

официального рецензента на диссертационную работу
Турлыкожаевой Даны Абдыкумаровны на тему «Информационно-энтропийный метод маршрутизации беспроводных сетей»,
 предоставляющую на соискание степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D06201 – Радиотехника,
 электроника и телекоммуникации».

ОТЗЫВ

№ 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).	Тема диссертации «Информационно-энтропийный метод маршрутизации беспроводных сетей» актуальна в условиях развития беспроводных технологий и необходимости повышения устойчивости и эффективности сетевых решений. Работа направлена на решение научных задач в области оптимизации маршрутизации в беспроводных ячеистых сетях (WMN). Диссертация выполнена в рамках проекта, финансируемого из государственного бюджета: AP19674715 – Маршрутизация беспроводных ‘mesh’ сетей на основе ‘box- covering’ алгоритмов, реализуемого в рамках грантового финансирования научных исследований Комитета науки Министерства науки и высшего образования РК. Автор является научным сотрудником данного проекта, активно участвует в научной разработке и внедрении алгоритмов маршрутизации. Работа соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан: «Информационные, телекоммуникационные и космические технологии», с акцентом на интеллектуальные алгоритмы передачи и обработки информации, устойчивые решения в распределенных системах и цифровую трансформацию сетей связи. В дополнение диссертация согласуется с целями и задачами Концепции развития высшего образования и науки в Республике Казахстан на 2023- 2029 годы, утвержденной постановлением Правительства РК от 28.03.2023

			№ 248, в части развития цифровых технологий, инженерных компетенций и прикладных научных исследований, направленных на технологическую модернизацию.
2.	Важность для науки	Работа вносит/не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта/не раскрыта.	Диссертационная работа «Информационно-энтропийный метод маршрутизации беспроводных сетей» вносит важный вклад в развитие науки, особенно в области оптимизации сети и маршрутизации. Автор предложил новаторские подходы, которые нашли отражение в 8 статьях, опубликованных в международных научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus. Также результаты исследования были защищены двумя патентами на полезные модели, что подтверждает практическую ценность и инновационность предложенных методов для беспроводных сетей.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности: 1) высокий; 2) средний; 3) низкий; 4) самостоятельности нет.	Высокий уровень самостоятельности докторант продемонстрировал на всех этапах работы. Все основные результаты, выносимые на защиту, получены им самостоятельно. Личный вклад автора включает проведение обзора литературы, написание и редактирование научных статей, разработку и моделирование сетей в среде Python и NS3 для анализа беспроводных сетей. Кроме того, докторант провел расчеты фрактальных размерностей для изучения топологических характеристик сети и их влияния на маршрутизацию.
4.	Принцип внутреннего единства	4.1. Обоснование актуальности диссертации:	Докторант также реализовал алгоритмы маршрутизации и провел сравнительный анализ с существующими методами. Важным результатом работы стал эксперимент по получению реальных сигналов MIMO для автоматической классификации модуляции, который подтвердил практическую работоспособность предложенного метода. Теоретическая часть работы разрабатывалась под руководством научного консультанта, а практическая часть, включая расчеты и программную реализацию, была выполнена автором работы.
			Актуальность диссертации обоснована значимостью разработки новых методов маршрутизации для WMN, которые играют важную роль в

