

REVIEW OF THE OFFICIAL REVIEWER

on the dissertation work of Daurenbayeva Nurkamiliya Aldangarovna
on the topic «Smart Fault Detection System for Building Microclimate Control»,
provided for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in the educational program 8D06102 – Computer and Software Engineering:

№	Criteria	Eligibility (please select one answer option)	Justification of the official reviewer's position
1.	The topic of the thesis (as of the date of its approval) corresponds to the directions of scientific development and/or government programs	1.1 Compliance with priority areas of scientific development or government programs: 1) The dissertation was completed within the project or target program financed from the state budget (indicate the name and number of the project or program); 2) The dissertation was completed within the other state program (indicate the name of the program); 3) <u>The thesis corresponds to the priority direction of scientific development, approved by the Higher Scientific and Technical Commission under the Government of the Republic of Kazakhstan (indicate direction)</u>	The dissertation on the topic «Smart Fault Detection System for Building Microclimate Control» corresponds to the priority areas of scientific development in the field of study 8D061 – «Information and Communication Technologies» and the educational program 8D06102 – «Computer and Software Engineering», approved by the Higher Scientific and Technical Commission under the Government of the Republic of Kazakhstan.
2.	Importance for science	The work <u>makes/does not make</u> a significant contribution to science and its importance is <u>well-disclosed</u> / not disclosed	The work <u>makes</u> a significant contribution to the development of intelligent diagnostic methods for microclimate control systems. The importance of the research is clearly articulated, supported by current trends in digitalization, and reinforced by the development of a practical monitoring model based on IoT sensors and

			machine learning. The results obtained have high practical value and can be implemented in control systems for residential and non-residential buildings.
3.	The principle of self-reliance	Self-reliance level: 1) <u>high</u> ; 2) average; 3) low; 4) no independence	Level of independence: <u>high</u> . The dissertation was carried out by the author independently at all stages of the research.
4.	The principle of internal unity	4.1 Justification of the relevance of the thesis: 1) <u>justified</u> ; 2) partially justified; 3) not justified	The relevance of the dissertation topic is fully <u>justified</u> by the author. The work clearly demonstrates that the problem of automated fault detection and diagnosis in building microclimate systems is of international significance and is actively developing in contemporary research (Wang et al., 2023; Zhao et al., 2023; Li et al., 2024; Zhang et al., 2024). The author substantiates that existing FDD methods are primarily oriented toward highly automated buildings and simulated data, while in the context of Kazakhstan there is a lack of practical studies based on real operational data. Additionally, the relevance is reinforced by the strategic objectives of digitalizing engineering infrastructure, as reflected in the Address of the President of the Republic of Kazakhstan, K. K. Tokayev, dated September 8, 2025, which emphasizes the need to implement monitoring systems, intelligent control, and artificial intelligence technologies to improve the energy efficiency and reliability of public utilities.

	4.2 The content of the thesis reflects its topic: 1) <u>reflects</u>; 2) partially reflects; 3) does not reflect	The content of the dissertation <u>reflects</u> its stated topic and provides a comprehensive and coherent exposition of the research subject. All chapters correspond to the aim, objectives, and scope of the work. No deviations from the declared topic have been identified.
	4.3 The purpose and objectives correspond to the topic of the thesis: 1) <u>correspond</u>; 2) partially correspond; 3) do not correspond	The aim and objectives <u>correspond</u> to the topic of the dissertation. Each objective is logically connected to the overall aim and specifies individual stages of the research process, ensuring the scientific and practical completeness of the work.
	4.4 All sections and provisions of the dissertation are logically interconnected: 1) <u>completely interconnected</u>; 2) the relationship is partial; 3) there is no relationship	All sections and provisions of the dissertation are <u>completely interconnected</u>: the material is presented consistently, and each chapter builds on the results of the previous one, forming a coherent and well-substantiated scientific concept. The theoretical foundations, methodology, experimental part, and conclusions constitute a unified and integrated whole, which indicates a high degree of systematic organization and thoughtful design of the research.
	4.5 The new solutions (principles, methods) proposed by the author are argued and evaluated in comparison with known solutions: 1) <u>there is a critical analysis</u>; 2) partial analysis; 3) the analysis does not represent one's own opinions, but quotes from other authors	The author has presented a well-substantiated comparison of the proposed solutions with existing approaches, including clustering algorithms, data preprocessing methods, and monitoring architectures. <u>There is a critical analysis</u> of the advantages and limitations of DBSCAN compared to K-Means, as well as an assessment of the impact of the Z-score and PCA stages on diagnostic accuracy. This analysis is based on the author's own experimental results

