

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	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 aligns with the priority areas of scientific development approved by the Higher Scientific and Technical Commission under the Government of the Republic of Kazakhstan, namely: “Information and Communication Technologies (ICT),” “Artificial Intelligence and Intelligent Systems,” and “Internet of Things (IoT) and Cyber-Physical Systems.” This is particularly relevant in the context of the Address of the President of the Republic of Kazakhstan, K. K. Tokayev, dated September 8, 2025, which emphasizes the need for the implementation of intelligent monitoring systems, digital management, artificial intelligence technologies, and the “Smart Cities” concept to enhance the energy efficiency and sustainability of housing and public utilities infrastructure.
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 represents a meaningful contribution to the development of approaches for intelligent diagnostics of microclimate systems. The relevance of the research is convincingly justified, and the proposed monitoring model based on IoT sensors and machine learning methods demonstrates practical orientation. The

			results obtained have applied value and may be used in microclimate management 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: high. 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	In the dissertation, the relevance of the topic is thoroughly and convincingly justified. The author demonstrates that automated detection and diagnosis of faults in building microclimate systems is an important and timely task, particularly in the context of increasing demands for energy efficiency and the reliability of engineering systems. The dissertation emphasizes that many existing diagnostic approaches were developed for highly automated buildings or under simulated conditions, whereas in Kazakhstan there is a noticeable lack of studies based on real operational data from residential and non-residential buildings. The relevance of the research is further reinforced by the identified need for the digitalization of engineering infrastructure, the implementation of monitoring systems, and intelligent microclimate management, which aligns with current priorities in the housing and utilities sector and supports the improvement of building performance and operational efficiency.
		4.2 The content of the thesis reflects its topic: 1) <u>reflects</u> ; 2) partially reflects; 3) does not reflect	The structure of the dissertation is fully aligned with the stated topic and consistently reflects the content of the research. All chapters correspond to the defined goals and objectives, ensuring coherence and logical continuity throughout the work. No deviations from the

declared subject matter have been identified.		
4.3 The purpose and objectives correspond to the topic of the thesis: 1) <u>correspond</u>; 2) <u>partially correspond</u>; 3) <u>do not correspond</u>	The aim and objectives correspond 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) <u>the relationship is partial</u>; 3) <u>there is no relationship</u>	The sections of the dissertation exhibit strong internal coherence and logical sequencing: each chapter builds upon the outcomes of the preceding one, ensuring continuity of the research narrative.	
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) <u>partial analysis</u>; 3) <u>the analysis does not represent one's own opinions, but quotes from other authors</u>	In the dissertation, the author conducted a thorough examination of existing methods for intelligent fault detection in microclimate systems, comparing different clustering algorithms, data preprocessing techniques, and monitoring architectures. Using comparative tables and a structured review of available approaches, the advantages and limitations of each method were evaluated in the context of real-world data. Based on this analysis, the author proposed and justified a custom solution that integrates Z-score, PCA, and DBSCAN, demonstrating its practical effectiveness for the task at hand.	

5.	The principle of scientific novelty	5.1 Are the scientific results and provisions new? 1) <u>completely new</u>; 2) <u>partially new</u> (25-75% are new); 3) <u>not new</u> (less than 25% are new) 5.2 Are the conclusions of the dissertation new? 1) <u>completely new</u>; 2) <u>partially new</u> (25-75% are new); 3) <u>not new</u> (less than 25% are new) The scientific results of the dissertation include novel and relevant elements. The author obtained and analyzed new experimental microclimate data from residential and non-residential buildings in Kazakhstan, which is particularly valuable given the scarcity of such studies in the region. Based on these data, a diagnostic approach incorporating machine learning algorithms and reliability assessment was developed and validated. The main propositions submitted for defense are coherent, well-founded, and supported by experimental findings, demonstrating the scientific rigor of the research. The results obtained in this research constitute new scientific knowledge and contribute to the advancement of intelligent approaches to microclimate management. The author not only developed a tailored methodology for data processing and analysis but also adapted modern machine learning techniques to the operational conditions of buildings in Kazakhstan. The novelty of the work is reflected in the proposed diagnostic framework, which integrates statistical and clustering algorithms, as well as in the use of experimental datasets that have not previously been examined in national studies. The solutions presented broaden the capabilities of intelligent microclimate monitoring and provide a foundation for further enhancement of automated control systems.
----	-------------------------------------	--