	1) обоснована;	построении гибких и масштабируемых сетевых инфраструктур. Несмотря на потенциальные преимущества WMN, такие как высокая отказоустойчивость и возможность самовостановления, их эффективная эксплуатация осложняется рядом факторов. Это включает динамичную топологию сети, изменения характеристик канала и высокий уровень шума, что ведет к трудностям в равномерном распределении узлов и снижению быстродействия маршрутизации. Для решения этих проблем необходимо создание новых алгоритмов оптимизации, способных адаптироваться к изменениям в сети и обеспечивать надежную и высокоскоростную маршрутизацию. Предложенные в диссертации методы, такие как алгоритм классификации типов модуляции для достоверного приема сигналов, кластеризация на основе теории "box covering" и алгоритм маршрутизации с применением информативной энтропии, являются современными и необходимыми для оптимизации маршрутизации и улучшения общей производительности WMN в условиях изменяющихся внешних факторов.
	2) частично обоснована;	
	3) не обоснована.	
	4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:	Содержание диссертации соответствует заявленной теме. В первом разделе представлен обзор методов маршрутизации, кластеризации и классификации. Во втором разделе разработан алгоритм классификации модуляции, в третьем – метод кластеризации, в четвертом – алгоритм маршрутизации PERA, основанный на теории информации.
	1) отражает;	
	2) частично отражает;	
	3) не отражает.	
	4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:	Цель и задачи полностью соответствуют теме диссертации. Цель заключается в оптимизации маршрутизации в WMN посредством разработки инновационных алгоритмов, включая алгоритм классификации типов модуляции для достоверного приема сигналов, PERA для повышения быстродействия и PERA для улучшения надежности приема и пропускной способности сети. Задачи, включающие разработку алгоритмов классификации модуляции, кластеризации и маршрутизации, направлены на решение ключевых проблем, связанных с улучшением передачи данных и оптимизацией маршрутов в таких сетях, что напрямую соответствует заявленной теме.
	1) соответствуют;	
	2) частично соответствуют;	
	3) не соответствуют.	

	4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) полностью взаимосвязаны; 2) взаимосвязь частичная; 3) взаимосвязь отсутствует.	Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны и составляют единую, последовательную структуру. Каждый раздел поддерживает и развивает основные идеи работы, обеспечивая плавный переход от теоретических основ к практическим разработкам. Разделы, посвященные алгоритму классификации, и маршрутизации, основаны на общих принципах информационно-энтропийного подхода, что позволяет создать связанное и непротиворечивое изложение материала. Все этапы исследования взаимодополняют друг друга, что способствует логичному и последовательному раскрытию темы.
	4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями: 1) критический анализ есть; 2) анализ частичный; 3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов; 4) анализ отсутствует.	В диссертации проведен критический анализ существующих методов и предложенных автором решений. Сравнение показало преимущества новых методов в улучшении производительности маршрутизации и кластеризации в WMN, а также их вычислительные преимущества по сравнению с традиционными подходами.
5. Принципы научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%). 5.2 Выводы диссертации являются новыми? 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%);	Научные результаты работы являются частично новыми. Разработаны оригинальные алгоритмы классификации модуляции, кластеризации и маршрутизации, основанные на применении взаимной информации, эксцентриситета и условной информации пути. Эти подходы ранее не использовались в задачах оптимизации WMN. Вместе с тем в работе применяются известные теоретические методы и инструменты моделирования. Выводы диссертации частично новые, так как предложен комплексный подход для оптимизации сети и маршрутизации. Этот подход включает инновационные алгоритмы для классификации модуляции, кластеризации CPEA и маршрутизации IERCA, а также использует проверенные методы теории графов и численного моделирования.

