

ОТЗЫВ

официального рецензента на диссертационную работу

Нурахова Едиля Сергазиевича на тему «Разработка методов прогнозирования показателей качества в 5G Standalone сетях с использованием машинного обучения», предоставленную на соискание степени доктора философии (PhD) по специальности «8D06102 – Компьютерная 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); <u>3) диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление).</u>	Тематика диссертационного исследования соответствует приоритетному направлению развития науки «Передовое производство, цифровые и космические технологии», утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан. Исследование направлено на развитие цифровых и телекоммуникационных технологий, включая сети связи пятого поколения (5G), программно-конфигурируемые сети и методы искусственного интеллекта для анализа и прогнозирования состояния сетевой инфраструктуры. Исследование посвящено актуальным вопросам анализа,

			моделирования и прогнозирования показателей качества сетей пятого поколения (5G Standalone), а также использованию методов машинного обучения для решения задач мониторинга и управления состоянием телекоммуникационных систем. Полученные результаты соответствуют современным тенденциям развития цифровой инфраструктуры, интеллектуальных сетей связи и технологий искусственного интеллекта.
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит</u> /не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо <u>раскрыта</u> /не раскрыта.	Работа вносит существенный вклад в развитие методов исследования и прогнозирования показателей качества сетей 5G Standalone. Научная значимость исследования заключается в разработке воспроизводимой программно-определяемой экспериментальной среды, формировании методики получения контролируемых данных, исследовании закономерностей деградации качества обслуживания и разработке подходов к прогнозированию состояния

			сети на основе методов машинного обучения. Важность полученных результатов в диссертации раскрыта достаточно полно.
3.	Принцип самостоятельности	Уровень самостоятельности:	Уровень самостоятельности автора оценивается как высокий. Соискателем самостоятельно выполнены анализ научной литературы, проектирование и реализация экспериментального стенда на базе Open5GS и srsRAN, проведение экспериментальных исследований, формирование набора данных, разработка методов анализа и прогнозирования, а также интерпретация полученных результатов.
		1) <u>высокий</u> ;	
		2) средний;	
		3) низкий;	
		4) самостоятельности нет.	
4.	Принцип внутреннего единства	4.1 Обоснование актуальности диссертации:	Актуальность диссертационного исследования обоснована. Рост масштабов внедрения сетей 5G Standalone, усложнение механизмов управления сетью и повышение требований к качеству обслуживания делают задачу прогнозирования показателей
		1) <u>обоснована</u> ;	
		2) частично обоснована;	
		3) не обоснована.	

			качества связи научно и практически значимой.
		4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации:	Содержание диссертации полностью отражает заявленную тему исследования.
		1) <u>отражает</u> ;	Каждая глава логически связана с общей целью работы и последовательно раскрывает задачи исследования.
		2) частично отражает;	
		3) не отражает.	
		4.3. Цель и задачи соответствуют теме диссертации:	Цель и задачи диссертационной работы полностью соответствуют теме исследования.
		1) <u>соответствуют</u> ;	Поставленные задачи охватывают разработку экспериментальной среды, проведение исследований поведения сети, формирование набора данных, разработку методов прогнозирования и анализ результатов.
		2) частично соответствуют;	
		3) не соответствуют.	
		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны:	Все разделы диссертации полностью взаимосвязаны.
		1) <u>полностью взаимосвязаны</u> ;	Структура работы построена последовательно: от анализа предметной области и создания экспериментальной среды до проведения экспериментов, разработки моделей
		2) взаимосвязь частичная;	
		3) взаимосвязь отсутствует.	

			прогнозирования и оценки их эффективности.
		4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями:	Предложенные автором решения аргументированы и сопоставлены с существующими подходами. В работе проведен анализ современных исследований в области прогнозирования KPI телекоммуникационных сетей, методов машинного обучения и программно-определяемых сетевых архитектур. Новые решения обоснованы результатами экспериментальных исследований.
		1) <u>критический анализ есть;</u>	
		2) анализ частичный;	
		3) анализ представляет собой не собственные мнения, а цитаты других авторов;	
		4) анализ отсутствует.	
5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми?	Научные результаты и положения являются частично новыми. Автором предложена воспроизводимая среда контролируемых экспериментов для исследования состояния сети 5G Standalone, разработан подход к описанию состояния сети через интегральный показатель и исследованы возможности прогнозирования показателей качества в различных режимах
		1) полностью новые;	
		2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%);</u>	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	