		5.3 Technical, technological, economic, or managerial decisions are new and justified: 1) completely new; 2) <u>partially new</u> (25-75% are new); 3) not new (less than 25% are new)	In this dissertation, a custom microclimate data acquisition system was developed using multiparametric IoT sensors, resulting in a unique experimental dataset tailored to the operational conditions of buildings in Kazakhstan. The author systematically integrated statistical cleaning, dimensionality reduction, and clustering methods into a unified methodology designed for early detection of deviations and potential faults in HVAC systems under unlabeled data conditions. All major conclusions are grounded in reliable scientific evidence and are supported by the experimental findings obtained during the study.
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)	The main conclusions of the dissertation are supported by a sufficient set of scientifically validated data. The author demonstrates that the results are grounded in experimental microclimate measurements processed using modern data analysis methods. The applied algorithms for statistical normalization, dimensionality reduction, and clustering produce reproducible outcomes, which allows the conclusions to be considered research-based and well-substantiated. The evidence presented is adequate and methodologically sound for quantitative research in the field of intelligent systems and data engineering.

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) <u>yes</u>; 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	All key statements submitted for defense are well-substantiated and substantively meaningful; they demonstrate a clear degree of scientific novelty and are supported by the results presented in the author's publications. The obtained research findings are reflected in journal articles and conference papers published in venues indexed in Scopus and Web of Science, including Q1 (85th percentile) and Q2 (58th percentile) journals, as well as in publications included in the List of the Committee for Quality Assurance in the Sphere of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (KKSNO RK). The scientific and practical significance of the results is further reinforced by the author's presentations at international conferences such as ICECCO and PAMDAS, as well as by Author's Certificate of the Republic of Kazakhstan No. 41781 for the developed software product.
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 in the dissertation is used as the foundation for organizing the processes of collecting, processing, and analyzing microclimate data. An important scientific contribution of the work is the author's adaptation of this methodology to the specific tasks of monitoring and early detection of deviations in building microclimate systems. The author extends its

		traditional structure by demonstrating in detail how each phase of the methodology is applied to high-frequency IoT data collected from residential and non-residential buildings in Kazakhstan. The dissertation illustrates how the CRISP-DM approach is integrated into the complete analytical workflow—from understanding the operational conditions of buildings to developing diagnostic models based on statistical and clustering methods. This confirms the appropriateness of the chosen methodological framework and its effective adaptation to real research conditions. The results of the study were obtained using modern data analysis and machine learning methods, which ensured a high level of accuracy and reliability of the conclusions. The work employs various algorithms for statistical normalization, dimensionality reduction, and clustering, including Z-score, PCA, and DBSCAN, and introduces a custom system for collecting high-frequency IoT data in real buildings in Kazakhstan. The author demonstrates how the combination of these methods enables the early detection of deviations in microclimate system performance under conditions of unlabeled data and limited information about internal HVAC processes. The use of experimental datasets collected from residential and non-residential buildings made it possible to conduct a comprehensive analysis of operational conditions and validate the effectiveness of the proposed approaches. This underscores the contemporary nature of the methods applied and their relevance for intelligent diagnostics and monitoring of building engineering systems.
	8.2 The results of the thesis were obtained using modern methods of scientific research and techniques for processing and interpreting data using computer technologies: 1) <u>Yes</u>; 2) <u>no</u>	

		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 8.4 Important statements <u>are</u> supported / 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 theoretical conclusions are supported by experimental studies, and the key statements are corroborated by current scientific sources. The literature is relevant and reliable.
9	Principle of practical value	9.1 The dissertation has theoretical significance: 1) <u>yes</u>; 2) no.	The dissertation has theoretical significance, as the author systematizes and advances existing approaches to microclimate system diagnostics (FDD), justifies and adapts the CRISP-DM methodology for the analysis of high-frequency IoT data, and develops an integrated diagnostic framework that combines statistical normalization, dimensionality reduction, and clustering methods. This synthesis of methodological and algorithmic solutions expands the theoretical

