включват се различни подходи от кибернетиката, мехатрониката и вградените системи. Но

за разлика от тях една КФС обикновено представлява мрежа от взаимосвързани взаимодействащи елементи с физически вход и изход.

3.2 Изисквания към КФС

За реализирането на КФС пригодна за управление на комплекси за отглеждане на животни е необходимо да се разгледат необходимите компоненти с конкретните изисквания към тях. Компонентите могат да бъдат физически или виртуални, като за целта трябва да бъдат внимателно анализирани всички фактори на външно и вътрешно влияние върху тях. За тази цел определяме ред при който можем да реализираме една КФС за нуждите на съответното животновъдно стопанство. По долу са описани необходимите стъпки.

3.2.1 Определяне на параметрите които могат да се контролират

3.2.2 Определяне на параметрите които е необходимо да се контролират автоматизирано

3.2.3 Определяне на параметрите на управляваната среда чиято стойност е необходимо да се знае

3.2.4 Определяне на параметрите които ще бъдат измервани директно чрез сензори

3.2.5 Определяне на вида на сензорите

3.2.6 Определяне броя на сензорите за измерване на един и същ параметър на средата

3.2.7 Определяне на местоположението на сензорите

3.2.8 Избор на вида на свързване на сензорите към системата

3.2.9 Избор на релета за управление на управляващи механизми и крайни устройства

3.2.10 Избор на управляващи механизми

3.2.11 Избор на крайни устройства

3.2.12 Избор на управляващ компютър

3.2.13 Избор на операционна система

3.2.14 Избор на специализиран софтуер

3.3 Обобщение

Създаването на концепция за реализирането на КФС за управление на комплексите за отглеждане на животни ни дава по-ясни насоки какви стъпки трябва да се предприемат за реализирането на системата. След като вече са определени изискванията за всички елементи от системата остава само те да се подберат по зададените критерии и да се тестват за съвместимост.

След очертаване на основните изисквания и насоки за реализирането на КФС е необходимо да се подбере и тества както операционна система, така и съвместим с нея софтуер необходим за работата и. Освен това трябва да се избере и софтуер за първоначална инсталация и настройка който да има възможност дистанционен достъп до системата.

ГЛАВА 4. Изследване и анализ на софтуер и системи за управление на КФС. Разработка на концепция за софтуерна система за управление на КФС в комплекс за отглеждане на животни

4.1 Изисквания към операционната система и софтуера

Тук ще разгледаме по-подробно изискванията към софтуера, преди неговия избор. Операционната система, заедно с допълнителния софтуер, както и библиотеките и драйверите към него трябва да работят в симбиоза, като това трябва да се обследва обстойно преди внедряването на системата в реална среда.

На първо място, операционната система трябва да поддържа работа в реално време (Real Time Operating System - RTOS), протоколи за синхронизация NTP или PTP . Трябва да поддържа голям набор от комуникационни протоколи като например TCP, HTTP/HTTPS, FTP/SFTP, SSH, EtherNet/IP, WebSocket, MQTT, Modbus. Протоколи за реализирането на безжични мрежи като IEEE 802.11, Zigbee, BT/BLE, Z-Wave, 6LoWPAN, LPWAN, LoRa, SigFox. Целта на двете системи е да поддържат огромен брой безжични сензори и устройства с ултра ниска скорост и ултра ниска мощност.

4.2 Избор на операционна система

За целта на изследването е избрана Linux базираната система OpenHABian, която включва в себе си независимата платформа, базирана на java - OpenHAB.

4.2.1 OpenHAB

OpenHAB (Open Home Automation Bus) е платформа за интелигентна автоматизация на дома с отворен код. Тя позволява управление и интеграция на различни IoT устройства, като сензори, термостати, камери, умни крушки, алармени системи, контролери и други подобни устройства [42]. Тя поддържа следните комуникационни протоколи: Z-Wave, Zigbee, Wi-Fi, Bluetooth, Bluetooth Low Energy, Modbus, RS232, RS485, HTTP/HTTPS, MQTT, WebSocket Thread, KNX, DMX, REST, IFTTT, HomeKit, Hue, LIFX, Nest, Sonos, EnOcean, Xiaomi Mi Home, Open Weather Map, SolarEdge, SMA, Fronius, Kodi, MySensors, DLNA/UPnP и други [42].

4.2.2 OpenHABian

OpenHABian е Linux система базирана на операционната система Raspberry Pi OS Lite, която всъщност е олекотена версия на Debian, оптимизирана за различните версии на едноплатковия компютър Raspberry Pi. OpenHABian е специално адаптирана, за да осигури

лесна настройка и оптимизация за работа с OpenHAB. Въпреки, че е предназначена за работа с устройства като Raspberry Pi, OpenHABian може да се използва и на други Linux-базирани системи, като и на компютри с x86 архитектура.

4.3 Избор на допълнителен софтуер

За реализиране на предложената КФС са използвани изброените по-долу софтуерни продукти. Въпреки, че някои от тях имат и лицензирани версии, всички притежават безплатни версии с отворен код.

4.3.1 Eclipse Mosquitto MQTT Broker

Eclipse Mosquitto е брокер на съобщения с отворен код, който изпълнява MQTT протокол версии 5.0, 3.1.1 и 3.1 [43]. За целите на изследването Eclipse Mosquitto MQTT Broker се инсталира на сървъра на КФС и се използва за жична или безжична комуникация между сензори, контролери и управляващи устройства от една страна и сървъра от друга.

4.3.2 InfluxDB

InfluxDB е база данни за времеви серии (TSDB - Time Series Database) с отворен код [42,44]. За целите на изследването InfluxDB се инсталира на сървъра на КФС и се използва за съхранение на измерените от сензорите стойности, за записване на текущото състояние на управляващи устройства и механизми, като информацията може да се използва освен от системата за извършване на автоматизираното управление, така и от потребителя при поискване.

4.3.3 Grafana

Grafana е мултиплатформено уеб приложение с отворен код. Предназначено е за интерактивна визуализация и анализи. То може да създава диаграми, графики и предупреждения за мрежата, когато е свързан към поддържани източници на данни [45]. За целите на изследването Grafana се инсталира на сървъра на КФС и служи за графична визуализация на параметрите на системата.

4.3.4 Samba

Samba е безплатен софтуер, който внедрява изпълнението на мрежовия протокол SMB (Server Message Block). Той позволява достъпа до файловата система на Linux базирания сървър на предложената КФС, както от компютър с Windows, така и от устройство с Android, като смартфон или таблет. Така лесно може да се достъпи системата, и да се променят конфигурационните файлове при настройка или работа на системата.

4.3.5 Frontail

Frontail е Log viewer който е необходим както при пускането и настройката на сървъра, така и по време на работата на КФС. Той ни дава информация за текущите логове

на системата, наличие на грешки, прекъснати връзки със сензори или други компоненти, като това улеснява отстраняването на проблеми по системата.

4.3.6 Amanda Backup

Amanda (Advanced Maryland Automatic Network Disk Archiver) Backup е софтуер с отворен код за архивиране на компютри, който е в състояние да архивира данни, намиращи се на множество компютри в мрежа [46]. Задължително е след реализирането на определена КФС да се направи резервно копие на данните, независимо от това дали се използва Amanda Backup или друг подобен софтуер, който да позволява коректно и лесно възстановяване на системата.

4.3.7 Visual Studio Code

Visual Studio Code е редактор на програмен код който може да работи под Windows, Linux и MacOS и е напълно безплатен[47]. Той заема основна роля в програмирането на предложената КФС. Инсталира се на външен за КФС компютър, като чрез него най-лесно и четимо могат да се създават и редактират файловете управляващи системата. За реализирането и са използвани разширения като OpenHAB и OpenHAB Alignment Tool.

4.3.8 Solar-PuTTY

Solar-PuTTY е самостоятелен безплатен мрежов терминален, който позволява и прехвърляне на файлове. Solar-PuTTY се инсталира на външен за КФС компютър. Той се използва за достъп до системата за инсталиране, update и upgrade както на инсталирания софтуер така и на операционната система. За настройки и редакции на конфигурационни файлове на сървъра. Чрез него могат да се създават и редактират файлове и директории и да се конфигурира самата система.

4.3.9 Tasmotizer

Tasmotizer се използва на външен за системата компютър. Това е софтуер с помощта на който може да се замени оригиналния фърмуер на контролери от типа на ESP32 и ESP8266, с фърмуер Tasmota [48]. Tasmota е фърмуер с отворен код, който позволява локален контрол на смарт устройства без нужда от облачни услуги [48]. За целите на предложената КФС Tasmotizer се използва при флашване и предварителна подготовка на контролери NodeMCU базирани на ESP8266, а Tasmota като фърмуер осъществява връзката между различни контролери чрез Wi-Fi мрежата към сървъра на КФС.

4.3.10 MQTT.fx

MQTT.fx е инструмент за тестване на IoT маршрути в разработването и производството [49]. Той се използва за създаването на предложената КФС, като позволява да се видят изпращаните от сензорите и крайните устройства данни и формата им като отделна тема през MQTT протокола. Освен това чрез MQTT.fx могат да се подават данни

през определена тема за която е абониран Mosquitto MQTT брокера и по този начин се тества работата на КФС, без да имаме реални сензори които са свързани към нея.

4.3.11 MG Configuration

MG Configuration (Modbus Gateway Administrator Configuration – VOLISON) е софтуер за конфигуриране на контролери като ADM-5850G , ADM-5832G и IDM-7842MG. [50]. За целите на изследването MG Configuration се използва за конфигуриране на контролера ADM-5832G използван за връзка на различни сензори (с интерфейс Modbus RS485) със сървъра на КФС.

4.4 Обобщение

Избора на софтуер е една от стъпките за реализирането на КФС. Избрания софтуер отговаря на изискванията заложи в концепцията за изграждане на системата. В същото време първоначално е частично тестван, като са проверени възможностите му за конфигуриране на системата. Но към реалното му тестване за съвместимост може да се пристъпи едва след като са подбрани всички хардуерни компоненти на системата и са реализирани предвидените в това изследване алгоритми за работа при отглеждане на различните видове животни. Затова следващата стъпка е избора на сензори и допълнителни контролери.

ГЛАВА 5. Изследване и избор на IoT изпълнителни устройства и сензори с необходимите параметри за използване в Кибер-физичната система за управление на комплекс за отглеждане на животни

На пазара има голям избор от производители на сензори, контролери, релета и други устройства, които са специализирани в изграждането на системи за контрол на животновъдни ферми. Основния проблем е във високата цена на тези материали. От друга страна е наличието на огромно разнообразие от сензори с ниска цена и съответно по-ниско качество. От значение е и средата в която се използват сензорите. За реализиране на предложената система са избрани изброените по-долу сензори.

5.1 Сензори

За целите на това изследване са разгледани характеристиките на различни сензори за измерване на температура, относителна влажност RH, амоняк NH_3 , амоний NH_4^+ , въглероден диоксид CO_2 , метан CH_4 , въглероден оксид CO, сероводород H_2S , фини прахови частици $2.5\mu\text{m}$ и $10\mu\text{m}$, скорост на движение на въздуха SAF, осветеност, диференциално налягане Δp , разтворен кислород, DO, нитрити, NO_2^- , нитрати, NO_3^- , водороден показател, pH, и за ниво на водата, като някои от сензорите са комбинирани за измерване на повече от една величина.

Сензор за температура DS18B20, Maxim Integrated – Analog Device [51], сензор за температура и относителна влажност AM2302, Aosong Electronics [52], сензори за

температура и относителна влажност SHT31 и SHT35, Sensirion [53]. За целите на изследването горните сензори се използват основно чрез контролер NodeMCU за измерване на температура и относителна влажност RH както вътре в помещенията, така и отвън.

Сензор за въглероден диоксид MH-Z19B (MH-Z19C) - Winson [54], сензор за въглероден диоксид Senseair S88 LP, Senseair [55] и Сензор за въглероден диоксид SCD30, Sensirion [53]. За целите на изследването, сензорите са тествани с контролер NodeMCU, като се използва UART протокол.

Сензор за амониак KM21, KLHA [56], като за целите на изследването е избрана версията с Modbus, която се свързва със системата посредством Modbus gateway ADM-5832G.

Сензор за метан MH-Z1341B, Winson [54], който за връзка с системата използва контролер NodeMCU.

Сензор за въглероден оксид, температура и относителна влажност - JXBS-3001-CO/TH-RS, Jingxun [57] – използва Modbus gateway ADM-5832G за връзка със системата.

Сензор за сероводород JXBS-3001-H2S, Jingxun [57] - използва Modbus gateway ADM-5832G за връзка със системата.

Сензор за фини прахови частици (PM2.5 и PM10) RS-PM-2-EX, Renke [58]. За целите на изследването е избран варианта с Modbus RS485 като за връзка със системата отново се използва Modbus gateway ADM-5832G.

