

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 55.2.004.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»  
МИНИСТЕРСТВА ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ  
КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 26 июня 2024 г. № 6

О присуждении Ермолаеву Григорию Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка и исследование методов повышения энергоэффективности и помехоустойчивости систем мобильной широкополосной связи пятого поколения» по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций принята к защите 17 апреля 2024 года, протокол № 4 диссертационным советом 55.2.004.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича» Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, 191186, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 61, приказ № 258/нк от 27 марта 2019 года.

Соискатель Ермолаев Григорий Александрович, 14 сентября 1994 года рождения, работает старшим инженером в ООО «Исследовательский Центр Самсунг». В 2018 году соискатель окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» с присвоением квалификации магистра по направлению подготовки «Фундаментальная информатика и информационные технологии». В 2022 году окончил освоение программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный

исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского».

Диссертация выполнена на кафедре статистической радиофизики и мобильных систем связи радиофизического факультета Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Мальцев Александр Александрович, основное место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», кафедра статистической радиофизики и мобильных систем связи, заведующий кафедрой.

Оппоненты: Хоров Евгений Михайлович, доктор технических наук, основное место работы: федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук, лаборатория беспроводных сетей, руководитель лаборатории; Бурков Артём Андреевич, кандидат технических наук, основное место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», кафедра инфокоммуникационных технологий и систем связи, старший преподаватель, дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», г. Нижний Новгород, в своем положительном заключении, подписанном Мякинковым Александром Валерьевичем, доктором технических наук, доцентом, директором института радиоэлектроники и информационных технологий, утвержденном Куркиным Андреем Александровичем, доктором физико-математических наук,

профессором, проректором по научной работе, указала, что представленная диссертация является законченной научно-квалификационной работой. Полученные автором результаты отличаются научной новизной и практической значимостью. Результаты апробированы на значимых научных конференциях. Основные научные результаты диссертации достаточно полно опубликованы в ведущих российских и зарубежных изданиях. Отмеченные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы и не ставят под сомнение основные выводы диссертации. Название работы полностью отражает ее содержание. Содержание диссертации соответствует пунктам 2, 7 и 18 специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций. На основании изложенного считают, что Ермолаев Григорий Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15. Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Соискатель имеет 20 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 15, из них в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, – 4, в том числе 4 в изданиях, соответствующих искомой специальности, а также: 7 результатов интеллектуальной деятельности; 4 статьи в других научных журналах, сборниках научных статей, трудов и материалах конференций. Из них 2 работы опубликованы соискателем без соавторства. Общий объем авторского вклада в работы (без результатов интеллектуальной собственности) составляет 42,87 печ.л. из общего количества 12,05 печ.л. Диссертация не содержит недостоверных сведений об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации.

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Болховская, О.В. Прототип приемо-передающего оборудования скоростной передачи данных в частотном диапазоне 57–64 ГГц / О.В. Болховская, Г.А. Ермолаев, С.Н. Трушков, А.А. Мальцев // Труды учебных заведений связи. – 2023 – Т. 9 – № 2 – С. 23–39 – DOI:10.31854/1813-324X-2023-9-2-23-39.

2. Ермолаев, Г.А. Анализ энергоэффективности схемы прерывистого приема в системах связи 5G NR / Г.А. Ермолаев, О.В. Болховская, А.А. Мальцев // Труды

учебных заведений связи 2023. – Т. 9 – № 5 – С. 16-24 – DOI:10.31854/1813-324X-2023-9-5-16-24.

3. Ермолаев, Г.А. Алгоритмы улучшения энергосбережения пользовательского оборудования в системах связи 5G NR. Часть I / Г.А. Ермолаев // Электросвязь. – 2023 – № 11 – С. 70–74.

4. Ермолаев, Г.А. Алгоритмы улучшения энергосбережения пользовательского оборудования в системах связи 5G NR. Часть II / Г.А. Ермолаев // Электросвязь. – 2024 – № 1 – С. 37–42.

Результаты интеллектуальной деятельности:

5. Patent US20220182938. H04W52/0209. Physical Downlink Control Channel Based Wake Up Signal / Ye Q., He H., Islam T., Ermolaev G. – filed 27.03.20; publ. 09.06.22.