		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. 9.3 Are the suggestions for practice new? 1) completely new; 2) partially new (25-75% are new); 3) not new (less than 25% are new)	foundation of intelligent data analysis in engineering systems and contributes to the further development of scientific principles for monitoring and diagnosing HVAC equipment. The dissertation has clear practical significance, and the results obtained show strong potential for real-world implementation. The developed methods and experimentally validated algorithms can be applied in engineering practice to enhance the reliability of HVAC equipment and improve the operational efficiency of building microclimate management systems. The practical recommendations presented in the dissertation contain elements of novelty and represent partially new solutions that enhance existing approaches to microclimate monitoring and diagnostics.
10.	Quality of writing and design	Quality of academic writing: 1) high; 2) <u>average</u>; 3) below average; 4) low.	The quality of academic writing in the dissertation can be considered adequate for a scholarly work: the text is well-structured, the main arguments are presented coherently, and the reasoning is logical. The author adheres to an academic style, uses terminology appropriately, and complies with the formal requirements of a dissertation. Some sections contain an excessive level of detail, but this does not compromise the overall clarity or the scientific value of the work.
11.	Comments and suggestions on the dissertation	1. The introduction contains a broad overview of related domains (greenhouses, hospitals), but their connection to the main research problem is not clearly demonstrated (pp. 13–14). 2. In the section “Research Aim and Objectives” (p. 8), the aims and objectives are formulated too broadly and partially overlap: several objectives essentially restate specific stages of data processing and therefore duplicate each other conceptually. This reduces the focus and logical	

		hierarchy of the research goals. 3. The rationale for choosing the specific combination Z-score → PCA → DBSCAN is insufficiently justified. 4. There is no analysis of the metrological characteristics of the sensors (BME280, CCS811, etc.): measurement errors, temperature drift, or recalibration requirements are not discussed (Section 4). 5. The number of real fault cases is very limited; no detailed examples of actual HVAC failures or incident behaviors are presented. 6. Seasonality analysis is missing: except for a general mention of winter and summer, no seasonal graphs or comparative assessments are provided. 7. There is no analysis of feature correlations before and after PCA, which would be valuable for interpreting the transformed components (Section 7). 8. The chosen DBSCAN parameters ($\epsilon = 1.1$, $\text{min_samples} = 5$) are not justified: no grid-search or sensitivity analysis is provided (p. 9, Section 7). 9. The comparison with K-means is performed only qualitatively, without quantitative metrics. 10. No anomaly-detection evaluation metrics are presented. 11. The dissertation lacks consistency in citation formatting: some references are given in square brackets, while others appear in parentheses (pp. 61, 63).
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 complies with the requirements for PhD dissertation.
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, Nurkamilya 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:

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Professor at the School of Artificial Intelligence and Data Science,
Astana IT University



Biloshchytska Svitlana



ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО РЕЦЕНЗЕНТА

на диссертационную работу **Дауренбаевой Нуркамлиг Алдангаровны** на тему «**Smart Fault Detection System for building microclimate control**» («Интеллектуальная система диагностирования 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 направлению развития науки и/или государственным программам	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 соответствует приоритетным направлениям развития науки, утвержденным Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан, а именно: «Информационно-коммуникационные технологии (ИКТ)», «Искусственный интеллект и интеллектуальные системы» и «Интернет вещей (IoT) и киберфизические системы». Это особенно актуально в контексте Послания Президента Республики Казахстан К.К. Токаева от 8 сентября 2025 года, где подчеркнута необходимость внедрения интеллектуальных систем мониторинга, цифрового управления, технологий искусственного интеллекта и концепции «Smart Cities» для повышения энергоэффективности и устойчивости жилищно-коммунальной инфраструктуры.
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит/не вносит</u> существенный вклад в науку, а ее важность <u>хорошо раскрыта/не раскрыта</u> .	Работа представляет собой значимый вклад в развитие подходов к интеллектуальной диагностике микроклиматических систем. Актуальность исследования убедительно обоснована, а предложенная модель мониторинга на основе IoT-датчиков и методов машинного