Ултразвуковият анемометър за скорост и посока на движение на въздуха RS-CFSFX-N01-3-EX, Renke [58], като за връзка със системата отново е необходим Modbus gateway ADM-5832G.

Сензор за диференциално налягане A2G-50, WIKA [59]. За целите на изследването е избран сензор Вариант 1 с обхват за измерване на диференциално налягане от -100 Pa до 2500 Pa с Modbus изходен сигнал през Modbus gateway ADM-5832G.

Сензор за осветеност BH1750, ROHM Semiconductor [60] и сензор за осветеност TSL2561, ams-OSRAM AG [61] За целите на изследването сензорите се използват посредством контролер NodeMCU.

Сензор за разтворен кислород и температура TriOxmatic 700 IQ, YSI Incorporated [62], сензор за амоний и калий AmmoLyt Plus 700 IQ, YSI Incorporated [62], сензор за нитрити и нитрати NiCaVis 701 IQ NI, YSI Incorporated [62] и сензор за pH (водороден показател) SensoLyt 700 IQ, YSI Incorporated [62]. За връзка с КФС на тези четири сензора е необходимо използването на допълнителен контролер IQ SensorNet 282 или 284.

Сензор за ниво на течности SL-M5, НН ЕЛЕКТРОНИК [63], който за връзка с системата използва контролер NodeMCU.

5.2 Контролери

5.2.1 Контролер NodeMCU

Контролерът NodeMCU първоначално разработен от NodeMCU Team е продукт с отворен код. Произвежда се от различни производители като Amica, Lolin, DOIT, Devkit и много други, като има няколко версии на NodeMCU като V0.9, V1, V2 и V3. Има и две разновидности с чип CP2102 или с CH340, като при тестовете на различните варианти не се установи разлика в производителността или функционалността им. Другата разлика е в размерите на контролера като повечето са с размери близки до 48mm x 25mm, но някои платки с чип CH340 са по-широки с размери близки до 56mm x 31mm. За целите на изследването NodeMCU се използва за осъществяване на връзка между сензори, бутони за управление, релета за управление на крайни устройства, сигнални лампи и др. от една страна и сървър на КФС от друга.

5.2.2 Контролер Modbus gateway ADM-5832G

ADM-5832G [50] е индустриален Modbus gateway който може лесно да бъде използван за безпроблемно интегриране на устройства със сериен Modbus (MODBUS-RTU/ASCII) и устройства с Modbus Ethernet (MODBUS-TCP). За целите на изследването NodeMCU се използва за осъществяване на връзка между използваните сензори с интерфейс Modbus RS485 и системата. Двата порта RS-485/422 позволяват връзката на сензори с различен Baud rate като в общия случай един такъв контролер е достатъчен за да се свържат всички необходими сензори с които работят по Modbus протокол (общо до 32 броя на двата порта RS-485/422).

5.2.3 IQ SensorNet 282 и 284, YSI Incorporated

Контролерите IQ SensorNet 282 и 284 [62] осъществяват връзката между сензорите YSI, (като връзката е plug and play), и сървър на КФС. Тази връзка от своя страна може да бъде осъществена с почти всеки комуникационен протокол, включително Modbus TCP, Modbus RTU, PROFIBUS и PROFINET. YSI IQ SensorNet 282 има възможност за връзка с до 2 сензора, а 284 с до 4 сензора [62]. Те отговарят на всички изисквания на КФС и са подходящи за използване в предложената аквапонична система.

5.3 Обобщение

В тази глава са разгледани редица сензори които по характеристики отговарят както на изискванията за съвместимост на свързващия ги интерфейс, така и по обхват и резолюция спрямо функциите които се изисква да изпълняват в алгоритмите за управление на микроклимата в различните животновъдни стопанства. Избраните сензори са част от предлаганите на пазара ценово ориентирани сензори. Освен тях, на пазара се предлага голям избор на сензори на други производители, с подобни параметри и достъпна цена, които също могат да бъдат използвани за реализиране на системата.

Избраните допълнителни контролери за връзка на сензорите и крайните устройства със сървър на системата предлагат различни възможности за връзка. Броя им за изграждане на една или друга КФС зависи от броя и вида на сензорите и крайните устройства, а те от своя страна зависят и от алгоритъма за управление. При необходимост могат да бъдат използвани и други подобни контролери.

Като следваща стъпка в разработването и тестването на разглежданата КФС за управление на микроклимата в комплексите за отглеждане на животни е разработването на отделни алгоритми изразяващи спецификата и нуждите на различните видове животни.

ГЛАВА 6. Разработване на интелигентното управление на КФС за отглеждане на животни на базата на OpenHAB

Предложената КФС може да се използва за управление на микроклимата в животновъдни стопанства предназначени за отглеждане на различни по вид и предназначение домашни животни. За да бъде енергоефективна, да повишава продуктивността и подобрява здравословното им състояние, системата трябва да отговаря на строги критерии съобразени с нуждите на животните и целите на отглеждането. Много важно е да се проучи обстойно влиянието върху животните на всички параметри на средата, като е от значение дали се отглеждат за месо, мляко, яйца и т.н. Затова в това изследване са проучени условията за отглеждане и са разработени алгоритми за управление на най-масово отглежданите домашни животни. Това включва КФС за управление на микроклимата в животновъдни стопанства за отглеждане на дойни крави, за прасета отглеждани за месо, и за бройлери отглеждани за месо. Разработена е и КФС за управление на средата в аквапонична система за отглеждане на риба и растения. По-долу са разгледани изброените системи. В главата е разгледан и начина на инсталиране, конфигурация и настройка на системата като са показани основните възли и осъществяването на връзката между отделните компоненти.

6.1 Разработване на интелигентното управление на КФС за отглеждане на дойни крави

6.1.1 Специфики и изисквания към околната среда при отглеждането на дойни крави

Един от важните аспекти на функционирането на съвременните животновъдни ферми е осигуряването на оптимална и здравословна среда, както и повишаването на продуктивността на животните чрез прецизен контрол на микроклимата, постигане на по-ниска енергийна консумация на сградите и оптимални количества храна, приемана от животните. Основно изискване към всяка животновъдна сграда е тя да осигурява необходимите условия, съобразени с физиологичните нужди на настанените в нея животни чрез технологично моделиране на естествените микроклиматични фактори и постигане на желаната техногенна среда [64]. Трябва и да се наблюдава и контролира качеството на въздуха и нивата на вредни газове. Нормите са както следва: амоняк $\text{NH}_3 < 20\text{mg/m}^3$ (28ppm) [65] за млечни крави и 5mg/m^3 (7,2ppm) [66] за телета до 6 месеца; въглеродния диоксид CO_2

< 3000ppm [65], при наличие на хора < 2500ppm [67], при телета до 6 месеца < 3600 mg/m³ (2000ppm) [66]; метан CH₄ < 500mg/m³ (762ppm) [67]; въглероден оксид CO < 0,005 mg/l (4,4ppm) [65]; сероводород H₂S < 10mg/m³ (7,2ppm) [65]; температура > 5°C, за телета > 10°C [65]. Фини прахови частици < 3 mg/m³ [65]; осветеността според мястото > 30lx или > 50lx на мястото на доене, > 100lx за манипулационна зала [65]; шум < 75 dB [65]. Оптималните температури, относителна влажност и скоростта на движение на въздуха могат да се видят в [65]. При високи температури е по-важно средата да се управлява спрямо ТНІ, а не спрямо температурата.

6.1.2 Сензори и системи за управление

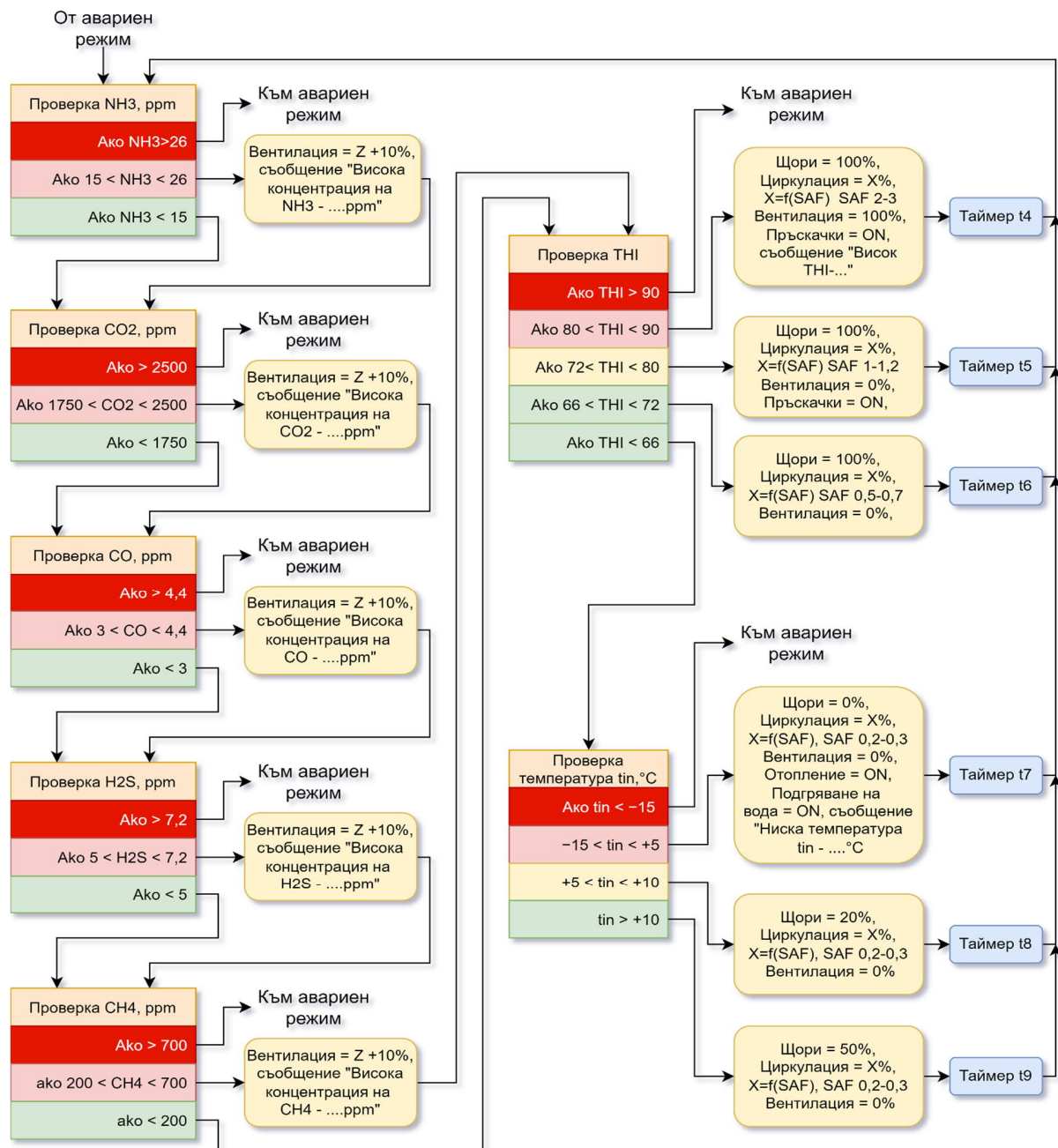
В зависимост от наличното оборудване в кравефермата, по време на първоначалната инсталация на системата е възможно да се изберат параметрите, които да се наблюдават и записват. Системата може да управлява щори (жалузи), циркулационни вентилатори, вентилация, отопление, подгряване на водата за поилките, пръскачки и осветление. В зависимост от типа на системата за контрол на средата, КФС има възможност да я управлява директно, или в случай, че системата има собствен контролер, КФС може да зададе целеви контролни стойности (чрез комуникация чрез различни протоколи) или само да я включва и изключва за определено време, когато е необходимо. Въз основа на настоящите изследвания и проучвания в КФС са зададени стойности по подразбиране за параметрите, които трябва да се поддържат. Според конкретните нужди, параметрите могат да се променят, както при първоначалната инсталация на КФС, така и впоследствие за надграждане и оптимизиране на системата. Управлението на КФС взема предвид приоритизирането на конкретни действия, които трябва да бъдат предприети, за да се осигури безопасен и оптимален микроклимат в кравефермата. Разработения алгоритъм се състои от две части, като първата се отнася за аварийен режим.

6.1.3 Алгоритъм за управление на КФС за контрол на микроклимата в кравеферма при аварийен режим

Разработения алгоритъм следи за превишаване на максимално допустимите стойности на вредните газове, ТНІ или падане на температурата под минималната. При установяване на такъв случай, се предприема промяна в положението на щорите, състоянието на вентилацията и отоплението, като във всеки случай системата изпраща съобщение до оператора със стойността превишила.

6.1.4 Алгоритъм за управление на КФС за контрол на микроклимата в кравеферма при нормален режим

Алгоритъма е показан на фигура 6.2, като при превишаване на дадена стойност над нормата преминава в аварийен режим.