6. Patent US20210176762. H04W72/0493. Downlink Control Channel Signaling for Improved Power Consumption at a User Equipment (UE) / Islam T., He H., Ermolaev G. – filed 07.11.19; publ. 10.06.21.

7. Patent US20210298048. Coverage Enhancement for Physical Uplink Control Channel Transmissions in New Radio / Xiong G., Sosnin S., Ermolaev G., Zhu J., Sengupta A., Davydov A. – filed 16.04.2021; publ. 23.09.2021.

8. Patent Application US20220124622. System and Method of Adaptation of Reference Signal (RS) Monitoring for User Equipment (UE) Power Saving / Islam T., He H., Ye Q., Ermolaev G. – filed 17.02.2020; publ. 21.04.2022.

9. Patent Application US20220210736. Cross-slot Scheduling Power Saving Techniques / Islam T., He H., Ye Q., Ermolaev G. – filed 02.04.2020; publ. 30.06.2022.

10. Patent Application CN116601898. Enhanced Inter-Slot Frequency Hopping for Uplink Coverage in 5G Systems / Xiong G., Sosnin S., Ermolaev G., Zhu J. – filed 11.01.2022; publ. 15.08.2023.

11. Patent Application CN116830508. Time-Domain Resource Allocation for Transport Block Over Multiple Slot (TBoMS) Transmissions / Xiong G., Sosnin S., Ermolaev G., Zhu J., Chatterjee D. – filed 22.03.2022; publ. 29.09.2023.

Публикации в других изданиях:

12. Ермолаев, Г.А. Методы улучшения покрытия для восходящего канала передачи данных в системах беспроводной мобильной связи пятого поколения / Ермолаев Г.А., Давыдов А.В., Мальцев А.А. // Труды XXIV научной конференции по радиофизике, посвященной посвящённой 75-летию радиофизического факультета. – 2020 – С. 306-309.

13. Ермолаев, Г.А. Статистический метод адаптивной компенсации нелинейных искажений на стороне приёмника / Ермолаев Г.А., Болховская О.В., Мальцев А.А. // Труды XXV научной конференции по радиофизике. – 2021 – С. 332-335.

14. Ermolaev, G. Advanced Approach for TX Impairments Compensation Based on Signal Statistical Analysis at the RX Side / G. Ermolaev, O. Bolkhovskaya, A. Maltsev // 2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems. – 2021 – pp. 1-5 – DOI: 10.1109/WECONF51603.2021.9470687.

15. Ermolaev, G. Multi-slot Transmission with Effective Frequency Hopping and DMRS Bundling for 5G NR Coverage Enhancement / G. Ermolaev, O. Bolkhovskaya, A. Maltsev // 2022 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems (WECONF). – 2022 – pp. 1-4 – DOI: 10.1109/WECONF55058.2022.9803376.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: ведущей организации НГТУ им. Алексеева; официального оппонента Хорова Е.В.; официального оппонента Буркова А.А.; Воловача В.И., д.т.н., доц., и.о. директора Высшей школы передовых производственных технологий Поволжского государственного университета сервиса; Корчагина Ю.Э., д.ф.-м.н., доц., заведующего кафедрой радиофизики физического факультета Воронежского государственного университета; Маврычева Е.А., к.т.н., доц., заместителя директора НПЦ-НН по науке в ПАО «НПО «Алмаз»; Милова В.Р., д.т.н., проф., главного научного сотрудника, руководителя проектов по научно-техническому развитию ООО «НПП «ПРИМА»; Рабина А.В., д.т.н., доц., профессора кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем Института аэрокосмических приборов и