			and well-reasoned conclusions rather than a summary of the literature.
5.	The principle of scientific novelty	5.1 Are the scientific results and provisions new? 1) <u>completely new</u>; 2) partially new (25-75% are new); 3) not new (less than 25% are new) 5.2 Are the conclusions of the dissertation new? 1) <u>completely new</u>; 2) partially new (25-75% are new); 3) not new (less than 25% are new)	The scientific results and statements are <u>completely new</u>. The presented findings are distinguished by their relevance and originality. The author has obtained new data on microclimate monitoring, the application of machine learning algorithms, and the assessment of system reliability, which confirms the scientific validity and practical significance of the work. The conclusions submitted for defense are well-founded, logical, and supported by experimental research. The obtained results are <u>completely new</u> and contribute to the development of intelligent microclimate management technologies.

		5.3 Technical, technological, economic, or managerial decisions are 1) <u>new and justified</u>; 2) completely new; 3) partially new (25-75% are new); 4) not new (less than 25% are new)	The work presents the development of a <u>new and justified</u> system for collecting microclimate data, with algorithms and data analysis procedures adapted and integrated into a unified methodology for early fault detection in HVAC systems under conditions of unlabeled data. All major conclusions are based on reliable scientific evidence and are supported by experimental data.
6.	Validity of the main conclusions	All key findings <u>are based</u> / are not based on scientifically sound evidence or are reasonably well funded (for qualitative research and areas of training in the arts and humanities)	Although individual existing algorithms and methods (DBSCAN, PCA, Z-score, etc.) were employed, their structural integration, adaptation, parameterization, and practical application in the context of fault diagnosis for HVAC systems under unlabeled data conditions were developed by the author for the first time. As a result, a new methodology, a new technical solution, and a new monitoring system architecture were created. All key findings <u>are based</u> on scientifically sound evidence, supported by experimental data, and are scientifically substantiated.

7. Main provisions submitted for defense	The following questions must be answered for each provision separately: 7.1 Has the position been proven? 1) <u>proven</u>; 2) rather proven; 3) rather not proven; 4) not proven 7.2 Is it trivial? 1) yes; 2) <u>no</u> 7.3 Is it new? 1) <u>yes</u>; 2) no 7.4 Application level: 1) narrow; 2) medium; 3) <u>wide</u> 7.5 Is it proven in the article? 1) <u>yes</u>; 2) no	The scientific statements presented in the dissertation demonstrate a broad scope of applicability. The developed methods for microclimate monitoring and HVAC system diagnostics can be used in residential and commercial buildings, industrial facilities, educational institutions, data centers, airports, and other infrastructure environments. The universality of the proposed algorithms and architectural solutions ensures their adaptability to various operating conditions, which confirms the wide practical relevance of the results. All key provisions submitted for defense are substantiated, non-trivial, and possess scientific novelty. Each of them has a wide range of practical applications and is supported by the author's publications in scientific journals and international conference proceedings, including journals with high scientometric indicators (percentiles 85 — Q1 and 58 — Q2), indexed in Scopus and Web of Science, as well as those included in the list of the Committee for Quality Assurance in Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan. The results have also been presented at international conferences such as ICECCO and PAMDAS. The practical significance of the research outcomes is further supported by the author's certificate of registration of a software product of the Republic of Kazakhstan No. 41781. The evidential foundation of the dissertation is sufficient and convincing. The research
---	--	--