Фигура 6.2 Алгоритъм за управление на КФС за контрол на микроклимата в помещение за дойни крави при нормален режим.

6.1.5 Проведени тестове на КФС за управление на микроклимата в кравеферма

Въз основа на предложените алгоритми беше разработен прототип на КФС. За сървър беше използван едноплатков компютър Raspberry PI 4, използвайки OpenHAB сървър с

отворен код. Чрез конфигурация на текстови файлове се описват връзките към сензорите, управляващите устройства, правилата за автоматизация и др. Сензори от всички описани по-горе типове бяха свързани към системата с помощта на протоколи Modbus и MQTT, за да се тества съвместимостта и възможни проблеми в комуникациите. Показанията от сензорите бяха използвани за събиране на данни и наблюдение на графики. Бяха използвани, имитиращи устройства, подобни на истинските които трябва да се управляват в реална среда във ферма за млечни крави. Към системата бяха свързани електрически нагревател, вентилатор с ШИМ управление, вентилатор с възможност за включване и изключване, обикновени и димируеми (с ШИМ) LED лампи и малка щора, задвижвана от постоянен ток двигател. Когато се изискваше от тестовете, беше използван симулиран сензорен вход през MQTT Broker, например за симулиране на висока концентрация на вредни химически газове в системата.

Тествания сървър доказва, че може да се справи с натоварването от автоматизиране на малки до средно големи животновъдни ферми. За големите ферми с голям брой сензори, изпълнителни механизми и друго оборудване за автоматизация трябва да се използва мощен персонален компютър за сървър. Бяха симулирани и тествани различни сценарии за автоматизация които могат да възникнат в реална животновъдна ферма, приложими както към големи ферми за интензивно животновъдство, така и за малки семейни ферми.

Поради невъзможността работата на системата да се провери в реална обстановка бяха извършени следните тестове. За пробата беше използвана спалня в апартамент, който има рекуперационен модул, вкарващ чист въздух в стаята. Рекуператора беше свързан към системата чрез реле, така че тя да може да го включва и изключва. Системата беше настроена да поддържа нивото на CO₂ под 2000ppm. Системата успя да поддържа нивото на CO₂ в спалнята под предварително зададената стойност, в продължение на няколко дни докато траеха тестовете, докато намиращите се в стаята хора издишваха CO₂ и концентрацията му в стаята се повишаваше.

Контролът на температурата беше тестван в празна, не добре изолирана стая с прозорци с южно изложение, чрез управление на електрически нагревател и вентилатор който изсмуква въздуха от стаята, като по този начин в нея навлиза свеж въздух от вън. В този тест системата успя да поддържа успешно стайната температура в предварително зададения диапазон (между 18°C и 20°C), въпреки допринасящите фактори като променливи външни температура и допълнително отопление от слънцето през прозорците с южно изложение в някои части на деня.

За да тестваме реакцията на алгоритъма в аварийна ситуация (висока концентрация на вредни химически газове в обора), симулирахме входни стойности на сензора извън предварително зададените безопасни граници за различните сензори - NH₃, CO₂, CH₄, H₂S, CO с помощта на MQTT Broker. Системата всеки път реагираше съответно, чрез настройване на вентилацията и на циркулационните вентилатори (в случая на 2 броя тестови вентилатора) на максимална мощност, отваряше напълно завесите (1 брой електрическа

щора) и незабавно информираше оператора за аварийна ситуация, като изпращаше имейл съобщение със концентрацията на съответния газ. Подобен тест беше извършен за нивото на фини прахови частици с размери до $2.5\mu\text{m}$ и до $10\mu\text{m}$ (ФПЧ_{2.5} и ФПЧ₁₀). За да се изпробва системата нивото за предупреждение беше намалено като при отчитане на ниво над зададеното системата изпрати съобщение със стойността.

6.2 Разработване на интелигентното управление на КФС за отглеждане на свине

6.2.1 Специфики и изисквания към околната среда при отглеждането на свине

При отглеждане на свине е необходимо строгото съблюдаване на параметрите на околната среда като температура, относителна влажност RH, скорост на движение на въздуха, както и концентрацията на амоняк NH_3 , сероводород H_2S и въглероден диоксид CO_2 . Сероводородът може да причини самостоятелно респираторни заболявания, а дори и при много ниска концентрация спомага за отслабване на имунната система на прасетата при което по-лесно се разболяват от вирусни заболявания тип А (IAV - *Influenza A virus*) например [68]. Прасетата се отглеждат при различни условия в зависимост от възрастта им и предназначението им. Те се разделят на 14 категории [65]. Не трябва да се допуска висока концентрация на токсични газове както следва: амоняк $\text{NH}_3 < 5\text{ppm}$, въглероден диоксид $\text{CO}_2 < 2500\text{ppm}$ [65], а за сероводорода H_2S според някои източници е допустима концентрация до 5ppm или дори до 10ppm [69], а според други не трябва да се допуска въобще [65]. Относителната влажност според [65] е сравнително висока, затова в топлите дни за охлаждане може да се използват системи за охлаждане с пръскачки. Скоростта на движение на въздуха, фините прахови частици, околния шум и осветеността също могат да се проверят в съответните наредби [65].

6.2.2 Сензори и системи за управление

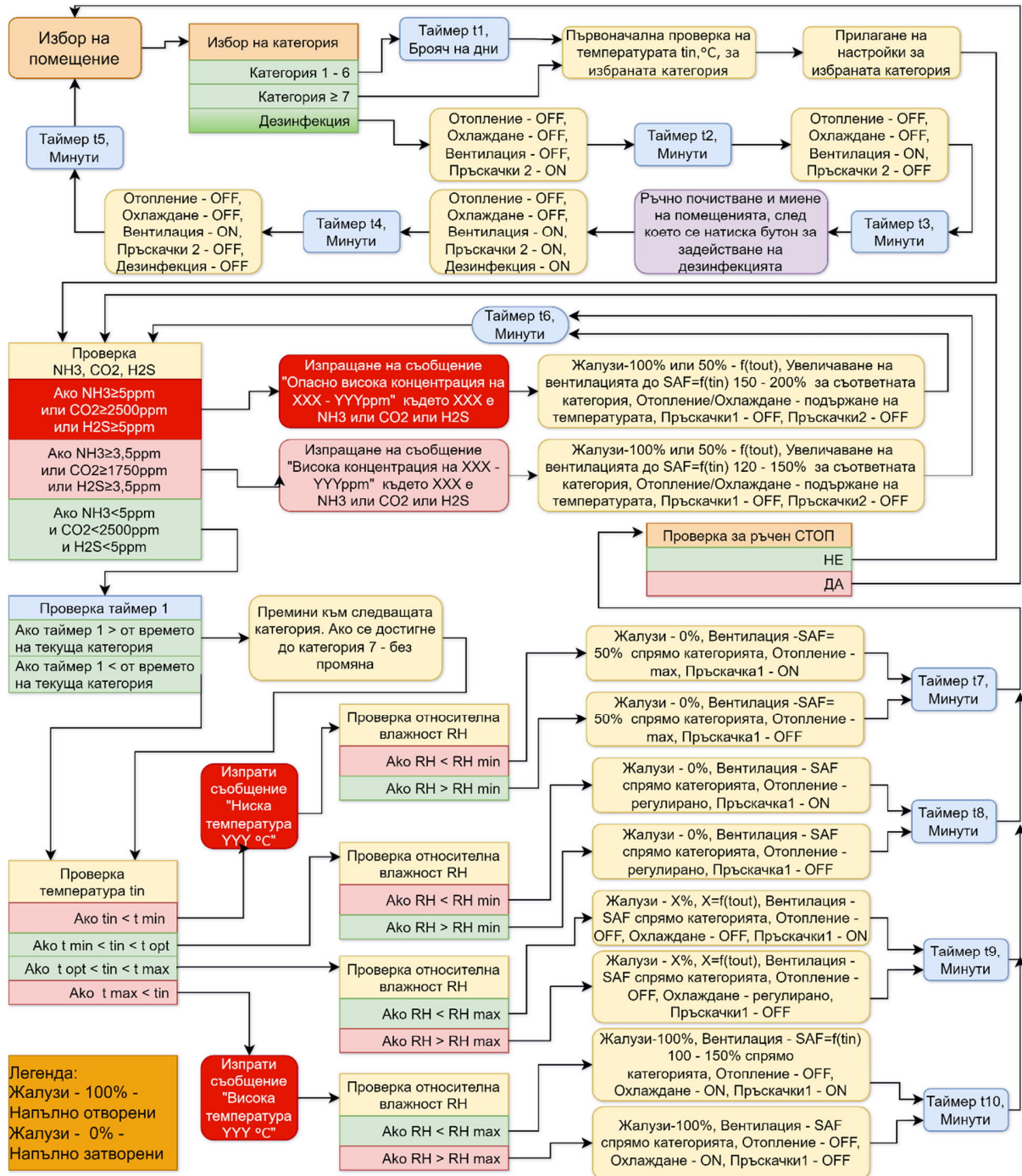
Предложената КФС има възможност за първоначален и последващ избор относно наличните системи за управление, както и на наличните сензори за измерване на необходимите параметри, като е възможно последващо разширение с нови системи и сензори. Сензорите могат да бъдат за вътрешна температура, относителна влажност в помещението, външна температура, амоняк NH_3 , въглероден диоксид CO_2 , сероводород H_2S , фини прахови частици, скорост на движение на въздуха SAF и осветеност, като първите два са задължителни. Системите които може да управлява са жалузи, вентилация за свеж въздух, отопление, охлаждане (климатична система), пръскачки за охлаждане и контрол на влажността, пръскачки за умокряне/разкисване и дезинфекция, задействане на дезинфектант и осветление, като първите три са задължителни за работата на системата.

Всички стойности за температура, влажност, скорост на движение на въздуха, максимално допустими концентрации на вредни газове могат да се променят по усмотрение на технолога в зависимост от породата и селекцията на свинете. Освен това могат да се създават допълнителни категории извън посочените 14 броя, в които да се настроят параметри подходящи за отглеждане на прасета от различни категории в едно помещение.

Така могат да се ползват готови настройки без да е необходимо да се променя всеки параметър по отделно.

6.2.3 Алгоритъм за управление на КФС за контрол на микроклимата в свинеферма

Прасетата се отглеждат в различни помещения, спрямо категорията в която попадат. Преди всяко въвеждане на животни в дадено помещение, задължително се извършва ръчно почистване и дезинфекция. Условно алгоритъма (Фигура 6.5) може да бъде разделен на две.



Фигура 6.5 Алгоритъм за управление на КФС за контрол на микроклимата в свинеферма.

В първата част се извършват началните настройки и се изпълнява цикъла за почистване и дезинфекция когато е избран. Във втората част се извършва автономното поддържане на средата докато не се промени категорията на прасетата или цикъла не бъде спряно ръчно.

6.2.4 Проведени тестове на КФС за управление на микроклимата в свинеферма

Бяха проведени тестове с изградена опитна постановка в лаборатория, като за целта беше изградена КФС включваща част от всички възможни компоненти изброени по горе, а именно Raspberry Pi4 като сървър, сензори за температура и влажност AM2302 в помещението и отвън, сензор за CO₂ – SCD30. Системата имаше на разположение за управление електрически нагревател, рекуператор за свеж въздух които изпълнява ролята на вентилация, и ролетна щора (вместо жалузи) която може да се позиционира в различно положение. Тестовите бяха направени при външна температура по-ниска с около 15 градуса от зададените стойности които трябва да се поддържат а именно за категория 5 – 20/23/25°C, като таймера за категорията беше намален от 7 дни на 7 часа за целите на изследването. При задаване на категорията и стартиране на системата, температурата в лабораторията беше 18°C. Системата изпрати съобщение по имейл за ниска температура, позиционира щората в затворено състояние, стартира отоплението и включи рекуператора, като при достигане на минималната температура от 20°C намали мощността на нагревателя на 50% чрез използване на ШИМ. При достигната оптимална температура от 23°C системата изключи нагревателя. Температурата спадна до 22,4°C при което нагревателя пак се включи на 50%. След 15 минути в помещението беше включен втори нагревател, който не е свързан със системата, за да симулира затопляне. След като температурата премина оптималната със зададена стъпка от 0,2°C а именно 23,2°C, щората се отвори на 30%. Когато температурата достигна 24°C, вторият нагревател беше изключен и температурата започна да спада. За по бързо охлаждане беше отворен прозорец, като температурата започна да спада по бързо. Междувременно системата беше преминала от категория 5 на категория 6. При достигане на 19.8°C системата затвори ролетната щора. Тогава беше затворен и прозореца за да се спре интензивното охлаждане. При достигане на 19.4°C, системата отново включи нагревателя.