			обучения демонстрирует практическую направленность. Полученные результаты обладают прикладной ценностью и могут найти применение в системах управления микроклиматом жилых и нежилых зданий.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: <u>1) высокий;</u> 2) средний; 3) низкий; 4) самостоятельности нет.	Уровень самостоятельности: высокий. Диссертационная работа выполнена автором самостоятельно на всех этапах научного исследования.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) <u>обоснована;</u> 2) частично обоснована; 3) не обоснована.	В диссертационной работе актуальность темы раскрыта полно и аргументированно. Автор показывает, что автоматизированное обнаружение и диагностика неисправностей в микроклиматических системах зданий представляет собой важную и востребованную задачу, особенно в условиях растущих требований к энергоэффективности и надёжности инженерных систем. В работе подчёркивается, что существующие подходы к диагностике преимущественно разрабатывались для высокоавтоматизированных зданий или в условиях моделирования, тогда как для Казахстана характерна ограниченность исследований, основанных на реальных данных эксплуатации жилых и нежилых зданий. Актуальность темы дополнительно подтверждается обозначенной в диссертации необходимостью цифровизации инженерной инфраструктуры, внедрения систем мониторинга и интеллектуального управления микроклиматом, что соответствует направлениям развития жилищно-коммунальной сферы и задачам повышения эффективности функционирования зданий.

	4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) <u>отражает</u>; 2) <u>частично отражает</u>; 3) <u>не отражает</u>.	Структура диссертации полностью соответствует заявленной теме и логично раскрывает содержание исследования. Все разделы последовательно отражают поставленные цели и задачи, обеспечивая целостность и связность работы. Нарушений тематического соответствия не выявлено.
	4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) <u>соответствуют</u>; 2) <u>частично соответствуют</u>; 3) <u>не соответствуют</u>.	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.
	4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) <u>полностью взаимосвязаны</u>; 2) <u>взаимосвязь частичная</u>; 3) <u>взаимосвязь отсутствует</u>.	Разделы диссертации демонстрируют внутреннюю связность и логическую последовательность: изложение материала построено так, что каждая последующая глава продолжает и развивает результаты предыдущей.
	4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями: 1) <u>критический анализ есть</u>; 2) <u>анализ частичный</u>; 3) <u>анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов</u>; 4) <u>анализ отсутствует</u>.	В диссертации автор провёл тщательный анализ существующих методов интеллектуальной диагностики микроклиматических систем, сопоставив различные алгоритмы кластеризации, способы обработки данных и варианты архитектур мониторинга. На основе сравнительных таблиц и структурированного обзора подходов показаны их преимущества и ограничения в контексте реальных данных. Учитывая результаты этого анализа, автор сформировал и обосновал собственный подход, включающий сочетание Z-score, PCA и DBSCAN, продемонстрировав его практическую эффективность в решении поставленной задачи.

5. Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) <u>полностью новые</u>; 2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%)</u>; 3) не новые (новыми являются менее 25%).	Научные результаты диссертационной работы содержат элементы новизны и обладают актуальностью. Автором впервые получены и проанализированы экспериментальные данные микроклимата жилых и нежилых зданий в условиях Казахстана, что само по себе представляет ценность, учитывая ограниченность подобных исследований. На основе этих данных разработан и апробирован подход к диагностике состояния микроклиматических систем с использованием методов машинного обучения и оценки надёжности. Представленные положения, выносимые на защиту, последователи, аргументированы и подтверждены экспериментальными результатами, что свидетельствует о научной состоятельности выполненного исследования. Полученные в ходе исследования результаты представляют собой новое научное знание и вносят вклад в дальнейшее развитие интеллектуальных подходов к управлению микроклиматическими системами. Автору удалось не только сформировать собственную методику обработки и анализа данных, но и адаптировать современные методы машинного обучения к условиям эксплуатации зданий в Казахстане. Новизна проявляется как в разработке диагностического подхода, основанного на комбинации статистических и кластеризационных алгоритмов, так и в использовании экспериментальных данных, ранее не привлекавшихся в отечественных исследованиях. Представленные решения расширяют возможности интеллектуального мониторинга микроклимата и создают основу для последующего совершенствования автоматизированных систем управления.
5.2 Выводы диссертации являются новыми?	1) <u>полностью новые</u>; 2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%)</u>; 3) не новые (новыми являются менее 25%).	