		statements are supported by up-to-date scientific sources, modeling results, experimental studies, and comparative analysis. The material presented demonstrates that the research objective has been achieved and all assigned tasks have been fulfilled, fully meeting the requirements established for dissertations of the corresponding academic degree.
8.	The principle of reliability. Reliability of sources and information provided	8.1 The choice of methodology - is the methodology justified or is it described in sufficient detail? 1) <u>yes</u>; 2) no The CRISP-DM methodology is thoroughly described and adapted to the tasks of microclimate management. The CRISP-DM methodology is presented in a complete and consistent manner, and its selection is justified by the specifics of the study. The author not only provides a detailed

		description of all stages of the methodology but also adapts it to the tasks of microclimate control and fault diagnosis under real building conditions in Kazakhstan. The dissertation clearly demonstrates how each stage of CRISP-DM is applied to the processing of high-frequency sensor data, which confirms the appropriateness and validity of choosing this methodological framework.
	8.2 The results of the thesis were obtained using modern methods of scientific research an techniques for processing and interpreting data using computer technologies: 1) <u>yes</u>; 2) no	The results were obtained using modern data analysis and machine learning methods. The findings of the dissertation were achieved through the application of contemporary scientific research techniques and computational technologies. Machine learning algorithms were employed, including DBSCAN for anomaly detection and identification of latent faults, PCA for dimensionality reduction and improved visualization of multidimensional data, and Z-score for outlier removal and enhancement of data quality. In addition, statistical and computational methods were used for processing, interpretation, and validation of the results.
	8.3 Theoretical conclusions, models, identified relationships and patterns are proven and confirmed by experimental research (for areas of training in pedagogical sciences, the results are proven based on a pedagogical experiment): 1) <u>yes</u>; 2) no	The theoretical conclusions of the dissertation are substantiated by the results of experimental studies, and the developed models, identified relationships, and established patterns are confirmed both by analytical calculations and by practical measurements. The key statements are supported by up-to-date scientific sources, which verify the correctness of the selected methods and their alignment with the current state of

		8.4 Important statements <u>are supported</u> / partially supported / not supported by references to current and reliable scientific literature 8.5 The literature sources used <u>are sufficient</u> / are not sufficient for the literature review	The key statements of the dissertation are generally supported by references to relevant and reliable scientific literature. The sources used reflect the current state of research in the field of microclimate monitoring and HVAC system diagnostics, and include articles from peer-reviewed journals as well as materials from reputable international conferences. In certain cases, the list of references could be expanded with more recent publications from the last few years; however, this does not diminish the validity of the key findings of the dissertation. The volume of literature used is sufficient to provide a comprehensive review. The literature review incorporates 106 relevant and reliable sources, ensuring the completeness, adequacy, and scientific soundness of the research.
9	Principle of practical value	9.1 The dissertation has theoretical significance: 1) <u>yes</u>; 2) no.	The work introduces new scientific concepts, methods, and conclusions in the field of microclimate management and data analysis. The author proposes an integrated methodology that combines Z-score, PCA, and DBSCAN for processing high-frequency multidimensional data, as well as an adaptation of the CRISP-DM framework to real microclimate applications.

		These results expand the scientific understanding of HVAC system condition diagnostics under heterogeneous and unlabelled data conditions.
	9.2 The thesis has practical significance and there is a high probability of applying the obtained results in practice: 1) <u>yes</u>; 2) no.	The developed monitoring system and methodology for HVAC system diagnostics can be implemented in both residential and non-residential buildings. The IoT system architecture proposed by the author, along with the approaches to data cleaning, anomaly detection, and reliability assessment, enables the creation of cost-effective and efficient solutions for early fault detection, energy consumption reduction, and improved stability of engineering systems. The methodology is suitable for integration into existing BMS platforms and can also be utilized by utility services, construction companies, and organizations implementing smart building technologies. Its high relevance and practical orientation confirm the potential for real-world application of the dissertation's results in building operation practices in Kazakhstan and beyond.
	9.3 Are the suggestions for practice new? 1) <u>completely new</u>; 2) partially new (25-75% are new); 3) not new (less than 25% are new)	The methodology, system architecture, and data processing approaches proposed by the author are original and have no direct analogues. The practical solutions presented in the dissertation demonstrate clear novelty and high applicability. The author has, for the first time, developed an integrated diagnostic methodology combining statistical data cleaning (Z-score),