систем Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Все отзывы положительные. Но есть критические замечания. В главе «Улучшение методов энергосбережения пользовательского оборудования для мобильных систем связи 5G NR» не в полной мере раскрыт алгоритм работы схемы прерывистого приема, а также не описан метод выбора конкретных конфигураций данной схемы при проведении компьютерного моделирования различных моделей трафика. В главе «Снижение порога помехоустойчивости систем связи 5G NR» не уделено достаточное внимание обоснованию представленного алгоритма выбора бит кодовой последовательности при проведении операции согласования скорости кодирования для разработанной схемы мультислотовой передачи данных по восходящему каналу связи. В главе «Метод адаптации к нелинейным искажениям передаваемых сигналов в системах связи пятого поколения» результаты моделирования представлены на примере передаваемых сигналов с модуляцией 16-QAM, и не уделено должного внимания анализу эффективности предложенного метода при использовании модуляций других порядков (QPSK, 64-QAM и т.д.). Во второй главе не раскрыто влияние конфигураций циклов DRX (и их параметров) в использующейся схеме прерывистого приема на выигрыш в энергосбережении мобильного устройства от предложенных методов для различных моделей трафика. В третьей главе не в полной мере обоснован выбор новой мультислотовой схемы передачи данных. Также непонятно, как учитывается изменение мощности передатчика при использовании одного или нескольких ресурсных блоков (изменяется ли спектральная плотность мощности передаваемого сигнала?). В четвертой главе следовало бы более подробно описать тип передаваемого сигнала, а также указать типы сигналов, для которых возможно использование предложенного метода адаптации к нелинейным искажениям передаваемых сигналов. Автором допущена досадная неточность. Из текста диссертации может создаться ошибочное мнение, что соискатель уже получил семь международных патентов по теме диссертации. В действительности, часть заявок на патенты все еще находятся на рассмотрении. На момент написания отзыва соискателем были получены, по крайней мере, два

патента. Для снижения энергозатрат при работе схемы прерывистого приёма (DRX) в работе предложено введение двух дополнительных сигналов. Один для пробуждения пользовательского устройства (UE), второй для перевода UE в режим сна. Сигнал пробуждения передаётся каждому UE перед DRX циклом и сообщает о наличии/отсутствии данных для UE (раздел 2.2.1 стр. 49). Автору следовало бы уточнить о возможности реализации передачи такой информации каждому UE при наличии большого числа UE в области одной базовой станции в рамках ограниченного ресурса нисходящего канала. При анализе эффективности внедрения сигнала пробуждения в начало цикла DRX указано, что затраты энергии на приём данной информации ниже, чем затраты на приём стандартной информации в начале цикла DRX во время таймера «on duration». Однако не указывается чему равна и чем обусловлена разница в затратах энергии на приём такой информации. В работе приводится косвенное сравнение стандартного режима DRX и режима DRX с добавлением сигнала пробуждения путем сравнения энергетического выигрыша каждого из подходов с базовым сценарием, когда UE всегда остаются в активном режиме. Более наглядным с точки зрения оценки эффективности от внедрения сигнала пробуждения было бы показать результаты прямого сравнения по энергозатратам данных режимов DRX. При рассмотрении влияния внедрения сигнала перехода UE в режим сна указывается, что его использование может увеличить задержку в системе для некоторых из рассмотренных в работе моделей трафиков. Возможно, необходимо дополнительно уточнить насколько критично такое увеличение для определенных типов трафиков с точки зрения пользовательского опыта. В третьей главе не освещена причина выбора конкретных моделей каналов при моделировании систем связи пятого поколения на физическом уровне и учитывалось ли при получении результатов влияние других UE находящихся в сети (или рассматривался канал в сценарии: одно пользовательское устройство и одна базовая станция). Временные диаграммы потребления энергии раскрывают детали использования сигналов пробуждения пользовательского оборудования и перехода в режим сна, но не раскрывают детали схемы прерывистого приема, описание работы которой следовало бы дать более подробно. В автореферате, в