Беше извършен и тест за аварийна ситуация с висока концентрация на CO₂. За целта максималната стойност беше намалена от 2500ppm на 1000ppm. Рекуператора беше заменен от вентилатор на който можем да управляваме оборотите. Беше зададена категория 5, като нагревателя поддържаше зададената температура, щората беше затворена, а вентилатора се въртеше с 1200rpm. При достигане на CO₂ над 1000ppm, оборотите на вентилатора се повишиха до 2500rpm, щората се отвори на 100% и системата изпрати имейл за висока концентрация на CO₂. За да постигнем понижаване на концентрацията CO₂, както и на температурата беше отворен прозорец. Докато течеше цикъла на проветряване, температурата се понижи, под минималната, при което щората се затвори на 50%, а нагревателя се включи на максимална стойност.

6.3 Разработване на интелигентното управление на КФС за отглеждане на бройлери

6.3.1 Специфики и изисквания към околната среда при отглеждането на бройлери

Отглеждането на бройлери изисква повече контрол върху околната среда, отколкото отглеждането на други месодайни животни като крави или овце, например. Всяко отклонение от оптималните параметри увеличава смъртността, особено в първите дни на брудинга, а в последствие намалява продуктивността [70].

При отглеждане на бройлери системата за контрол трябва да следи параметри като температура, относителна влажност RH, скорост на движение на въздуха SAF, диференциално налягане Δp и концентрации на вредни газове като амоняк NH_3 [71], въглероден диоксид CO_2 , въглероден оксид CO и сероводород H_2S [65,70]. Прахът и микробното замърсяване също трябва да се наблюдават [70]. Важни фактори са интензитетът и продължителността на осветлението в помещенията и нивото на шум [65,72,73,74]. Неправилната осветеност може да доведе до канибализъм, умора на пилетата, различни заболявания и дори смърт [75,76,77]. Някои автори препоръчват 16 часа светлина и 8 часа тъмнина [78,79], докато други съобщават за по-висока продуктивност с редуване на по-кратки светли и тъмни периоди [80,81,82]. Също така е важно да се отбележи, че най-важният параметър, който определя зоната на комфорт на пилетата, е усещаната температура [70,83,84,85]. Често е различна от температурата на въздуха в помещенията и зависи от много фактори: температура на въздуха, температура на пода в помещението, относителна влажност RH, скорост на въздушния поток SAF, възраст и оперение на пилетата. Когато температурата на въздуха, влажността и скоростта на вятъра са в допустими граници, усещаната температура съответства на температурата в помещенията. При по-високи температури, за да не се излиза от зоната на комфорт, трябва да се увеличи скоростта на движение на въздуха в помещението [70]. С предложените методи усещаната температура може да бъде изчислена и използвана за работа на системата. Когато температурната зона се поддържа правилно, енергийният излишък от храненето се използва за растеж и наддаване на тегло, а не за осигуряване на температурен комфорт на бройлера. Тази зона се определя от усещаната температура.

За да работи системата правилно, сензорите за вътрешна температура t_i , вътрешна относителна влажност RH, скоростта на движение на въздуха SAF, амоняк NH_3 , въглероден диоксид CO_2 , въглероден оксид CO, сероводород H_2S и фини прахови частици трябва да са монтирани в жизнената зона на пилетата, което значи до 20 сантиметра от пода. Изключение правят датчиците за измерване на температура под покрива на сградата t_{ih} , както и тези за външна температура t_o , външна относителна влажност RH_{out} и диференциално налягане Δp .

6.3.2 Видове вентилация в птицеферма

Вентилационната система трябва да съдържа определен брой вентилатори които изсмукват въздуха от вътрешността на сградата, при което свежия въздух постъпва през множество разпределени клапи с регулируемо отваряне или чрез големи тунелни отвори в

единия край на сградата. Могат да се обособят три типа вентилация: минимална вентилация, преходна вентилация и тунелна вентилация [70].

6.3.3 Сензори и системи за управление

Необходимо е да се следят вътрешна температура на нивото на пилетата, вътрешна температура до тавана, относителна влажност в помещението, относителна влажност от вън, външна температура, амоняк NH_3 , въглероден диоксид CO_2 , въглероден оксид CO , сероводород H_2S , фини прахови частици, скорост на движение на въздуха SAF , диференциално налягане вън/вътре, осветеност в помещението. Сградата трябва да разполага и с необходимите системи за контрол на микроклимата. За географските ширини на България това са отопление, вентилатори за свеж въздух (наричани за краткост „Вентилация“), циркулационни вентилатори (наричани по долу „Циркулация“), тунелни вентилатори (наричани „Тунелна вентилация“) клапи за свеж въздух, тунелни вентилационни отвори (тунелни клапи), изпарителни охлаждателни писти и осветление.

6.3.4 Алгоритъм за управление на КФС за контрол на микроклимата в птицеферма

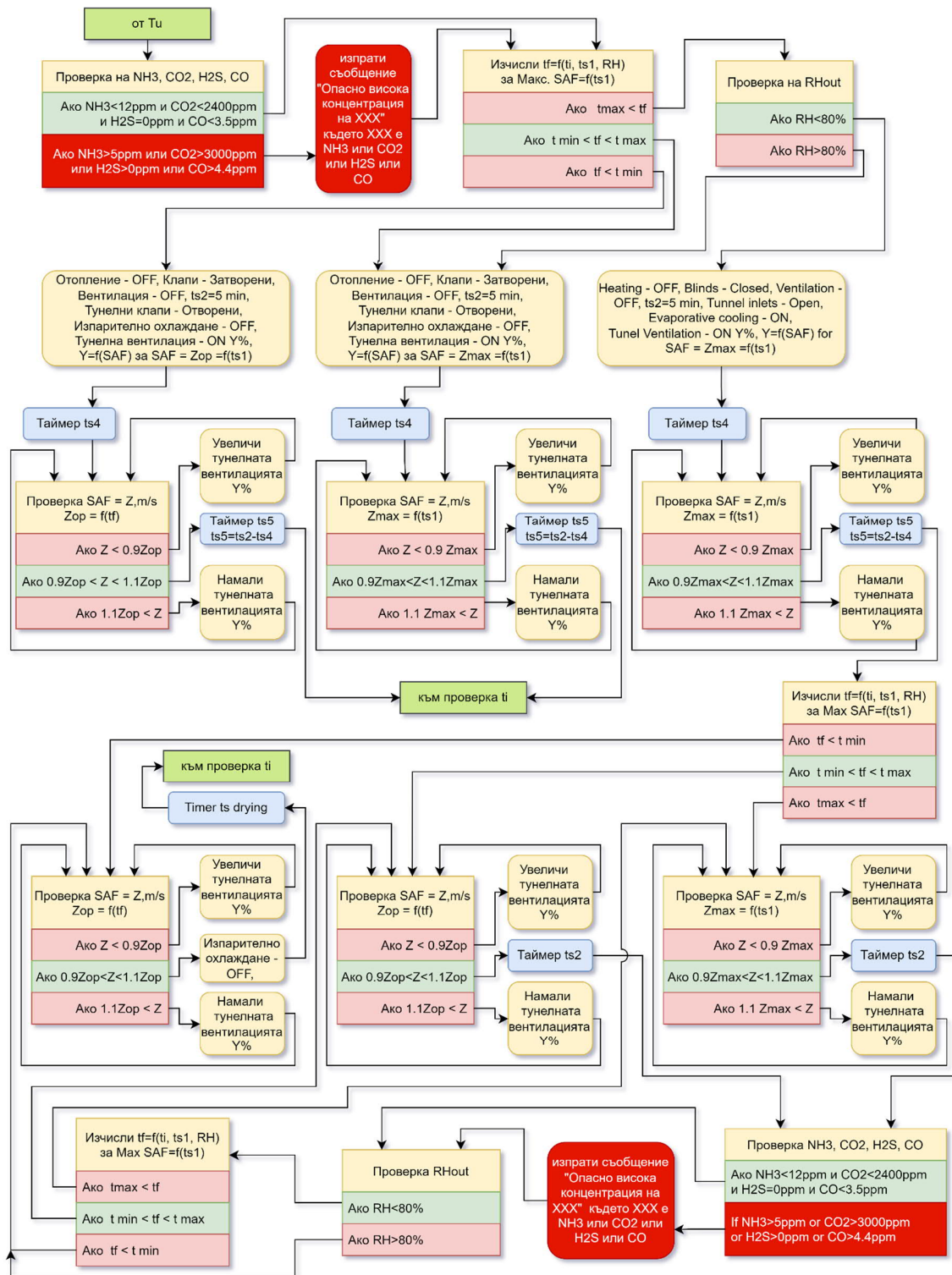
В така предложения алгоритъм за автономно управление в режим на тунелна вентилация се контролира не измерената температура t_i , а усещаната температура t_f . Системата изчислява усещаната температура според предварително зададените зависимости, които са взети от различни източници [83,84,85,86], като данните са допълнени чрез интерполация и екстраполация. При стойности на относителна влажност RH , по-високи от RH_{max} за съответната възраст на бройлерите, усещаната температура t_f нараства с предварително изчислени стойности, определени чрез връзката им с THI . Можем да получим стойността на усещаната температура t_f по следната формула:

Формула 6.1

$$t_f = t_i - t_{cw} + t_{cRH}$$

Където t_{cw} е температурна корекция зависеща от скоростта на въздуха SAF , а t_{cRH} е температурна корекция зависеща от относителната влажност RH .

Разработени са два алгоритъма за управление на системата, като първият е за подготовка на помещението, преди настаняване на пилетата, който поддържа оптимална температура в сградата за адаптация на температурата на пода и стените. Работният алгоритъм може да бъде разделен на основна част и четири клона. Спрямо установените условия в сградата, алгоритъма преминава в един от клоновете, като първите два съответстват на условия за минимална вентилация, третия за преходна вентилация и четвъртия за тунелна вентилация. В първите три клона системата поддържа оптималните условия за отглеждане, като температура, относителна влажност и скорост на движение на въздуха, като през предварително определено време се връща в началната част на алгоритъма. Ако системата премине в четвъртия клон (Фигура 6.11), тя започва да работи в нов затворен цикъл при който трябва да се изпълнят определени условия преди излизането от него. Освен това системата започва да се управлява спрямо усещаната температура t_f .



Фигура 6.11 Алгоритъм за управление - клон за тунелна вентилация T_u .

6.3.5 Проведени тестове на КФС за управление на микроклимата в птицеферма

Поради невъзможността да се създаде експериментална постановка включваща всички видове сензори и управляващи системи, както и това, че не е внедрена в работеща птицеферма, тестването на системата се проведе на два етапа. В първия етап всички сензори бяха свързани към системата и тествани за четене и запис на данни. Използвани са следните сензори: AM2302 сензори за температура и влажност, SCD30 сензор за CO₂, Modbus версията на A2G-50 сензор за диференциално налягане и RS-CFSFX-3-EX за скорост на вятъра. Сензори за фини прахови частици и осветеност са тествани в предишни експериментални постановки на системите за управление на микроклимата в свинеферма.

Във втория етап, вместо реални данни от сензорите, бяха изпращани синтезирани данни за температура, влажност, диференциално налягане и наличие на вредни газове чрез MQTT Broker. Това позволи да се симулират различни условия за проверка на работата на системата.

По време на изпитването бяха зададени следните начални условия: t_{s1} -14 дни, и максимален брой на бройлерите - N. След това системата зададе t_{min} - 24 °C, t_{max} - 27 °C, t_{opt} - 25,5 °C. При стартиране на системата данните се изпращат към нея на всеки 30 секунди. Таблица 6.13 показва само част от редовете, където някои от данните са променени.

Минута	t_i , °C	t_o , °C	t_{ih} , °C	Δp , Pa	CO ₂
0'	22	5	26	25	500
4'	22	15	22	25	500
8'	26	15	30	25	500
14'	25	15	30	25	500
19'	25	15	25	25	2500
24'	24.5	15	25	25	3500
27'	25	15	25	25	500

Таблица 6.13 Симулирани данни подавани чрез MQTT Brocker.

Системата стартира по следния начин. Първо отвори свързаната щора, изпълняваща ролята на клапа, до обозначената позиция 2 от общо седем позиции. Стартира първия вентилатор, изпълняващ ролята на вентилатор за свеж въздух, на зададената скорост, съответстваща на позиция 2 на щората и включи нагревателя на 100%. След 30 секунди системата изключи вентилатора, затвори щората и включи втория вентилатор изпълняващ ролята на циркуляционен вентилатор.

На 5-та минута цикълът приключи и алгоритъмът стартира нов, а системата провери температурата t_i и предприе следните действия: изключи циркуляционния вентилатор, включи вентилатора за свеж въздух и отвори щората до позиция 3. Отоплението остана на пълна мощност. След 30 секунди щората беше затворена и вентилаторът спря.

На 10-та минута системата отново провери температура t_i и превключи от режим на минимална вентилация към режим на преходна вентилация, тъй като температурата t_i е по-висока от t_{opt} . Нагревателят беше изключен, щората беше отворена до позиция 4 и вентилаторът а свеж въздух беше включен на съответната мощност.