	3) не новые (новыми являются менее 25%). 5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными: 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%); 3) не новые (новыми являются менее 25%).	Разработанная программная модель для оптимизации маршрутизации в WMN является новой и обоснованной. Эффективность технических решений, представленных в диссертации, подтверждена на основе численного моделирования, экспериментальных данных и сравнительного анализа с существующими алгоритмами. Это демонстрирует высокую результативность предложенных методов для улучшения быстродействия, надежности и пропускной способности сети в реальных условиях беспроводной связи.
6.	Обоснованность основных выводов Все основные выводы основаны/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research (квалитатив ресеч) и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам).	Основные выводы работы основаны на теоретических знаниях в области телекоммуникаций, радиотехники и обработки сигналов, а также подтверждены с помощью компьютерного моделирования и аналитических расчетов, проведенных в рамках разработки алгоритмов для оптимизации маршрутизации в WMN. При этом алгоритм классификации модуляции был дополнительно проверен с использованием реальных экспериментальных данных.
7.	Основные положения, выносимые на защиту Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдележности: 7.1. Доказано ли положение? 1) доказано; 2) скорее доказано; 3) скорее не доказано; 4) не доказано; 5) в текущей формулировке проверить доказанность положения невозможно.	Первое положение 7.1. Положение подтверждено как теоретическим обоснованием, так и экспериментом с передачей сигналов через ММО-антенны и численным моделированием. Использована взаимная информация как критерий, а также приведены сравнительные данные по точности классификации с другими алгоритмами. 7.2. Использование взаимной информации как признака для классификации модуляции в условиях низкого SNR – это нетривиальное решение, учитывающее вероятностные взаимосвязи сигналов. Повышение точности классификации на 50 % делает метод содержательно новым и значимым.

	7.2 Является ли тривиальным? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно. 7.3 Является ли новым? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить новизну положения невозможно. 7.4 Уровень для применения: 1) узкий; 2) средний; 3) широкий; 4) в текущей формулировке проверить уровень применения положения невозможно. 7.5 Доказано ли в статье? 1) да; 2) нет; 3) в текущей формулировке проверить доказанность положения в статье невозможно.	
	7.3 Методология построена на оригинальном применении взаимной информации для повышения точности определения типа модуляции, что ранее не использовалось в аналогичных задачах. 7.4 Алгоритм может применяться в различных типах телекоммуникационных систем, где требуется надёжная классификация сигналов при низком SNR, включая беспроводные сети и когнитивные радиосистемы. 7.5 Подтверждено публикацией "Automatic modulation classification for MIMO system based on the mutual information feature extraction", где представлены экспериментальные данные и сравнительный анализ, подчёркивающие практическую эффективность метода. Второе положение 7.1 Результаты численного моделирования показывают, что предложенный алгоритм (CIEA) обеспечивает быстрое действие маршрутизации на 20 микросекунд в WMN (3280 узлов), по сравнению с Dijkstra. Подтверждено публикацией "Centre including essentiality algorithm for complex networks". 7.2 Метод кластеризации, использующий эксцентриситет для оценки структуры сети, является нетривиальным, так как он сочетает геометрический подход с топологическим анализом сети, что не встречается в других существующих алгоритмах. 7.3 Такой алгоритм кластеризации с использованием эксцентриситета и концепции центрированности не был предложен в предыдущих исследованиях. Это новый взгляд на проблему кластеризации с точки зрения топологических характеристик сети. 7.4 Алгоритм может быть адаптирован для различных сетевых архитектур, где требуется эффективное распределение нагрузки между маршрутизаторами – например, в MANET, сенсорных сетях и городских mesh-инфраструктурах. 7.5 Подтверждено публикациями: "Routing Algorithm for Software Defined Network Based on Voronoi Algorithm" и "Cluster router based on essentiality". В этих статьях рассчитано время поиска кратчайшего пути при объединении алгоритма кластеризации с алгоритмом маршрутизации, а	