конец описания результатов главы 3, присутствует не совсем понятная фраза «Анализ результатов показал, что использование улучшенной схемы перестройки частоты между слотами дает дополнительное снижение вероятности пакетных ошибок примерно на 0,5 дБ за счет использования объединения символов DM-RS для совместной оценки канала», требующая дополнительных пояснений. В автореферате не описаны недостатки существующих в системах связи 4G LTE методов энергосбережения, которые были преодолены в представленной работе. В автореферате не обоснован выбор схемы мультислотовой передачи данных, используемой для снижения порога помехоустойчивости и расширения зон покрытия. В автореферате не приведены значения потребляемой пользовательским оборудованием энергии для различных состояний схемы прерывистого приема. В автореферате, при описании результатов четвертой главы диссертации, не указано, каким образом полученное созвездие использовалось на этапах демодуляции и декодирования сигналов? В автореферате отмечено (стр. 7) об использовании результатов диссертационной работы при выполнении единственной НИР, что оставляет некоторую неопределенность относительно перспектив внедрения разработанных методов и алгоритмов при разработке новой аппаратуры для систем мобильной связи пятого поколения. В автореферате указано (стр. 19), что разработанный алгоритм борьбы с нелинейными искажениями «нуждается в дальнейшем улучшении эффективности для случая, когда на стороне передатчика также присутствует нелинейность усилителя мощности». При этом отсутствуют результаты сравнения эффективности компенсации нелинейных искажений с помощью предложенного автором метода и известных методов, основанных на предискажении сигналов в передатчике. В автореферате не дано обоснование выбора определенных длительностей таймеров и других параметров схемы прерывистого приема (discontinuous reception scheme – DRX). В работе отсутствует описание LDPC-кодов, использующихся в системах связи 5G NR. По этой причине требуется обоснование способа выбора битов из циклического буфера LDPC-кодов для схемы мультислотовой передачи данных.

Выбор оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что оппоненты являются известными учеными в области сетей и систем связи, а ведущая организация – одним из лидеров по разработке и исследованию систем связи. Д.т.н., Е.М. Хоров – Senior Member IEEE, заведующий лабораторией беспроводных сетей в Институте проблем передачи информации РАН и лабораторией телекоммуникационных систем в НИУ ВШЭ. Также он профессор и зам. зав. кафедрой МФТИ. Внес свой вклад в стандарт Wi-Fi 6. Он был удостоен национальных и международных наград, включая Премию Правительства Российской Федерации в области науки и техники (для молодых ученых) и Scopus Award Russia. С 2024 г. он главный редактор журнала «Проблемы передачи информации». К.т.н., А.А. Бурков работает в Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения, имеет множество опубликованных трудов по теме исследования современных сетей и систем связи. Ведущая организация – Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева за долгие годы работы зарекомендовала себя крупными достижениями в области сетей и систем связи. Отзыв сформирован в Учебно-научном институте радиоэлектроники и информационных технологий на кафедре «Электроника и сети ЭВМ» и подписан директором данного института, д.т.н., доцентом А.В. Мякинковым, а также заведующим данной кафедры, д.т.н., доцентом Н.Ю. Бабановым, которые являются ведущими специалистами в области сетей связи.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: разработаны методы повышения энергоэффективности пользовательского оборудования в системах связи пятого поколения, а также статистический метод борьбы на стороне приемника с нелинейными искажениями, вызванными на передатчике; предложена новая схема мультислотовой передачи данных по восходящему каналу связи для снижения порога помехоустойчивости систем связи пятого поколения; предложен специализированный шаблон межслотового переключения частоты с объединением опорных сигналов демодуляции для улучшения качества оценки канала; доказана эффективность предложенных методов на основе численного**