На 15-та минута системата измери температурата t_i и превключи от режим на преходна вентилация към режим на минимална вентилация. Нагревателят се включи с ШИМ на 10%, щората се премести от позиция 4 на позиция 3, а вентилаторът за свеж въздух превключи на съответната мощност за дадената позиция на щората. След 30 секунди вентилаторът спря, щората се затваря и циркулационният вентилатор се включва отново.

На 20-та минута системата измери температура t_i и установи ниво на въглероден диоксид CO_2 над 80% от допустимата стойност. Последваха следните действия: щората се отвори до позиция 4 вместо 3, вентилаторът за свеж въздух беше включен на съответната мощност, нагревателя остана да работи на 10%, а циркулационният вентилатор беше изключен. След 30 секунди вентилаторът за свеж въздух беше изключен и щората затворена.

На 25-та минута системата измери температура t_i и ниво на въглероден диоксид CO_2 над допустимата норма и влезе в аварийен режим за 3 минути. След което изпрати съобщение „Предупреждение: високо ниво на CO_2 - 3000ppm“. Щората се отвори до позиция 4, вентилаторът за свеж въздух се включи на съответната мощност и нагревателят увеличи мощността си до 50%.

На 28-та минута системата измери температура t_i и ниво на въглероден диоксид CO_2 под допустимата норма. Щората се отвори на позиция 3, вентилаторът за свеж въздух превключи на съответната мощност и нагревателят се включи на 10%.

Тестът по-горе показва, че системата (алгоритъмът) може успешно да превключва към различни режими на вентилация, както и да влиза и излиза от аварийен режим.

6.4 Разработване на интелигентното управление на КФС за отглеждане на риба и растения в аквапонична система по метода на дълбоководните култури

6.4.1 Специфики и изисквания към среда при отглеждането на аквакултури в аквапонична система

Има едно основно изискване за нормална работа на една аквапонична система, и това е постигане на баланс на средата. Един от най-важните показатели е качеството на водата, което се изразява в нейната годност за определени приложения. В зависимост от предназначението на водата, има определени параметри, които трябва да бъдат достигнати, за да се определи качеството на водата. Тези параметри имат различни стойности за рибите, за растенията и за правилното развитие на бактериите. Следователно е необходимо да се намери златната среда, при което всички организми съжителстват в симбиоза [23,87]. В една аквапонична система за постигане на баланс е необходимо да се следи температурата на водата, водородния показател pH, твърдостта, разтвореният кислород (DO), разтвореният

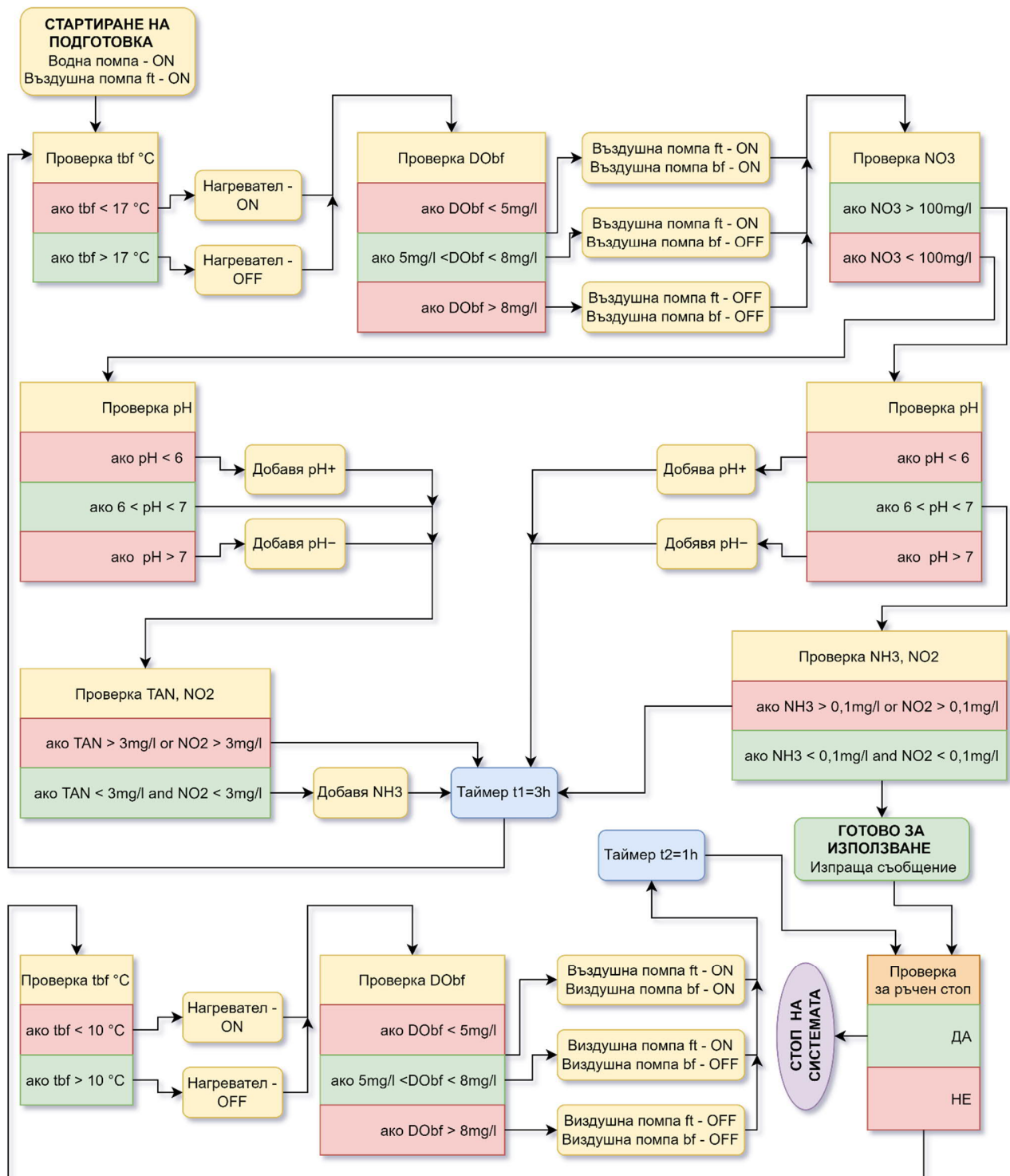
въглероден диоксид (CO_2), наличието на амоняк (NH_3), нитрити (NO_2^-), нитрати (NO_3^-), алкалността, както и развитието на различни бактериални групи [23].

6.4.2 Компоненти на аквапоничната система

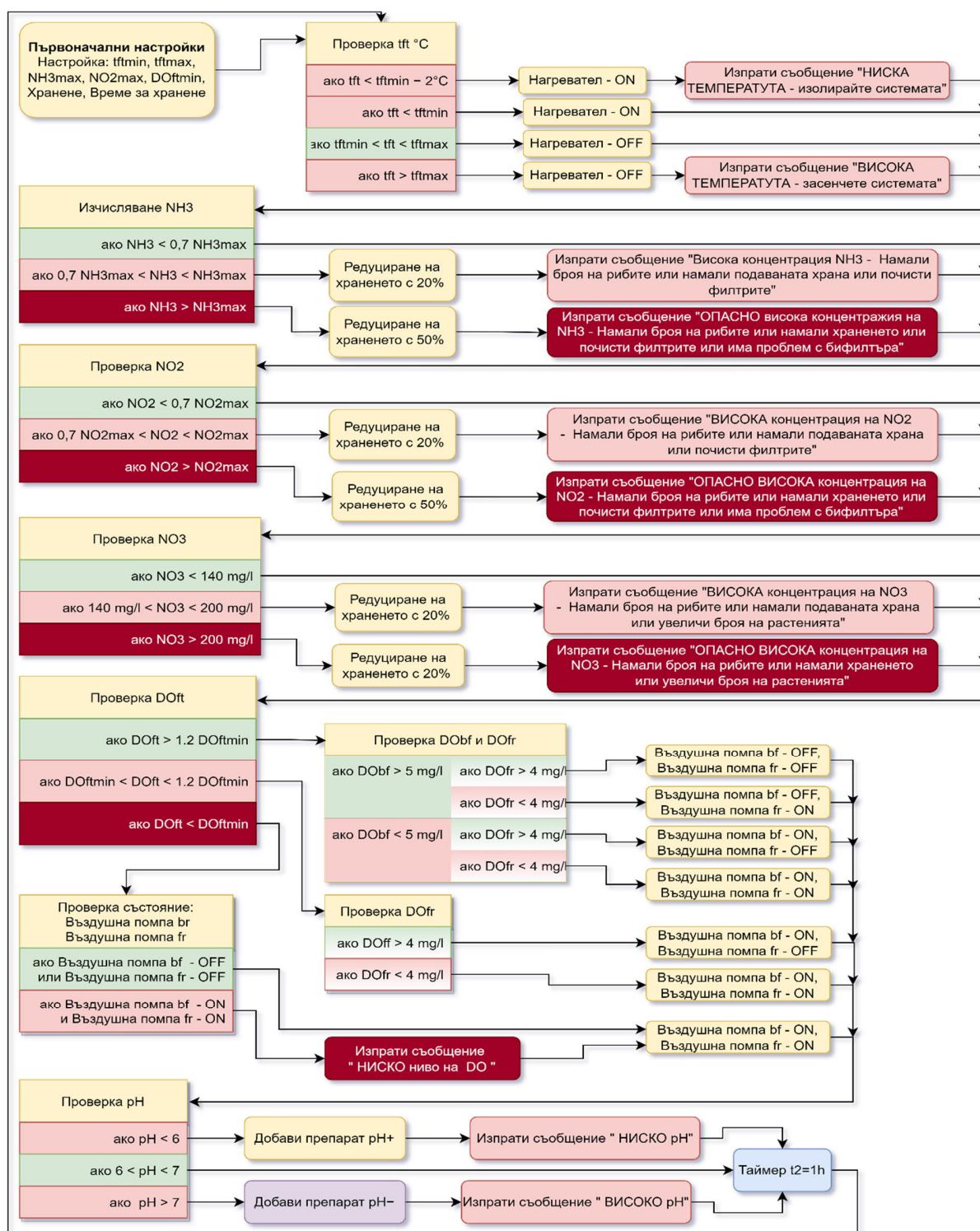
Аквапоничната система, базирана на метода на дълбоководните култури DWC, трябва да съдържа следните компоненти: резервоар за риба, механичен филтър, биофилтър, корита за отглеждане на растения (плаващи лехи), помпа за циркулация на водата, въздушни помпи с въздушни камъни (аератори) и тръбна мрежа. Освен това са необходими сензори и задвижващи механизми за внедряване на предложената Кибер-физична система за измерване и регулиране на параметрите на водата. Системата трябва да има сензори за измерване на температурата на водата (в резервоара за риба и биофилтъра), разтворения кислород DO (в резервоара за риба, биофилтъра и плаващите лехи), нитрити NO_2^- , нитрати NO_3^- , pH и амоний NH_4^+ (в резервоара за риба). За да се определи концентрацията на общия амонячен азот TAN и амоняка NH_3 , в този случай е използван метод за изчисление, базиран на концентрацията на NH_4^+ , в зависимост от pH и температурата на водата. Измерването и контролирането на тези параметри в определени граници определя баланса, който трябва да се поддържа в аквапоничната система. Поддържането на този баланс чрез контролиране на горните параметри на свой ред определя изискванията към КФС. Необходимите изпълнителни механизми са както следва: водна помпа, шнек за добавяне на pH^- , шнек за добавяне на pH^+ и електромагнитен вентил за допълване с вода (в биофилтъра); нагревател и шнек за подаване на храна за рибите (в резервоара за риба); въздушна помпа (в резервоара за риба, биофилтъра и плаващите лехи).

6.4.3 Алгоритъм за управление на КФС за контрол на средата в аквапонична система

Разработени са два алгоритъма за управление на системата, като първия осигурява подготовката и бактериалното развитие преди заребяването и засаждане на растенията (Фигура 6.15), а втория поддържа баланса в аквапоничната система (Фигура 6.16).