			функционирования сети. При этом работа опирается на существующие технологии программно-определяемых сетей и известные методы машинного обучения, развивая их применительно к поставленной задаче.
		5.2 Выводы диссертации являются новыми?	Выводы диссертации являются частично новыми и соответствуют полученным результатам. Научную новизну представляют результаты исследования прогнозируемости состояния сети, предложенный подход к описанию состояний сети и выявленные закономерности изменения показателей качества в контролируемых условиях.
		1) полностью новые;	
		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:	Предложенные технические и методические решения являются новыми и обоснованными. В работе разработана воспроизводимая среда контролируемых экспериментов, предложен подход к формированию набора данных и прогнозированию состояния сети 5G Standalone. Научная и практическая значимость предложенных решений подтверждена
		1) полностью новые;	
		2) частично новые (новыми являются 25-75%);	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	

			результатами проведенных исследований.
6.	Обоснованность основных выводов	Все основные выводы <u>основаны</u> /не основаны на весомах с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы (для qualitative research (квалитатив ресеч) и направлений подготовки по искусству и гуманитарным наукам).	Основные выводы диссертации основаны на весомах научных доказательствах и подтверждены результатами экспериментальных исследований. Автором проведена серия контролируемых экспериментов в разработанной тестовой среде, выполнен анализ временных рядов показателей качества сети и проведена оценка эффективности различных моделей машинного обучения.
7.	Основные положения, выносимые на защиту	Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:	Положение 1 7.1 Доказано ли положение? Да, доказано. Разработана и апробирована воспроизводимая экспериментальная среда для исследования сети 5G Standalone. 7.2 Является ли тривиальным? Нет. Создание контролируемой среды для исследования состояния сети представляет самостоятельную научно-техническую задачу.
		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) да;	
		2) <u>нет</u> ;	

		3) в текущей формулировке проверить тривиальность положения невозможно.	7.3 Является ли новым? Да. Предложен воспроизводимый подход к проведению контролируемых экспериментов в сети 5G Standalone. 7.4 Уровень применения? Широкий. Может применяться в научных исследованиях и разработке сетевых решений. 7.5 Доказано ли в статье? Да. Основные результаты отражены в публикациях автора. Положение 2 7.1 Доказано ли положение? Да, доказано. Разработан агрегированный показатель состояния сети и выполнена классификация состояний на основе экспериментальных данных. 7.2 Является ли тривиальным? Нет. Формализация состояния сети на основе совокупности КРІ не является очевидной задачей. 7.3 Является ли новым? Да. Предложен новый подход к описанию состояния сети через интегральный показатель и систему состояний.
		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) <u>широкий</u> ;	
		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.	

			7.4 Уровень применения? Широкий. Может использоваться в системах мониторинга и анализа сетей связи. 7.5 Доказано ли в статье? Да. Результаты представлены в опубликованных работах автора. Положение 3 7.1 Доказано ли положение? Да, доказано. Экспериментально показана возможность прогнозирования состояния сети на различных временных горизонтах. 7.2 Является ли тривиальным? Нет. Определение границ прогнозируемости требует проведения специальных исследований и анализа данных. 7.3 Является ли новым? Да. Установлена зависимость рабочего горизонта прогнозирования от характера динамики сети. 7.4 Уровень применения? Широкий. Результаты могут использоваться в системах интеллектуального управления сетями связи.
--	--	--	---