			dimensionality reduction (PCA), and clustering (DBSCAN) for the analysis of high-frequency, unlabelled microclimate data, which is particularly relevant for buildings in Kazakhstan with low levels of automation. A fully experimental architecture of the monitoring system, based on multiparametric IoT sensors, has been proposed and tested in both residential and non-residential buildings. For the first time, reliability assessment of HVAC systems has been implemented using MTBF and the R(t) function, extending diagnostics to a predictive level. The methodology is adapted to real operating conditions—noisy data, seasonal fluctuations, and absence of labeling—making it practically significant for integration into BMS platforms, as well as for digitalization projects in utilities and Smart City initiatives. Thus, the author's practical proposals are novel, engineering-grounded, and have high potential for implementation in building microclimate management systems.
10.	Quality of writing and design	Quality of academic writing: 1) <u>high</u>; 2) average; 3) below average; 4) low.	The quality of writing and formatting of the dissertation is high. The text is presented in an academic style, characterized by logical coherence, sequential exposition, and strict adherence to scientific argumentation. The author correctly and appropriately uses specialized terminology in the fields of machine learning, microclimate systems, and statistical data analysis.

		The structure of the dissertation is built logically, progressing from problem statement and theoretical review to methodology, experimental work, and interpretation of the results. Transitions between sections are coherent, and each conclusion is supported by the presented data, demonstrating a high level of scholarly writing. The dissertation complies with academic ethics: references are correctly formatted, up-to-date sources are cited, and a consistent style is maintained throughout the text, tables, figures, and formulas. The work reflects a mature research approach, showing the author's ability to critically analyze literature, systematize knowledge, and formulate scientific conclusions in accordance with international standards of academic writing.
11.	Comments and suggestions on the dissertation	<i>Some sentences in the text are too long and could be split to improve readability.</i>
12.	The scientific level of the doctoral candidate's articles on the research topic (in the case of defending the dissertation in the form of a series of articles, the official reviewers will comment on the scientific level of each article by the doctoral candidate on the research topic.)	The scientific level of the applicant's publications fully meets the requirements for PhD-level dissertations. All presented works have been published in reputable scientific journals and presented at international conferences, which confirms the high quality of the conducted research and the recognition of the results by the scientific community. The applicant has publications in journals indexed in Scopus and Web of Science, including journals with high scientometric indicators (Q1, Q2), demonstrating that the presented materials comply with international standards of scientific research. Notably, the article in the journal <i>Energies</i> (Q1) addresses modern machine learning methods for the diagnosis and prediction of failures in microclimate systems, while the publication in <i>AMIS</i> (Q2) presents original results on intelligent HVAC system monitoring. The research results have also been published in journals included in the list of the Committee for Quality Assurance in Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, such as <i>ENU Bulletin</i>, as well as in the international journal <i>International Journal of Information and Communication Technologies</i>, ensuring broad validation of the results at both national and international academic levels.

		The scientific conclusions of the dissertation have been successfully presented at major international conferences, including ICECCO-2023 and PAMDAS-2025, where the author delivered reports on the selection of intelligent thermostats, the integration of machine learning, and microclimate diagnostics methods in buildings. This confirms the relevance and demand for the research topic among academic and engineering communities. The practical significance of the results is further confirmed by the author's certificate of the Republic of Kazakhstan No. 41781, certifying the development of a software product and hardware system for real-time monitoring of microclimate parameters with an integrated seismic impact sensor. Taken together, the scientific articles, conference materials, and the author's certificate demonstrate the high scientific level of the applicant's work, the originality of the obtained results, and the compliance of the dissertation with modern international academic standards in the fields of microclimate monitoring, intelligent control systems, and machine learning methods.
13.	The decision of the official reviewer (according to paragraph 28 of the current Model Regulation)	To petition the Committee for the award of the degree of Doctoral of Philosophy (PhD)

Conclusion

The presented dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) by **Daurenbayeva, Nurkamiliya Aldangarovna**, titled **“Smart Fault Detection System for Building Microclimate Control”** is a complete and independent research work that meets the requirements of the “Regulations on the Awarding of Degrees.” The author is recommended to the Committee for the awarding of the PhD degree.