		также разработан кластерный маршрутизатор, основанный на экстенсивистах. Третье положение 7.1 Положение доказано тем, что алгоритм IERDA значительно улучшает пропускную способность сети и минимизирует задержки в сравнении с классическими методами маршрутизации, такими как AODV и OLSR. Положение подтверждено статьей "A Routing Algorithm for Wireless Mesh Network Based on Information Entropy Theory". 7.2 Метод основан на энтропийных характеристиках, что требует понимания глубинных статистических закономерностей – подход не является тривиальным для маршрутизации. 7.3 Алгоритм IERDA впервые использует метрику условной информации как основу маршрутизирующего решения, что позволяет принимать адаптивные решения на уровне распределения трафика между маршрутизаторами. 7.4 Метод применим в широком спектре децентрализованных сетей с высокой нагрузкой на маршрутизаторы: промышленные IoT-сети, умные города, автономные системы мониторинга, где эффективность маршрутизации критична. 7.5 Положение доказано в статьях "Routing metric and protocol for wireless mesh network based on information entropy theory" и "A Routing Algorithm for Wireless Mesh Network Based on Information Entropy Theory", где предложены методы маршрутизации, основанные на теории информации и энтропии.
8. Принцип достоверности. Достоверность источников и предоставляемой информации	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана: 1) да; 2) нет.	Методология исследования обоснована и включает методы теории графов (box covering для кластеризации), информационной теории (взаимная информация для классификации сигналов), численного моделирования (NS3 и Python) и экспериментальную передачу сигнала через ММО-антенны. Каждый метод подробно описан и поддержан теоретическими и практическими доводами, что обеспечивает точность и верификацию результатов.

	8.2. Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий:	Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований, включая теорию графов, информационную теорию и численное моделирование. В частности, применены методики обработки и интерпретации данных с использованием алгоритмов для кластеризации сетей (метод <i>box covering</i>), анализа взаимной информации для классификации сигналов, а также численного моделирования с использованием программных средств, таких как NS3 и Python. Экспериментальная часть работы включает передачу сигнала через MIMO-антенны, что позволило верифицировать предложенные алгоритмы на практике. Все данные были обработаны с помощью специализированных библиотек Python (например, NetworkX для моделирования сетей, NumPy и SciPy для вычислений), что обеспечило точность, надежность и возможность масштабирования 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, модели и выявленные закономерности подтверждены экспериментальными исследованиями, включая численное моделирование с использованием Python, а также реальными экспериментами, проведенными с передачей сигнала через MIMO-антенны. Эти исследования доказали эффективность предложенных методов на практике.
	1) да;	
	2) нет.	
	8.4. Важные утверждения подтверждены/частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	Важные утверждения работы подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу, включая публикации в рецензируемых международных журналах и исследования, которые поддерживают теоретические и практические аспекты предложенных методов. Использованы источники, охватывающие ключевые области исследования, такие как теория графов, информационную теорию, методы численного моделирования и экспериментальные подходы. Все цитируемые работы

		8.5 Используемые источники литературы достаточны/не достаточны для литературного обзора.	Используемые источники литературы достаточны для литературного обзора, так как охватывают все основные направления исследования, включая теорию графов, информационную теорию, численное моделирование и экспериментальные подходы. Источники включают актуальные работы из рецензируемых международных журналов, что подтверждает их значимость и современность для решения поставленных задач.
9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение: 1) да; 2) нет. 9.2 Диссертация имеет практическое значение и способствует высокой вероятности применения полученных результатов на практике: 1) да; 2) нет. 9.3 Предложения для практики являются новыми: 1) полностью новые; 2) частично новые (новыми являются 25-75%);	Диссертация имеет значительное теоретическое значение, поскольку в ней разработаны новые теоретические подходы и модели для оптимизации маршрутизации в WMN. Включение таких методов, как кластеризация на основе эксцентриситета и использование информационно-энтропийных критериев для оценки маршрутов, расширяет теоретические основы в области маршрутизации и управления трафиком в современных беспроводных сетях. Предложенные решения показывают важность применения информационной теории и теории графов для решения практических задач оптимизации. Практическое значение работы заключается в разработке моделей маршрутизаторов, таких как кластерный маршрутизатор на основе эксцентриситета и маршрутизатор с информационно-энтропийным анализом, которые могут быть применены в IoT, мобильных и мониторинговых сетях. Результаты подтверждены численным моделированием и экспериментами, что подтверждает их практическую применимость. Предложенные подходы к оптимизации маршрутизации в WMN, основанные на информационно-энтропийных критериях, не использовались ранее в известных работах. Эти подходы открывают возможности для более адаптивного, устойчивого и информационно обоснованного управления маршрутами в WMN. Предложенные