			7.5 Доказано ли в статье? Да. Положение подтверждено публикациями автора.
8.	Принцип достоверности.	8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана:	Выбранная методология исследования обоснована и подробно описана. Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований, средств программного моделирования, обработки данных и методов машинного обучения. Теоретические положения и выводы подтверждены экспериментальными исследованиями. Основные утверждения диссертации подтверждены ссылками на актуальную научную литературу. Использованных литературных источников достаточно для проведения полноценного обзора современного состояния исследуемой области.
	Достоверность источников и предоставляемой информации	1) <u>да</u> ;	
		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 диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований, программного моделирования, обработки данных и методов машинного обучения. Для проведения экспериментов использовались программно-определяемые компоненты Open5GS и srsRAN.
		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, выявленные закономерности и предложенные подходы подтверждены результатами экспериментальных исследований. Полученные результаты согласуются с данными проведённых экспериментов и статистическим анализом.
		1) да;	
		2) нет.	
		8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u> /частично подтверждены/не подтверждены ссылками на актуальную и достоверную научную литературу.	Основные положения и выводы диссертации подтверждены ссылками на актуальные отечественные и зарубежные научные публикации, а также нормативные документы 3GPP и O-RAN Alliance.
		8.5 Использованные источники литературы <u>достаточны</u> /не достаточны для литературного обзора.	Использованные источники литературы являются достаточными для проведения литературного обзора. В работе рассмотрены современные

			исследования в области сетей 5G Standalone, Open RAN, анализа KPI и методов машинного обучения.
9	Принцип практической ценности	9.1 Диссертация имеет теоретическое значение:	Диссертация имеет теоретическое значение, поскольку развивает подходы к исследованию состояния сетей 5G Standalone, формированию агрегированных показателей состояния сети и прогнозированию показателей качества на основе методов машинного обучения. Полученные результаты расширяют представления о закономерностях деградации и прогнозируемости сетевых систем.
		1) да;	
		2) нет.	
		9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике:	Диссертация имеет практическое значение. Разработанная экспериментальная среда может использоваться для исследования и тестирования сетей 5G Standalone, а предложенные методы анализа и прогнозирования могут быть применены при создании систем мониторинга, управления качеством обслуживания и
		1) да;	
		2) нет.	

			интеллектуального управления сетями связи.
		9.3 Предложения для практики являются новыми:	Предложения для практики являются частично новыми. В работе используются известные методы машинного обучения и программно-определяемые сетевые технологии, однако их интеграция в единую воспроизводимую среду исследования 5G Standalone сетей, а также предложенный подход к формированию агрегированного показателя состояния сети и анализу прогнозируемости обладают элементами научной и практической новизны.
		1) полностью новые;	
		2) <u>частично новые (новыми являются 25-75%);</u>	
		3) не новые (новыми являются менее 25%).	
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма:	Качество академического письма высокое. Материал изложен последовательно и логично. Работа содержит необходимое количество иллюстраций, таблиц и экспериментальных результатов. Структура диссертации соответствует требованиям, предъявляемым к диссертационным исследованиям.
		1) <u>высокое;</u>	
		2) среднее;	
		3) ниже среднего;	
		4) низкое.	

11.	Замечания к диссертации	1. Работа выполнена преимущественно в условиях экспериментального стенда; дополнительная проверка результатов на данных коммерческих сетей могла бы расширить область практического применения результатов. 2. Представляет интерес исследование влияния мобильности пользователей и процедур handover на точность прогнозирования состояния сети. 3. Перспективным направлением дальнейших исследований является распространение предложенного подхода на многосотовые сценарии и архитектуры Open RAN с использованием Near-RT RIC. Отмеченные замечания носят рекомендательный характер и не снижают научной и практической значимости выполненного исследования.
-----	-------------------------	---

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)	Публикации автора соответствуют тематике диссертационного исследования и отражают основные результаты работы. Результаты исследования опубликованы в научных изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science, а также представлены на международных научных конференциях. Публикации характеризуются высоким научным уровнем и подтверждают апробацию основных результатов диссертации.
13.	Решение официального рецензента (согласно пункту 28 настоящего Типового положения)	Диссертационная работа Нурахова Едиля Сергазиевича на тему «Разработка методов прогнозирования показателей качества в 5G Standalone сетях с использованием машинного обучения» представляет собой завершённое научное исследование, содержит научно обоснованные результаты, имеющие существенное значение для развития методов анализа и прогнозирования телекоммуникационных сетей. Диссертационная работа соответствует требованиям Комитета по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, предъявляемым к диссертациям на соискание степени доктора философии (PhD), а ее автор заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D06102 – Компьютерная инженерия.

Рецензент:

Руководитель ОП «Компьютерные науки»
Кызылординского университета имени Коркыт Ата,
PhD, ассоц.профессор (доцент)



Н.Б.Конырбаев