Official reviewer:

Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor
of the School of Humanities,
“International University of Tourism and Hospitality”



Abdrakhmanov Rustam Bakh-tieruly

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО РЕЦЕНЗЕНТА

на диссертационную работу Дауренбаевой Нуркамили Алдангаровны на тему «Smart Fault Detection System for Building Microclimate Control» («Интеллектуальная система диагностики ошибок для управления микроклиматом зданий»), представленную на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D06102 – «Компьютерная и программная инженерия»

№ п/п	Критерии	Соответствие критериям (подчеркнуть один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента (замечания выделить курсивом)
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам: 1) диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы); 2) диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы); 3) диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление).	Диссертация на тему «Smart Fault Detection System for Building Microclimate Control» («Интеллектуальная система диагностики ошибок для управления микроклиматом зданий») соответствует приоритетным направлениям развития науки по направлению подготовки 8D061 – «Информационно-коммуникационные технологии» и образовательной программе 8D06102 – «Компьютерная и программная инженерия», утвержденным Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан.
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит/не вносит</u> существенный вклад в науку, а ее важность <u>хорошо раскрыта/не раскрыта</u> .	Работа вносит существенный вклад в развитие методов интеллектуальной диагностики микроклиматических систем. Значимость исследования хорошо раскрыта, обоснована современными тенденциями цифровизации и подтверждена разработкой

		практической модели мониторинга на базе IoT-датчиков и машинного обучения. Полученные результаты обладают высокой прикладной ценностью и могут быть внедрены в системах управления жилых и нежилых зданий.	
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: высокий; 1) <u>высокий</u>; 2) <u>средний</u>; 3) <u>низкий</u>; 4) самостоятельности нет.	Уровень самостоятельности: высокий. Диссертационная работа выполнен автором самостоятельно на всех этапах научного исследования.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) <u>обоснована</u>; 2) <u>частично обоснована</u>; 3) <u>не обоснована</u>.	Актуальность темы диссертации обоснована автором в полной мере. В работе чётко показано, что проблема автоматизированного обнаружения и диагностики неисправностей в микроклиматических системах зданий является значимой на международном уровне и активно развивается в современных исследованиях (Wang et al., 2023; Zhao et al., 2023; Li et al., 2024; Zhang et al., 2024). Автором обосновано, что существующие методы FDD в основном ориентированы на высокоавтоматизированные здания и симулированные данные, в то время как для условий Казахстана наблюдается недостаток практических исследований, использующих реальные эксплуатационные данные. Дополнительно актуальность подтверждается стратегическими задачами цифровизации инженерной инфраструктуры, отражёнными в Послании Президента Республики Казахстан К.К. Токаева от 8 сентября 2025 года, где подчёркивается необходимость

			внедрения систем мониторинга, интеллектуального управления и технологий искусственного интеллекта для повышения энергоэффективности и надёжности ЖКХ.
	4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:		Содержание диссертации отражает тему диссертации, а также всесторонне и последовательно раскрывает тему исследования. Все главы соответствуют цели, задачам и тематике работы. Отклонений от заявленной темы не выявлено.
	1) <u>отражает</u> ;		
	2) <u>частично отражает</u> ;		
	3) <u>не отражает</u> .		
	4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:		Цель и задачи соответствуют теме диссертации. Каждая задача логически связана с общей целью и конкретизирует отдельные этапы исследовательского процесса, обеспечивая научную и практическую завершенность работы.
	1) <u>соответствуют</u> ;		
	2) <u>частично соответствуют</u> ;		
	3) <u>не соответствуют</u> .		
	4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:		Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: материал изложен последовательно, каждая глава опирается на результаты предыдущей, формируя цельную и обоснованную научную концепцию. Теоретические положения, методология, экспериментальная часть и выводы составляют единый связанный комплекс, что свидетельствует о высокой степени системности и продуманности исследования.
	1) <u>полностью взаимосвязаны</u> ;		
	2) <u>взаимосвязь частичная</u> ;		
	3) <u>взаимосвязь отсутствует</u> .		
	4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:		Автор представил обоснованные сравнения предлагаемых решений с существующими подходами, включая сопоставление алгоритмов кластеризации, методов предобработки данных и архитектур
	1) <u>критический анализ есть</u> ;		
	2) <u>анализ частичный</u> ;		