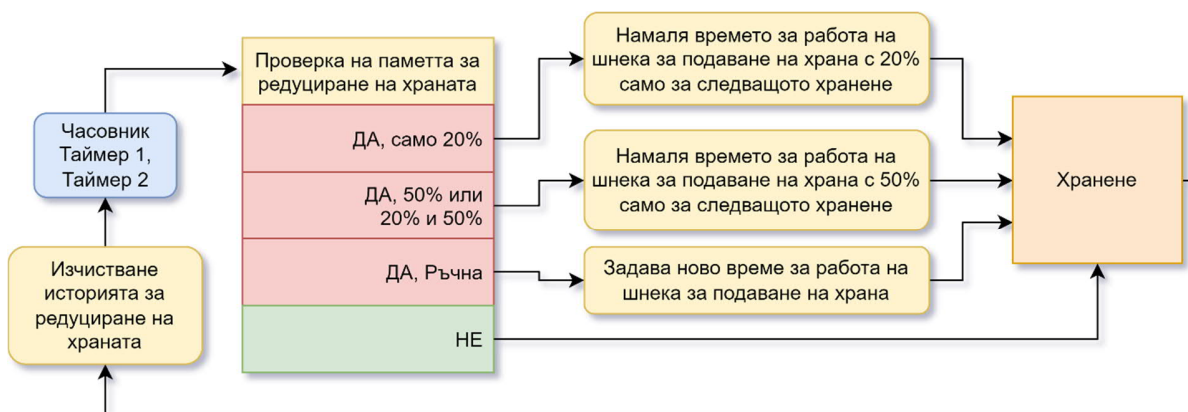
Фигура 6.15 Алгоритъм за стартиране и бактериално развитие на аквапонична система.



Фигура 6.16 Работен алгоритъм.

6.4.3.3 Цикъл на хранене

Цикълът на хранене е показан на Фигура 6.18. За постигане на баланс на системата, ако се установи превишаване на нормите на NH_3 , NO_2 или NO_3 системата ги контролира чрез промяна на количеството подавана храна и записва в паметта си корекции за следващото хранене.



Фигура 6.18 Алгоритъм за хранене в аквапонична система

6.4.4 Проведени тестове на КФС за управление на средата в аквапонична система

За тестовите на системата е реализирана опитна постановка със сървър Raspberry Pi 4, 8GB и операционна система OpenHAB 3.0. Разработен е софтуер за управление на аквапоничната система съгласно горните алгоритми. Тестването на КФС в реална аквапонична система би отнело много време, като тестовите трябва да се извършват на места с различна твърдост на водата. Затова бяха направени тестове за работата на системата в лабораторни условия. За тази цел софтуерът и хардуерът бяха тествани чрез предаване на синтезирани данни чрез MQTT Broker, вместо използване на сигнали от съответните сензори. Ефективността на системата беше анализирана с данни, които биха били измерени в реална ситуация, включващи получени синтезирани данни за отклонение на температурата в резервоара за риба и биофилтъра, степента на разтворен кислород в резервоара за риба, биофилтъра и плаващите лехи, както и нивата на нитрити, нитрати, рН и амоний NH_4^+ в резервоара за риба. Получените данни за амоний NH_4^+ се преобразуват в концентрация на амоняка NH_3 и общ амонячен азот TAN чрез изчисление. Управляващите механизми бяха заменени със сигнални лампи, отчитащи времето на работа на всяка от тях. Проверена е и коректността на изпратените съобщения до оператора. Когато данните бяха изпратени чрез MQTT брокера, те бяха записани в паметта и станаха достъпни за четене от системата. При подаване на нови данни чрез MQTT Broker, ако по някаква причина, те не достигнат до сървъра, системата отчита последните записани стойности като актуални. Това беше направено, защото времето за отчитане на точни стойности за някои от наблюдаваните

параметри във водата може да достигне няколко минути или дори повече от 10 минути. Но това не представлява проблем, тъй като аквапоничната система е доста инертна.

През определен интервал от време данните се подават към системата. Системата е настроена на $t_{bfmin} = 17\text{ }^{\circ}\text{C}$, $5\text{ mg/L} < DO_{bf} < 8\text{ mg/L}$, $6 < pH < 7$, TAN и NO_2^- по-големи от 3 mg/L , докато NO_3^- достигне стойности, по-големи от 100 mg/L , след което те трябва да бъдат намалени до стойности, по-малки или равни на $0,1\text{ mg/L}$, при което трябва да се отчете готовността на системата. При четене на записаните данни, системата включва нагревателя и въздушните помпи в резервоара за риба и биофилтъра, активира хранващия шнек (за подаване на амоняк) и шнека за намаляване на pH според зададените параметри. Изчислените стойности за TAN и NH_3 също могат да бъдат проверени. Чрез проследяване на следните стойности на параметрите беше установено, че системата работи правилно според зададените данни. След прочитане на стойностите в последната колона до оператора беше изпратено съобщение по имейл, че цикълът на стартиране е завършен.

Работният цикъл на системата също може да бъде проследен със следните зададени начални условия за целите на изследването: $t_{fmin} = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_{fmax} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$, $NH_{3max} = 0,4\text{ mg/L}$, $NO_{2max} = 0,4\text{ mg/L}$, $DO_{fmin} = 4\text{ mg/L}$, време на работа на шнека за подаване на препарати за регулиране на pH = 12 мин., време на работа на шнека подаване на храна = 18 мин., часове в които се подава храна 12:30 и 19:00 часа. Времето за работа на шнека е настроено да бъде много по-дълго от действителното, така че работата на системата да може да се следи по-лесно по време на тестовете. Тестът е стартиран в 10:00, с време на цикъл от 1 час. Системата контролира коректно въздушните помпи в биофилтъра и плаващите лехи, нагревателя и pH шнековете. В 12:30 шнека за подаване на храна се задейства в зададения час. В 13:00 часа, когато беше открито ниско ниво на pH, в допълнение към задействането на шнека, беше изпратено съобщение със стойността на pH. При следващия цикъл, когато се установи висока температура, системата също изпрати съобщение със стойността и. В 15:00 часа беше изпратено съобщение за високо ниво на NO_2^- над 70 процента от допустимата стойност със съвет за намаляването му.

Освен това беше записана корекция за намаляване на времето на работа на шнека за подаване на храна с 20%. В 17:00 часа бяха отчетени нивата на pH и NH_3 , които са по-високи от допустимите, и беше изпратено съобщение с техните стойности със съвет как да се коригират. Освен това беше записана 50% корекция на времето на работа на шнека за подаване на храна. Времето за следващото хранене беше намалено наполовина. Системата също така реагира както на високите стойности на NO_3^- , така и на ниската температура в последния цикъл на при проведените тестове.

6.5 Инсталиране и конфигуриране на системата

Първичната инсталация включва инсталиране на OpenHABian на сървър на КФС, след което е необходимо да се инсталира допълнителен софтуер и да се настрой системата за работа. Тези инсталации могат да бъдат направени през команден ред, например през Solar-PuTTY, или друг терминал, като част от допълнителния софтуер може да бъде

инсталиран директно през меню. След това се редактират съществуващи текстови файлове и се създават нови такива за да се конфигурира системата. В директория `openHAB-conf` и поддиректории в нея са намират и създават файловете които конфигурират системата. Въпреки, че те са достъпни директно в сървъра или през терминал, най-удобния начин за тяхното създаване и редакция е през Visual Studio Code. Основни файлове за конфигурация са „`addons.cfg`“, „`basicui.cfg`“, „`runtime.cfg`“ и други. За конфигуриране на системата е необходимо създаване на по един файл от вид или за по прегледно множество файлове, които са позиционирани в определени папки. Това са файлове с разширения `persist`, `things`, `items`, `rules` и други в които се извършва същинското дефиниране на системата. В тях се описва връзките между физическите и виртуалните компоненти и правилата за работа на системата.

6.6 Обобщение

Разработените алгоритми за управление на различните животновъдни стопанства имат високо ниво на автономност и позволяват управлението на средата да се извършва без намесата на персонала, след като се въведат първоначални настройки. КФС може да следи и управлява различни параметри на средата, като това зависи от инсталираните различни видове сензори и крайни устройства за управление, като за най-голяма ефективност е необходимо тя да съдържа пълния набор компоненти изброени по-горе.

Системата има възможност зададените по подразбиране диапазони на подържаните параметри да бъдат променяни през графичния интерфейс, спрямо конкретните нужди. Това може да бъде продиктувано от изисквания към различните породи животни или по усмотрение на технолога. Диапазоните на промяна на параметрите се определят при конфигуриране на системата като винаги могат да се променят при нужда. Това може да бъде извършено и дистанционно през конзолата за достъп с `Solar-PuTTY` или друг терминал, или през Visual Studio Code който е свързан към системата.

За осъществяване на достъп на потребителя до системата е необходимо разработването на потребителски интерфейс, който да позволява удобно наблюдение на параметрите и управление системата. Това е разгледано в следващата глава.

ГЛАВА 7. Изследване и разработка на графичен интерфейс за КФС за интелигентно управление на комплексите за отглеждане на животни с възможност за дистанционно управление през Интернет, базиран на OpenHAB

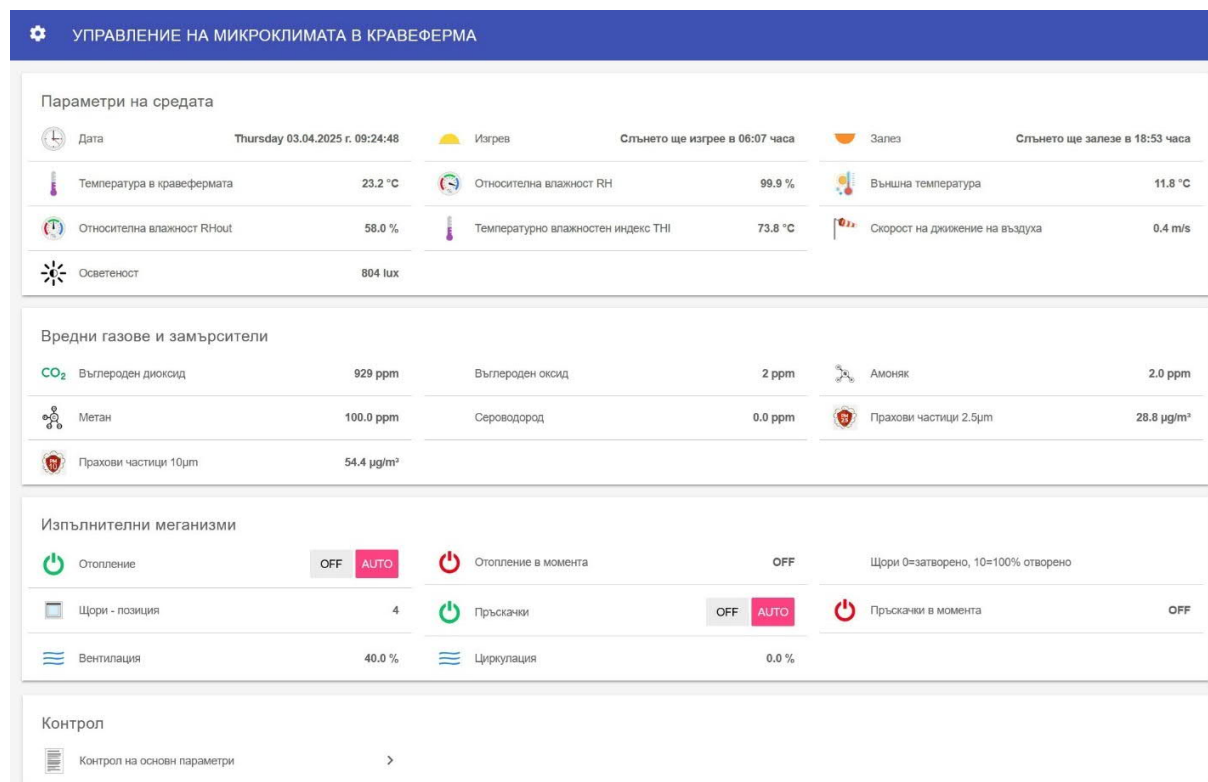
Графичният потребителски интерфейс (GUI - graphical user interface) или накратко графичния интерфейс е вид потребителски интерфейс, чрез който потребителите взаимодействат с електронни устройства, чрез представяне на визуални индикатори. В случая, разработения GUI за КФС за управление на комплексите за животни спомага за наблюдение на параметрите, контролиране и регулиране на средата.

За целите на изследването са разработени и тествани два вида GUI, които могат да работят едновременно на системата, без да си пречат. Те се базират на Basic UI и HABPanel в OpenHAB. Всеки от тях има различни предимства като те са разгледани по-долу. Освен това е разработен и конфигуриран панел за графично показване на параметрите на системата в Grafana. Всичките споменати елементи са базирани на уеб интерфейс.

7.1 Разработка на GUI на базата на Basic UI

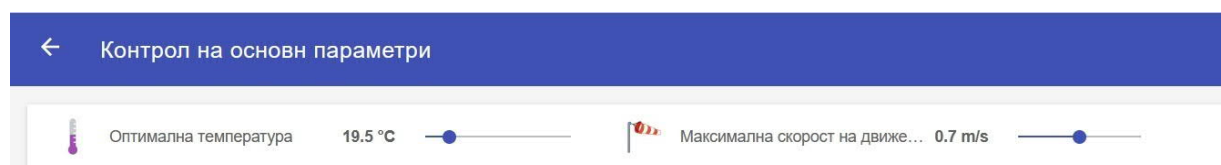
За пример разглеждаме основният графичен интерфейс на КФС за управление на микроклимата в кравеферма разработен на базата на Basic UI. На фигура 7.1 е показан примерен изглед на интерфейса свален от монитор на персонален компютър. В горния панел могат да се видят наблюдаваните параметри на средата в момента. Във втория панел е показана измерената концентрация на вредни газове. В зависимост от броя на сензорите в помещението, в панелите могат да се добавят и премахват сензори, броя на панелите може да се променя и т.н. При наличие на няколко сензора от един вид в едно помещение, например за температура, системата може да се конфигурира така, че да показва средната стойност и да се управлява спрямо нея.