имитационного моделирования систем связи пятого поколения на физическом и системном уровнях с использованием моделей, разработанных международным комитетом по стандартизации систем связи 3GPP.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: доказано** на основе исследования моделей потребления энергии пользовательским оборудованием при использовании схемы прерывистого приема, статистических моделей трафика данных в системах беспроводной мобильной связи, а также моделей нелинейных искажений и методов их компенсации, наличие проблемных мест с точки энергоэффективности пользовательского оборудования при использовании схемы прерывистого приема, а также при использовании схем предсказания сигнала для компенсации нелинейных искажений передатчика; **применительно к проблематике диссертации результативно использован** комплекс существующих методов исследования, в т.ч. методов имитационного численного моделирования систем связи, методов статистической радиофизики, теории вероятности и помехоустойчивого кодирования; **изложены** идеи по оптимизации энергопотребления пользовательского оборудования при передаче по восходящей линии связи путем переноса операции компенсации нелинейных искажений передатчика на сторону приемника (базовой станции), а также за счет использования схемы мультислотовой передачи данных; **раскрыты** проблемы, связанные с изменениями в системах связи пятого поколения, повлекшими за собой необходимость решения задачи оптимизации энергопотребления пользовательского оборудования в системах связи пятого поколения и помехоустойчивости таких систем; **изучены** связь между загруженностью частотно-временных ресурсов сети и максимальным уровнем снижения энергопотребления пользовательского оборудования, а также зависимость вероятности блоковой ошибки от использования различных схем выбора бит из кодовой последовательности LDPC кодов; **проведена модернизация** алгоритмов и методов численного имитационного моделирования для изучения эффективности методов повышения энергоэффективности и помехоустойчивости пользовательского оборудования в системах связи пятого поколения.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: разработаны и внедрены** методы прерывистого приема для улучшения энергосбережения пользовательского оборудования в системах связи пятого поколения, использующие специализированные сигналы «пробуждения» пользовательского оборудования и перехода в «режим сна», внедренные в стандарт систем связи пятого поколения New Radio, начиная с релизов NR Release 16 и 17; метод борьбы на стороне приемника с нелинейными искажениями, вызванными на передатчике, используемый при выполнении научно-исследовательской работы «Разработка технологий гибридного сканирования луча для многоэлементных антенн с высоким коэффициентом усиления в диапазоне частот 5-6 ГГц» в ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»; схема мультислотовой передачи данных по восходящему каналу связи для снижения порога помехоустойчивости систем связи пятого поколения стандарта NR, включающая также разработанный специализированный алгоритм выбора бит для операции согласования скорости кодирования, внедренная в стандарт систем связи пятого поколения New Radio, начиная с релиза NR Release 17; **определены** зависимость максимального снижения энергопотребления для различных типов трафика данных, а также эффективность использования статистической оценки принятого сигнала для компенсации нелинейных искажений передатчика на стороне приемника для различных типов искажений передаваемого сигнала; **создана** модель эффективного применения мультислотовой передачи данных с использованием специализированного шаблона межслотового переключения частоты с объединением опорных сигналов демодуляции для улучшения качества оценки канала; **представлены** рекомендации по использованию методов прерывистого приема путем предоставления конкретных значений параметров работы сигнала перехода в «режим сна» для различных типов трафика данных.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:** для экспериментальных работ результаты получены путем имитационного моделирования при использовании моделей, соответствующих требованиям

Международного Союза Электросвязи и комитета по стандартизации 3GPP; показана воспроизводимость эффективности предложенных методов при их использовании для широкого набора параметров используемых моделей; **теория** построена на известных моделях и методах исследования систем связи пятого поколения; **идея базируется** на обобщении передового опыта и анализе систем связи на системном и физическом уровнях с целью оценки их энергоэффективности и помехоустойчивости; **использованы** сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике, воспроизведенных при использовании современных моделей; **установлено** качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике, в тех случаях, когда такое сравнение является обоснованным; **использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации, а также современные методы имитационного моделирования систем связи пятого поколения с использованием пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений MatLab.

Личный вклад соискателя состоит в том, что основные результаты диссертации получены автором самостоятельно. В работах, выполненных в соавторстве, соискателю принадлежит ведущая роль в разработке и внедрении представленных методов и моделей для проведения имитационного компьютерного моделирования на физическом и системном уровнях и получении результатов для решения поставленных задач.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критическое замечание о том, что автор не рассмотрел все элементы адаптивной системы.

Соискатель Ермолаев Г.А. в ходе заседания ответил на задаваемые ему вопросы, согласился с замечаниями и привел собственную аргументацию.

Диссертационный совет установил, что диссертация «Разработка и исследование методов повышения энергоэффективности и помехоустойчивости систем мобильной широкополосной связи пятого поколения» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а также пунктам 2, 7 и 18 паспорта научной специальности 2.2.15 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

На заседании 26 июня 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Ермолаеву Г.А. ученую степень кандидата технических наук за решение научной задачи по разработке методов мультислотовой передачи данных и адаптации схем прерывистого приема, повышающих энергоэффективность и помехоустойчивость систем мобильной широкополосной связи пятого поколения, что имеет важное практическое значение для разработки и широкого внедрения современных систем связи.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 6 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – 1, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель диссертационного совета,  
доктор технических наук, профессор



Гоголь Александр Александрович

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук, доцент



28 июня 2024 года

Владыко Андрей Геннадьевич