	3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов; 4) анализ отсутствует.	мониторинга. Проведён анализ преимуществ и ограничений DBSCAN по сравнению с K-Means, а также оценено влияние этапов Z-score и PCA на качество диагностики. Анализ опирается на собственные экспериментальные результаты и аргументированные выводы, а не на пересказ литературы.
5. Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) <u>полностью новые</u>; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%). 5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) <u>полностью новые</u>; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%). 5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными: 1) <u>полностью новые</u>; 2) частично новые (новыми являются 25-75%);	Научные результаты и положения являются полностью новыми. Представленные научные результаты отличаются актуальностью и новизной. Автору удалось получить новые данные по мониторингу микроклимата, применению алгоритмов машинного обучения и оценке надёжности систем, что подтверждает научную состоятельность и практическую значимость работы. Положения, выносимые на защиту, обоснованы, логичны и подтверждены экспериментальными исследованиями. Полученные результаты являются новыми и вносят вклад в развитие интеллектуальных технологий управления микроклиматом. В работе разработана уникальная система сбора микроклиматических данных, адаптированы и объединены в единую методологию алгоритмы и процедуры анализа данных для задач раннего выявления ошибок (неисправностей) HVAC-систем в условиях отсутствия разметки. Все основные

		3) не новые (новыми являются менее 25%).	выводы основаны на достоверных научных доказательствах и подтверждены экспериментальными данными.
6.	Обоснованность основных выводов	Все основные <u>выводы</u> основаны/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research (кваликатив ресеч) и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам).	Несмотря на применение отдельных существующих алгоритмов и методик (DBSCAN, PCA, Z-score и др.), их структурная интеграция, адаптация, параметризация и практическое применение в контексте диагностики отказов HVAC-систем в условиях отсутствия разметки данных разработаны автором впервые. В результате создана новая методология, новое техническое решение и новая архитектура системы мониторинга. Все выводы подтверждены экспериментальными данными и научно обоснованы.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности: 7.1 Доказано ли положение? 1) <u>доказано</u> ; 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано; 5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно. 7.2 Является ли тривиальным? 1) <u>да</u> ; 2) <u>нет</u> ; 3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно. 7.3 Является ли новым?	Представленные научные положения диссертационной работы обладают широким уровнем применения. Разработанные методы мониторинга микроклимата и диагностики HVAC-систем могут использоваться в жилых и коммерческих зданиях, промышленных объектах, образовательных учреждениях, центрах обработки данных, аэропортах и других инфраструктурных помещениях. Универсальность предложенных алгоритмов и архитектурных решений обеспечивает их адаптацию к различным условиям эксплуатации, что подтверждает широкую практическую применимость результатов. Все основные положения, выносимые на защиту, являются доказанными, нетривиальными и обладающими научной

	1) <u>да</u>; 2) <u>нет</u>; 3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно. 7.4 Уровень для применения: 1) <u>узкий</u>; 2) <u>средний</u>; 3) <u>широкий</u>; 4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно. 7.5 Доказано ли в статье? 1) <u>да</u>; 2) <u>нет</u>; 3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.	новизной. Каждое из них имеет широкий спектр практического применения и подтверждено публикациями автора в научных журналах и материалах международных конференций, включая издания с высокими наукометрическими показателями (перцентили 85 — Q1 и 58 — Q2), индексируемые в Scopus и Web of Science и входящие в перечень ККСНВО РК, а также докладами на международных конференциях ИСЕССО и RAMDAS. Практическая значимость результатов дополнительно подтверждена авторским свидетельством РК №41781 на программный продукт. Доказательная база диссертации является достаточной и убедительной. Положения исследования подтверждены актуальными научными источниками, результатами моделирования, экспериментальными исследованиями и сравнительным анализом. Представленный материал демонстрирует достижение цели исследования и выполнение всех поставленных задач, полностью соответствуя требованиям, предъявляемым к диссертациям соответствующей научной степени.