В третия панел са показани изпълнителните механизми, тяхното състояние (включено, изключено, позиция, скорост и т.н.) и бутони за настройки на работата им в системата.



Фигура 7.1 Основен GUI на КФС за управление на микроклимата в кравеферма базиран на Basic UI.

Четвъртия панел е конфигуриран за вход в нова страница която отделя контрола на основни параметри които не е необходимо да се променят често, като оптималната температура или ограничаване на максималната скорост на движение на въздуха (Фигура 7.2).



Фигура 7.2 Контрол на основни параметри

Този GUI е подходящ за всякакви устройства, от големи и малки монитори на персонални компютри, таблети или дори смартфони, като страницата се променя автоматично спрямо големината и резолюцията на екрана.

7.1.1 Конфигуриране на GUI базиран на Basic UI

Конфигурацията на страницата на основния GUI се извършва чрез създаване на текстови файл с разширение .sitemar в папка sitemar на сървъра на КФС. При него чрез текст описваме всеки панел, елемент или под страница, като за всеки елемент има определени правила за описване. Елементите включват дефиниране на името на страницата, името на отделните панели, името на променливата която искаме да се показва и т.н. За всеки елемент са дефинирани икона, мерна единица, формат на показване на величината и име за показване.

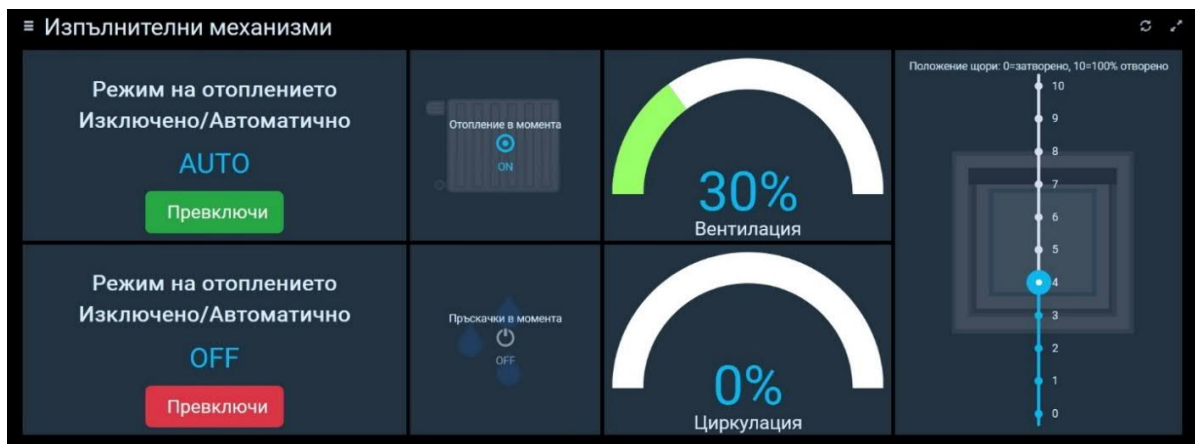
7.2 Разработка на GUI на базата на HABPanel

Графичния интерфейс, разработен на базата на HABPanel (Фигура 7.6) има някои предимства, но и недостатъци пред основния интерфейс разгледан по-горе. И при него може да се разработят няколко варианта с различен изглед и разположение, така че да е удобно използването за различни цели. GUI на базата на HABPanel е по-подходящ за големи екрани, но може да се конфигурира и за по малки. При него освен стойностите на параметрите на системата, може да бъде настроен и цветен код, като за стойности в норма цвета например да бъде зелен, при по-високи стойности да става оранжев, а при стойности над нормата да е червен.



Фигура 7.6 Превключване между прозорци с показания и настройки.

При избор на „ИЗПЪЛНИТЕЛНИ МЕХАНИЗМИ“ се показват същите контроли и данни както в Basic UI, но показани по различен начин (Фигура 7.7).



Фигура 7.7 Изпълнителни механизми HABPanel.

7.2.1 Конфигуриране на GUI базиран на HABPanel

При конфигурирането на HABPanel имаме много повече свобода при оформянето панела. Освен стандартните опции които предлага системата за избор на компоненти за показване, може да се избере и разработи шаблон, който се конфигурира чрез написване на код при който имаме пълна свобода на избор за всеки един компонент като шрифт, размер и цвят на текст, размер и цвят и форма на бутон, плъзгач или друг компонент, променящ се цвят на текст, бутон или надпис в зависимост от състоянието му (например включено или изключено) и т.н.

Заклучение

В дисертационния труд са разработени алгоритми за управление на микроклимата в различни животновъдни ферми, както и за контрол на средата в аквапонична система. Разгледани са подобни системи на световноизвестни производители и други иновативни разработки, като е направен сравнителен анализ с предимства и недостатъци спрямо предложената система.

При проведените тестове бяха подбрани компоненти като сензори, контролери и управляващ компютър които отговарят на техническите изисквания за изграждане на системата. Освен това бяха тествани за продължителен период от време, в който да се установи тяхната пригодност и издръжливост.

Беше избран и тестван различен софтуер, за да се провери дали е подходящ за създаване на предложената КФС, като се установи, че с него тя може да работи в реално време, без видими забавяния. Беше установено, че системата може да бъде използвана за малки или средноголеми животновъдни ферми, като в този и вид не е подходящ за много големи ферми.

Разработени са два вида потребителски графични интерфейса, които могат да работят едновременно без да си пречат и дават възможност за лесна работа със системата от различни устройства като персонален компютър, таблет или смартфон. Графичния интерфейс може да се променя като се добавят или премахват елементи, спрямо наличното оборудване в животновъдната ферма.

Авторска справка

Основни научни приноси

- ✓ Разработен е нов метод за управление на микроклимата в птицеферма който се основава на изчисление на усещаната от птиците температура, която е различна от температурата в помещението и зависи от температурата, влажността и скоростта на движение на въздуха, както и от възрастта на пилетата. Публикация „Algorithm for Autonomous Management of a Poultry Farm by a Cyber-Physical System“ в списание Animals -IMPACT FACTOR - 2.7; CITIScore – 4.9; SJR – Q1
- ✓ Разработен е нов метод за автоматичен контрол на нитрати, нитрити и амоняк в аквапонична система, чрез управление на подаваното количество храна на автоматичната хранилка. Публикация „Concept of a Cyber-Physical System for Control of a Self-Cleaning Aquaponic Unit“ в списание AgriEngineering - IMPACT FACTOR - 3.0; CITIScore – 4.7; SJR – Q1

Основни научно-приложни приноси

- ✓ Разработени са КФС за управление на микроклимата в кравеферма, свинеферма и птицеферма, изградени с ценово ориентирани компоненти, като крайната цена е значително по-ниска спрямо съществуващите решения на пазара. Това я прави лесно достъпна за малки и средно големи ферми, за които първоначалната инвестиция за съществуващите системи е непосилна.
- ✓ Разработената КФС за управление на микроклимата в птицеферма позволява напълно автономно управление, при което системата самостоятелно променя параметрите на средата спрямо възрастта на пилетата и превключва между трите режими на вентилация без намесата на персонала. Съществуващите подобни системи предлагат само преминаване от минимална към преходна вентилация и обратно. Предложената система позволява преминаване и в режим на тунелна вентилация, благодарение на въведения метод за отчитане на усещаната от птиците температура.
- ✓ Разработена е КФС за управление на средата в аквапонична система която предлага автономен контрол на много по-широка гама параметри сравнено със съществуващите подобни системи, като същевременно може да изпраща препоръки на персонала за регулиране количеството на рибата и растенията за осъществяване и поддържане на баланса и.

Основни приложни приноси

- ✓ Разработената КФС за управление на микроклимата в птицеферма беше внедрена и тествана в птицеферма съвместно с Тракийски университет гр. Стара Загора, като допринесе за намаляване разходите за електроенергия и подобряване на условията за отглежданите на птиците.

Благодарности

Благодаря на своя научен ръководител проф. д-р Найдено Шиваров, за съдействието и насоките през целия период на моята докторантура, както и за помощта при провеждане на изследванията и подготовката на тази дисертация.

Библиография

- [1] Vale, W.G. (2007) Effects of environment on buffalo reproduction. Ital. J. Anim. Sci., 6(2): 130-142., 15 Mar 2016, <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.s2.130>
- [2] Sunil Kumar, B.V., Kumar, A. and Kataria, M. (2011) Effect of heat stress in tropical livestock and different strategies for its amelioration. Journal of Stress Physiology Biochemistry., 7(1): 45-54., January 22, 2010
- [3] Leonel Avendaño-Reyes, Heat Stress Management for Milk Production in Arid Zones, Published: 26 September 2012, <http://dx.doi.org/10.5772/51299>

- [4] <https://www.nadis.org.uk/disease-a-z/cattle/managing-heat-stress-in-dairy-cows/> (accessed on August 2022)
- [5] J.W. West, B.G. Mullinix, J.K. Bernard, Effects of Hot, Humid Weather on Milk Temperature, Dry Matter Intake, and Milk Yield of Lactating Dairy Cows, *Journal of Dairy Science*, Volume 86, Issue 1, January 2003, Pages 232-242, [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73602-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73602-9)
- [6] Rachid BOURAOUI, Mondher LAHMAR, Abdessalem MAJDOUB, M'nouer DJEMALI, Ronald BELYEAD, The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate, November 2002 *Animal Research* 51(6):479-491, DOI: 10.1051/animres:2002036
- [7] Spiers, D.E., Spain, J.N., Sampson, J.D. and Rhoads, R.P. (2004) Use of physiological parameters to predict milk yield and feed intake in heat-stressed dairy cows. *Journal of Thermal Biology*, 29(7-8): 759-764.
- [8] Johnson H.D., Physiological responses and productivity of cattle, in: Yousef M.K. (Ed.), *Stress physiology in livestock. Basic principles*, Vol. 1, 4-19, CRC Press, Boca Raton, Florida, 1985.
- [9] Mol G., Ogink N.W., 2004 - The effect of two ammonia - emission-reducing pig housing systems on odour emissions. *Water Sci. Technol.* 50, p. 334 – 340; (2004), <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0299>
- [10] Lopez J., Jesse J.W., Becker B.A., Ellersieck M. R., 1991 - Effects of temperature on the performance of finishing swine: II. *J. Anim. Sci.*, 111, p 1850 – 1855; (May 1991) <https://doi.org/10.2527/1991.6951843x>
- [11] Kemp, B., Verstegen, M.W.A. (1987). The Influence of Climatic Environment on Sows. In: Verstegen, M.W.A., Henken, A.M. (eds) *Energy Metabolism in Farm Animals. Current Topics in Veterinary Medicine and Animal Science*, vol 44. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-009-3363-7_8
- [12] Drăghici C., 1991, *Microclimatul adăposturilor de animale și mijloacele de dirijare*. Ed. Ceres;
- [13] Sergey Kostarev, Oksana Kochetova, Alfia Hamidullina, and Tatyana Sereda, Microclimate control system at poultry enterprises of closed type, *E3S Web of Conferences* 282, 07024 (2021), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128207024>
- [14] A.V. Trifanov, V.V. Kaluga, A.G. Trafimov, Technologies and technical means of mechanized production of horticulture and livestock, 87-92 (2004)
- [15] Livingston, M.L.; Pokoo-Aikins, A.; Frost, T.; Laprade, L.; Hoang, V.; Nogal, B.; Phillips, C.; Cowieson, A.J. Effect of heat stress, dietary electrolytes, and vitamins E and C on growth performance and blood biochemistry of the broiler chicken. *Front. Anim. Sci.* 2022, 3, 807267. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.807267>