	5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными: 1) полностью новые; 2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%)</u>; 3) не новые (новыми являются менее 25%).	В диссертационной работе разработана собственная система сбора данных микроклимата на основе многопараметрических IoT-датчиков, что позволило сформировать уникальный набор экспериментальных данных для условий Казахстана. Автор последовательно интегрировал методы статистической очистки, снижения размерности и кластеризации, объединив их в единую методологию, ориентированную на выявление ранних отклонений и потенциальных неисправностей HVAC-систем при отсутствии размеченных данных. Все сформулированные выводы опираются на объективные экспериментальные результаты и подтверждаются полученными эмпирическими наблюдениями.
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 и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам).	Основные выводы диссертации опираются на достаточную совокупность научно подтверждённых данных. Автор демонстрирует, что сформулированные результаты основаны на экспериментальных измерениях микроклимата, обработанных с использованием современных методов анализа данных. Применённые алгоритмы статистической нормализации, снижения размерности и кластеризации дают воспроизводимые результаты, что позволяет считать выводы исследовательски обоснованными. Представленные доказательства являются достаточными и методологически корректными для количественного исследования в области интеллектуальных систем и инженерии данных.

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? 1) <u>да</u>; 2) <u>нет</u>; 3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно. 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 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.	Все основные положения, выносимые на защиту, являются обоснованными и содержательно значимыми; они отличаются определённой степенью научной новизны и подтверждаются результатами, представленными в публикациях автора. Полученные материалы отражены в статьях и тезисах международных конференций, включая издания, индексируемые в Scopus и Web of Science и относящиеся к квартилям Q1 (85-й перцентиль) и Q2 (58-й перцентиль), а также в работах, входящих в перечень ККСНВО РК. Научная и практическая значимость результатов дополнительно подкреплена докладами автора на международных конференциях ICESCO и RAMDAS, а также авторским свидетельством Республики Казахстан №41781 на программный продукт.
---	--	---

8. Принципы достоверности. Достоверность источников и предоставляемой информации.	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана: 1) <u>да</u> ; 2) нет.	Методология CRISP-DM в диссертации используется как основа для организации процессов сбора, обработки и анализа микроклиматических данных. Важным научным результатом является то, что автор адаптировал данную методологию к специфике задач мониторинга и раннего выявления отклонений в микроклиматических системах зданий. Автор расширил её традиционную структуру, подробно показав, как каждый этап методологии применяется к высокочастотным IoT-данным, собранным в жилых и нежилых зданиях Казахстана. В работе демонстрируется, каким образом подход CRISP-DM был интегрирован в полный цикл обработки: от понимания эксплуатационных условий зданий до формирования диагностических моделей на основе статистических и кластеризационных методов. Это подтверждает корректность выбора методологической базы и её успешную адаптацию к реальным условиям исследования.
	8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий: 1) <u>да</u> ; 2) нет.	Результаты исследования получены с использованием современных методов анализа данных и машинного обучения, что обеспечило высокую степень точности и достоверности выводов. В работе применены различные алгоритмы статистической нормализации, снижения размерности и кластеризации, включая Z-score, PCA и DBSCAN, а также разработанная система сбора высокочастотных IoT-данных в условиях реальных зданий Казахстана. Автор продемонстрировал, как сочетание этих методов позволяет выявлять ранние отклонения в работе микроклиматических систем при отсутствии разметки и минимальной информации о внутренних процессах HVAC-оборудования. Использование экспериментальных данных, собранных в жилых и нежилых помещениях, позволило провести комплексный анализ условий эксплуатации и подтвердить эффективность выбранных подходов. Это

			подчеркивает современный характер использованных методов и их применимость в задачах интеллектуальной диагностики и мониторинга инженерных систем.
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): 1) да; 2) нет.	Теоретические выводы доказаны экспериментальными исследованиями, подтверждены актуальными научными источниками.		
8.4 Важные утверждения подтверждены/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	Литература актуальна и достоверна.		
8.5 Используемые источники литературы достаточны/не достаточны для литературного обзора.	В обзоре литературы автор проанализировала 106 источников, что свидетельствует о достаточно широком охвате теоретических и прикладных работ по тематике микроклимата, HVAC-систем, машинного обучения и диагностики неисправностей. Преобладают современные публикации последних лет: значительная часть работ относится к периоду 2015–2024 гг., включая статьи 2020–2024 годов по методам FDD, применению машинного обучения, а также адаптациям CRISP-DM и другим процессным методологиям анализа данных.		