8.	Принцип достоверности.	Методология CRISP-DM подробно описана и адаптирована под задачи управления микроклиматом.
	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана:	
	Достоверность источников и предоставляемой информации	Методология CRISP-DM представлена полно и последовательно, её выбор обоснован спецификой исследования. Автор не только подробно описывает все этапы методологии, но и адаптирует её под задачи управления микроклиматом и диагностики ошибок в реальных условиях зданий Казахстана. Показано, как каждый этап CRISP-DM применяется к обработке высокочастотных сенсорных данных, что подтверждает правильность и обоснованность выбора методологической базы.
	1) Да; 2) нет.	
	8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий:	Результаты получены с применением современных методов анализа данных и машинного обучения. Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и компьютерных технологий; применены алгоритмы машинного обучения, включая DBSCAN для обнаружения аномалий и скрытых отказов, PCA для снижения размерности и улучшения визуализации многомерных данных, Z-score для удаления выбросов и повышения качества исходных данных, а также статистические и вычислительные методы для обработки, интерпретации и валидации результатов.
	1) Да; 2) нет.	

	8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента):	Теоретические выводы диссертационной работы доказаны результатами экспериментальных исследований, а разработанные модели, выявленные взаимосвязи и закономерности подтверждены как аналитическими расчётами, так и практическими измерениями. Ключевые утверждения обоснованы актуальными научными источниками, подтверждающими корректность выбранных методов и соответствие современному уровню научных представлений в области мониторинга микроклимата и диагностики HVAC-систем. Полученные экспериментальные данные демонстрируют устойчивость выявленных закономерностей и подтверждают применимость предложенных моделей в реальных условиях эксплуатации.
	1) да;	
	2) нет.	
	8.4 Важные утверждения подтверждены/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	Важные утверждения диссертации в целом подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.
	8.5 И использованные источники литературы <u>достаточно/не достаточно</u> для литературного обзора.	Используемые источники отражают современное состояние исследований в области мониторинга микроклимата и диагностики HVAC-систем, включают статьи из рецензируемых журналов и материалы авторитетных международных конференций. В отдельных случаях перечень источников можно расширить за счёт более новых публикаций последних лет, однако это не снижает обоснованности ключевых выводов

			работы. Объём использованной литературы является достаточным для полноценного обзора. В литературном обзоре использовано 106 актуальных и достоверных источников, что обеспечивает полноту, достаточность и научную обоснованность проведённого исследования.
9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) <u>да</u>; 2) нет.	Работа формирует новые научные положения, методы и выводы в области управления микроклиматом и анализа данных. Автором предложена интегрированная методология, объединяющая Z-score, PCA и DBSCAN для обработки высокочастотных многомерных данных, а также адаптация CRISP-DM к задачам реального микроклимата. Эти результаты расширяют научные представления о диагностике состояний систем HVAC в условиях неоднородных и незаметрированных данных.
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) <u>да</u>; 2) нет.	Разработанная система мониторинга и методика диагностики HVAC-систем могут быть внедрены в жилых и нежилых зданиях. Предложенная автором архитектура IoT-системы, подходы к очистке данных, выявлению аномалий и оценке надёжности позволяют создавать недорогие и эффективные решения для раннего обнаружения неисправностей, снижения энергопотребления и повышения стабильности инженерных систем. Методология пригодна для интеграции в