	3) не новые (новыми являются менее 25%).	модельные маршрутизаторы, такие как кластерный на основе эксцентриситета и маршрутизатор с информационно-энтропийным анализом, являются частично новыми и инновационными. Эти методы, не использовавшиеся ранее в таком сочетании для маршрутизации в беспроводных сетях, улучшат эффективность и адаптируемость решений.
10. Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) высокое; 2) среднее; 3) ниже среднего; 4) низкое.	Диссертация отличается высоким качеством академического письма. Текст четко структурирован, логично построены разделы, аргументация последовательна, а изложение научных идей ясное и точное. Стиль написания соответствует требованиям научных работ, а ссылки на источники корректно оформлены.
11. Замечания к диссертации	1) Было бы полезно расширить объём экспериментальных оценок дополнительными практическими проверками для укрепления достоверности выводов. 2) Необходимо более подробно описать процесс эксперимента и представить результаты в сравнении с теоретическими расчетами или другими методами для лучшей верификации алгоритмов. 3) В тексте встречаются аббревиатуры, которые не всегда расшифровываются при первом упоминании. Это может затруднить восприятие, особенно для читателей, не знакомых с темой.	
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 статей докторанта по теме исследования можно оценить как высокий. Все ключевые положения диссертационной работы опубликованы в рецензируемых международных журналах, входящих в базы данных Scopus и Web of Science, что свидетельствует о признании научного вклада со стороны профессионального сообщества. 1. Статья в IEEE Access (2024): "Automatic Modulation Classification for MIMO System Based on the Mutual Information Feature Extraction" демонстрирует высокий уровень теоретической глубины и актуальность. Использование взаимной информации для классификации сигналов в условиях низкого SNR представляет собой оригинальный подход. Журнал с высоким импакт-фактором и 92-м процентилем подтверждает научную значимость работы. 2. Статьи в Electronics Letters и Eurasian Physical Technical Journal (2022): Работы "Sentinel including essentiality algorithm for complex networks" и "Cluster router based on essentiality" предлагают новые алгоритмические решения для кластеризации сетей. Несмотря на лаконичность формата Electronics Letters, статья содержит весомую новизну в подходе к маршрутизации на основе графовых характеристик.	

	3. Стаття в ЖЕТ Communications (2025): "A routing algorithm for wireless mesh network based on information entropy theory" – значуща дослідницька робота, в якій розроблено та протестовано алгоритм маршрутизації з опорою на інформаційно-ентропійні критерії. Незважаючи на 37-й процентиль журналу, стаття має методологічну цілісність і практичну направленість. 4. Стаття в Eurasian Physical Technical Journal (2023): "Routing metric and protocol for wireless mesh network based on information entropy theory" розширює пропозиції ідеї і демонструє послідовну наукову роботу теми. В цілому, всі 8 публікацій, представлені на захисті, охоплюють як теоретичні основи, так і практичні аспекти розробки маршрутизаторів для WMN, що забезпечує всесторонню і комплексну наукову підтримку дисертаційного дослідження.
13. Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)	Дисертаційна робота на тему «Інформаційно-ентропійний метод маршрутизації безпроводних мереж» представляє собою завершене і глибоке наукове дослідження, повністю відповідне вимогам, пред'являемым до дисертацій на соискання ступеня доктора філософії (PhD). Соискатель, Турлыкожаева Дана Абдыкумаровна, заслуговує присудження ступеня доктора філософії (PhD) по спеціальності «8D06201 – Радіотехніка, електроніка і телекомунікації».

Официальный рецензент:

PhD, асоційований професор кафедри «Кибербезпеки, обробки і зберігання інформації», Інститут автоматики і інформаційних технологій, Казахський національний дослідницький технічний університет ім. К.И. Сатпаєва.



Албанбай Нұртай