9 Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) <u>да</u>; 2) <u>нет</u>.	Диссертация обладает теоретической значимостью, поскольку автор систематизирует и развивает существующие подходы к диагностике микроклиматических систем (FDD), обосновывает и адаптирует методологию CRISP-DM к анализу высокочастотных IoT-данных, а также формирует интегрированный диагностический подход, сочетающий статистическую нормализацию, снижение размерности и методы кластеризации. Такое объединение методологических и алгоритмических решений расширяет теоретическую базу интеллектуального анализа данных в инженерных системах и способствует дальнейшему развитию научных основ мониторинга и диагностики HVAC-оборудования.
9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) <u>да</u>; 2) <u>нет</u>.	Диссертация обладает выраженной практической значимостью, и полученные результаты имеют высокий потенциал для внедрения в реальные системы мониторинга и управления микроклиматом. Разработанные методы и экспериментально подтвержденные алгоритмы могут быть использованы в инженерной практике для повышения надёжности HVAC-оборудования и эффективности эксплуатации зданий.	
9.3 Предложения для практики являются новыми: 1) <u>полностью новые</u>; 2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%)</u>; 3) <u>не новые (новыми являются менее 25%)</u>.		Предложения, сформулированные в диссертации для практического применения, включают элементы новизны и представляют собой частично новые решения, расширяющие существующие подходы к мониторингу и диагностике микроклиматических систем.

10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) высокое; 2) <u>среднее</u>; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Качество академического письма в диссертации можно оценить как достаточное для научной работы: текст структурирован, основные положения изложены последовательно, аргументация логична. Автор придерживается научного стиля, корректно использует терминологию и соблюдает требования к оформлению диссертационного исследования. В отдельных разделах встречается избыточная детализация, однако это не нарушает целостности изложения и не снижает восприятие научного содержания.
11.	Замечания к диссертации	1. Введение содержит широкий обзор смежных областей (greenhouses, hospitals), но их связь с основной задачей не показана (с. 13–14). 2. В разделе “Research Aim and Objectives” (стр. 8) цели и задачи сформулированы широко и частично пересекаются: отдельные задачи фактически представляют собой детализацию этапов обработки данных и в ряде случаев повторяют друг друга по смыслу. Это снижает фокус и логическую иерархию исследовательских целей. 3. Недостаточно обоснован выбор именно комбинации Z-score → PCA → DBSCAN. 4. Отсутствует анализ метрологических характеристик датчиков (BME280, CCS811 и др.): ошибка измерения, температурный дрейф, пер-калибровка (раздел 4). 5. Слишком малое число кейсов по реальным отказам (не представлены примеры реальных аварий в HVAC). 6. Отсутствует анализ сезонности кроме общего упоминания (зимой и летом), не предоставлены графики или сравнения. 7. Нет анализа корреляций между признаками до и после PCA — было бы полезно для интерпретации (раздел 7). 8. Выбор параметров DBSCAN (eps=1.1, min_samples=5) не обоснован: нет grid-search или sensitivity analysis (стр.9, раздел 7). 9. Сравнение с K-means выполнено только качественно, без метрик. 10. Отсутствуют метрики качества обнаружения аномалий. 11. В работе нарушается единообразие в оформлении ссылок: часть источников приводится в квадратных скобках, часть — в круглых (стр.61, 63).	

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.
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 Нуркамили Алдантаевна** на тему «Smart Fault Detection System for building microclimate control» («Интеллектуальная система диагностики 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:

Д.Т.Н., Доцент
профессор Школы искусственного интеллекта и науки о данных,
TOO Astana IT University


Бегоницкая Светлана Васильевна
Бегоницкая Светлана Васильевна
Бегоницкая Светлана Васильевна