- [16] Tsiouris, V.; Georgopoulou, I.; Batzios, C.; Pappaioannou, N.; Ducatelle, R.; Fortomaris, P. Heat stress as a predisposing factor for necrotic enteritis in broiler chicks. *Avian Pathol.* 2018, 47, 616–624. <https://doi.org/10.1080/03079457.2018.1524574>
- [17] Lara, L.J.; Rostagno, M.H. Impact of heat stress on poultry production. *Animals* 2013, 3, 356–369. <https://doi.org/10.3390/ani3020356>
- [18] Sohail, M.U.; Ijaz, A.; Yousaf, M.S.; Ashraf, K.; Zaneb, H.; Aleem, M.; Rehman, H. Alleviation of cyclic heat stress in broilers by dietary supplementation of mannan-oligosaccharide and *Lactobacillus*-based probiotic: Dynamics of cortisol, thyroid hormones, cholesterol, C-reactive protein, and humoral immunity. *Poult. Sci.* 2010, 89, 1934–1938. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00751>
- [19] Total production of fishery products (million tonnes of live weight, EU, 2000-2021) https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Aquaculture_statistics (accessed on 1.6.2024).
- [20] Jaap van Rijn, Waste treatment in recirculating aquaculture systems, *Aquacultural Engineering* 53 (2013) 49–56, <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.11.010>
- [21] S. Wahyuningsih, H. Effendi, and Y. Wardiatno, “Nitrogen removal of aquaculture wastewater in aquaponic recirculation system,” *Aquaculture, Aquarium, Conservation Legislation*, vol. 8, no. 4, pp. 491–499, 2015.
- [22] X. Li, J. Li, Y. Wang, L. Fu, Y. Fu, B. Li, and B. Jiao, “Aquaculture industry in China: Current state, challenges, and outlook,” *Rev. Fisheries Sci.*, vol. 19, no. 3, pp. 187–200, 2011
- [23] Somerville, C.; Cohen, M.; Pantanella, E.; Stankus, A.; Lovatelli, A. Small-Scale Aquaponic Food Production: Integrated Fish and Plant Farming; *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*; FAO: Rome, Italy, 2014.
- [24] Gilbert Van Stappen, Khalid Salie, Henk Stander, Inoculating fish sludge from aquaponics with microbes to enhance mineralisation of phosphorus, *Ghent University*: 2019 – 2020
- [25] A. A. Steiner, “Soilless culture,” in *Proc. 6th Colloq. Int. Potash Inst.*, no. 97. Bern, Switzerland: International Potash Insitute, 1968, pp. 324–341.
- [26] B. Zhang, P. Luo, H. Pang, Y. Gao, Z. Zhang, and C. Li, “Nitrogen pollutants removal characteristics in aquaponic system,” *Chin. J. Environ. Eng.*, vol. 12, no. 5, pp. 1501–1509, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2017.01.004>
- [27] N. Savidov, “Evaluation and development of aquaponics production and product market capabilities in Alberta,” *Alberta Agricuilt., Food Rural Develop., Crop Diversification Centre South, Brooks, AB, Canada, Tech. Rep.*, 2004.
- [28] <https://www.bigdutchman.com/en/homepage/>; (accessed on 1 July 2024)

- [29] <https://www.fancom.com/>; (accessed on 1 July 2024)
- [30] <https://www.skov.com/en/home/>; (accessed on 1 July 2024)
- [31] <https://www.meier-brakenberg.de/en/>; (accessed on 5 July 2024)
- [32] <https://pentairaes.com> (accessed on 3 August 2024)
- [33] <https://aquaponics.com> (accessed on 1 August 2024)
- [34] <https://eheim.com> (accessed on 10 August 2024)
- [35] <https://milwaukeeinstruments.com> (accessed on 3 August 2024)
- [36] Lee, C.; Wang, Y. Development of a cloud-based IoT monitoring system for Fish metabolism and activity in aquaponics. *Aquac. Eng.* 2020, 90, 102067. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102067>
- [37] Khaoula, T.; Abdelouahid, R.A.; Ezzahoui, I.; Marzak, A. Architecture design of monitoring and controlling of IoT-based aquaponics system powered by solar energy. *Procedia Comput. Sci.* 2021, 191, 493–498. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.07.063>
- [38] Abd Al-Zahraa Naser, Baraa, Aajam Laith Saleem, Ali Hilal Ali, Salam Alabassi and Maher A.R. Sadiq Al-Baghdadi. (2019) “Design and construction of smart IoT-based aquaponics powered by PV cells.” *International Journal of Energy and Environment (IJEE)*, Volume 10, Issue 3, 2019, pp.127-134.
- [39] Adrian K. Pasha; Edi Mulyana; Cecep Hidayat; Muhammad Ali Ramdhani; Opik T. Kurahman; M. Adhipradana, “System Design of Controlling and Monitoring on Aquaponic Based on Internet of Things”, in 4th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT). <https://doi:10.1109/icwt.2018.8527802> , IEEE.
- [40] Goran D. Putnik, Luis Ferreira, Nuno Lopes, Zlata Putnik, “What is a Cyber-Physical System: Definitions and Models Spectrum” Polytechnic Institute of Cávado and Ave, Vila Frescaíinha S. Martinho, Barcelos, Portugal, June 2019, doi: 10.5937/fmet1904663P
- [41] E. A. Lee, “Cyber Physical Systems: Design Challenges,” 2008 11th IEEE Int. Symp. Object Component-Oriented Real-Time Distrib. Comput., pp. 363–369, 2008 DOI: 10.1109/ISORC.2008.25
- [42] <https://www.openhab.org/>; (accessed on 3 June 2024)
- [43] R. A. Light, "Mosquitto: server and client implementation of the MQTT protocol," *The Journal of Open Source Software*, vol. 2, no. 13, May 2017, DOI: 10.21105/joss.00265
- [44] <https://www.influxdata.com/> (accessed on 7 March 2024)
- [45] <https://grafana.com/> (accessed on 7 March 2024)
- [46] <https://www.amanda.org/> (accessed on 6 March 2024)

- [47] <https://code.visualstudio.com/> (accessed on 11 March 2024)
- [48] <https://tasmota.github.io/docs/> (accessed on 12 March 2024)
- [49] <https://www.softblade.de/> (accessed on 12 March 2024)
- [50] <http://www.volison.com/> (accessed on 9 December 2023)
- [51] <https://www.analog.com/> (accessed on 14 March 2024)
- [52] <http://www.aosong.com/> (accessed on 15 March 2024)
- [53] <https://sensirion.com/> (accessed on 16 March 2024)
- [54] <https://www.winsen-sensor.com/> (accessed on 3 June 2024)
- [55] <https://senseair.com/> (accessed on 5 January 2024)
- [56] <http://www.klha.com/> (accessed on 9 February 2023)
- [57] <https://www.jxctiot.com/> (accessed on 9 December 2023)
- [58] <https://www.renkeer.com/> (accessed on 9 December 2023)
- [59] <https://www.wika.com/> (accessed on 3 June 2024)
- [60] <https://www.rohm.com/> (accessed on 5 June 2024)
- [61] <https://ams-osram.com/> (accessed on 5 January 2024)
- [62] <https://www.ysi.com/> (accessed on 3 January 2024)
- [63] <https://www.nnelectronic.com/> (accessed on 16 March 2024)
- [64] Hristev, H., 2007. Natural resistance of animals. Agrarian University, Plovdiv, 128 p. (Bg)
- [65] Наредба №.44 от 20 април 2006г. За Ветеринарномедицинските изисквания към животновъдните обекти. Обн. ДВ. бр.41 от 19 Май 2006г., изм. ДВ. бр.102 от 19 Декември 2006г., изм. ДВ. бр.40 от 18 Април 2008г., изм. ДВ. бр.48 от 23 Май 2008г., изм. ДВ. бр.90 от 17 Октомври 2008г., изм. ДВ. бр.50 от 2 Юли 2010г., изм. ДВ. бр.10 от 3 Февруари 2012г.
- [66] Наредба № 14 от 3 Февруари 2006 Г. За минималните изисквания за защита и хуманно отношение при отглеждане на телета. В сила от 01.05.2006 г. Издадена от Министерството на земеделието и горите. Обн. ДВ. бр.17 от 24 Февруари 2006г., изм. ДВ. бр.6 от 19 Януари 2007г.
- [67] Наредба № 13 от 30 декември 2003 Г. За защита на работещите от рискове, свързани с експозиция на химични агенти при работа. В сила от 31.01.2005 г. Издадена от министъра на труда и социалната политика и министъра на здравеопазването. Обн. ДВ. бр.8 от 30 Януари 2004г., изм. ДВ. бр.71 от 1 Септември 2006г., изм. ДВ. бр.67 от 17 Август 2007г., изм. ДВ. бр.2 от 6 Януари 2012г., изм. и доп. ДВ. бр.46 от 23 Юни 2015г., изм. и доп. ДВ. бр.73 от 4 Септември 2018г., изм. ДВ. бр.5 от 17 Януари 2020г.
- [68] Santana, C. M., Gauger, P., Vetger, A., Magstadt, D., Kim, D. S., Shrestha, D., ... Rumbelha, W. K. (2021). Ambient hydrogen sulfide exposure increases the severity of influenza A virus infection in swine. *Archives of Environmental & Occupational Health*, 76(8), 526–538.

- [69] S.E. Curtis et al., Atmospheric ammonia affects swine health, Illinois Research (1977)
- [70] Donald, J.O. Environmental Management in the Broiler House; Auburn University: Auburn, AL, USA, 2010.
- [71] Bist, R.B.; Subedi, S.; Chai, L.; Yang, X. Ammonia emissions, impacts, and mitigation strategies for poultry production: A critical review. *J. Environ. Manag.* 2023, 328, 116919. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116919>
- [72] Olanrewaju, H.A.; Thaxton, J.P.; Dozier, W.A.; Purswell, J.; Roush, W.B.; Branton, S.L. A review of lighting programs for broiler production. *Int. J. Poult. Sci.* 2006, 5, 301–308. DOI: [10.3923/ijps.2006.301.308](https://doi.org/10.3923/ijps.2006.301.308)
- [73] Mendes, A.S.; Paixão, S.J.; Restelatto, R.; Morello, G.M.; de Moura, D.J.; Possenti, J.C. Performance and preference of broiler chickens exposed to different light sources. *J. Appl. Poult. Res.* 2013, 22, 62–70. <https://doi.org/10.3382/japr.2012-00580>
- [74] Farm Animal Welfare Council, Report on the Welfare of Broiler Chickens. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London, UK (1992)
- [75] Riddell, C.; Classen, H.L. Effects of increasing photoperiod length and anticoccidials on performance and health of roaster chickens. *Avian Dis.* 1992, 36, 491–498. DOI: [10.2307/1591739](https://doi.org/10.2307/1591739)
- [76] Morris, M.P. National survey of leg problems. *Broiler Ind.* 1993, 93, 20–24.
- [77] Classen, H. L., Annett, C. B., Schwan-Lardner, K. V., Gonda, R., & Derow, D. (2004). 2004 SPRING MEETING OF THE WPSA UK BRANCH PAPERS: The effects of lighting programmes with twelve hours of darkness per day provided in one, six or twelve hour intervals on the productivity and health of broiler chickens. *British Poultry Science*, 45(sup1), S31–S32. <https://doi.org/10.1080/00071660410001698137>
- [78] Gordon, S.H. Effects of day length and increasing day length programs on broiler welfare and performance. *World's Poult. Sci. J.* 1994, 50, 269–282.
- [79] Rozenboim, I., Robinson, B., & Rosenstrauch, A. (1999). Effect of light source and regimen on growing broilers. *British Poultry Science*, 40(4), 452–457. <https://doi.org/10.1080/00071669987197>
- [80] Renden, J.A.; Bilgili, S.F.; Lien, R.J.; Kincaid, S.A. Live performance and yields of broilers provided various lighting schedules. *Poult. Sci.* 1991, 70, 2055–2062. <https://doi.org/10.3382/ps.0702055>
- [81] Leeson, S.; Caston, L.J.; Summers, J.D. Performance of layers given two-hour midnight lighting as growing pullets. *J. Appl. Poult. Res.* 2003, 12, 313–320. <https://doi.org/10.1093/japr/12.3.313>
- [82] Kritensen, H.H.; Aerts, J.M.; Leroy, T.; Berckmans, D.; Wathes, C.M. Using light to control broiler chickens. *Br. Poult. Sci.* 2004, 45, S30–S31.
- [83] Czarick, M.; Lacy, M.P.; Lott, B. Poultry Housing Tips, Recent Developments in Wind-Chill Charts; College of Agricultural and Environmental Science: Athens, GA, USA, 1999; Volume 11.

- [84] Wind Chill Effect. What It Is and How to Calculate It. Available online: <https://www.pericoli.com/en/Wind-chill-effect-What-it-is-and-how-to-calculate-it/> (accessed on 11 November 2022).
- [85] Publisher—Avigen, Ross Broiler Management Handbook 2018. 2018. Available online: www.avigen.com (accessed on 23 November 2022).
- [86] Donald, J.; Campbell, J.; Simpson, G.; Macklin, K. Poultry Engineering, Economics & Management, National Poultry Technology Center Produced in Cooperation with the U.S. Poultry & Egg and Alabama Poultry & Egg Associations Issue No 67; Auburn University: Auburn, AL, USA, 2010.
- [87] Sheikh, B. Hydroponics: Key to sustain agriculture in water stressed and urban environment. Pak. J. Agric. Agril. Eng. Vet. Sci. 2006, 22, 53–57.