	</

			диагностику до прогностического уровня. Методология адаптирована под реальные условия эксплуатации — шумные данные, сезонные колебания, отсутствие разметки, что делает её практически значимой для внедрения в BMS, а также в проектах цифровизации ЖКХ и Smart City. Таким образом, практические предложения автора являются новыми, инженерно обоснованными и имеют высокий потенциал внедрения в систему управления микроклиматом зданий.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) высокое; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Качество написания и оформления диссертации является высоким. Текст работы выдержан в академическом стиле, отличается логической связностью, последовательностью изложения и строгим соблюдением научной аргументации. Автор корректно и уместно использует специализированную терминологию в области машинного обучения, микроклиматических систем и статистического анализа данных. Структура диссертации выстроена последовательно: от постановки проблемы и теоретического обзора до описания методологии, экспериментальной части и интерпретации полученных результатов. Переходы между разделами логичны, каждый вывод опирается на представленные данные, что свидетельствует о высокой культуре научного письма. В работе соблюдены требования

		академической этики: корректно оформлены ссылки, приведены актуальные источники, выдержан единый стиль оформления текста, таблиц, иллюстраций и формул. Диссертация демонстрирует зрелый исследовательский подход, умение автора критически анализировать литературу, систематизировать знания и формулировать научные выводы в соответствии с международными стандартами академического письма
11.	Замечания/рекомендации к диссертации	<i>Несколько предложений в тексте получились слишком длинными и могут быть разбиты для улучшения читаемости</i>
12.	Научный уровень статей докторанта по теме исследования (в случае защиты диссертации в форме серии статей официальные рецензенты комментируют научный уровень каждой статьи докторанта по теме исследования)	Научный уровень публикаций соискателя полностью соответствует предъявляемым требованиям к диссертационным работам уровня PhD. Все представленные работы опубликованы в авторитетных научных изданиях и представлены на международных конференциях, что подтверждает высокое качество проведенных исследований и признание результатов научным сообществом. Соискатель имеет публикации в журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science, включая издания с высокими наукометрическими показателями (Q1, Q2), что свидетельствует о соответствии представленных материалов международным стандартам научных исследований. Особенно следует отметить статью в журнале <i>Energies</i> (Q1), где рассмотрены современные методы машинного обучения для диагностики и прогнозирования отказов в системах микроклимата, а также публикацию в журнале <i>AMIS</i> (Q2), где представлены оригинальные результаты по интеллектуальному мониторингу HVAC-систем. Результаты исследования также опубликованы в журналах, входящих в перечень ККСНВО РК, таких как <i>ENV Bulletin</i>, а также в международном журнале <i>International Journal of Information and Communication Technologies</i>, что обеспечивает широкую апробацию результатов на уровне национального и международного академического сообщества. Научные выводы диссертанта прошли успешную апробацию на крупных международных конференциях, включая ICESCO-2023 и RAMDAS-2025, где автор представил доклады, посвященные выбору интеллектуальных термостатов, интеграции машинного обучения и методам

	диагностики микроклимата в зданиях. Это подтверждает актуальность и востребованность темы исследования среди академических и инженерных кругов. Практическая значимость результатов дополнительно подтверждена авторским свидетельством Республики Казахстан №41781, удостоверяющим разработку программного продукта и аппаратного комплекса для реального мониторинга параметров микроклимата с интегрированными датчиком сейсмического воздействия. В совокупности научные статьи, материалы конференций и авторское свидетельство демонстрируют высокий уровень работы соискателя, оригинальность полученных результатов и соответствие диссертации современным требованиям международной академической практики в области мониторинга микроклимата, интеллектуальных систем управления и методов машинного обучения.
13. Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)	ходатайствовать перед Комитетом для присуждения докторанту степени доктора философии (PhD)

Заключение

Представленная диссертация на соискание степени доктора философии (PhD) **Дауренбаева Нуркамыля Алдангаровна** на тему «Smart Fault Detection System for building microclimate control» («Интеллектуальная система диагностирования ошибок для управления микроклиматом зданий») является законченной самостоятельной научно-исследовательской работой, которая отвечает требованиям «Правил присуждения степеней», а ее автор заслуживает ходатайствовать перед Комитетом для присуждения докторанту степени доктора философии (PhD).

Официальный рецензент:

к.т.н., ассоциированный профессор Гуманитарной школы,
 НАО «Международный университет туризма и гостеприимства»

