

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.144>

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ЗА СЧЕТ РАЗГРУЗКИ МОБИЛЬНОГО ТРАФИКА LTE ПО КАНАЛАМ WI-FI**

Научная статья

**Пашаев М.Я.<sup>1</sup>, Садыков И.С.<sup>2</sup>, Хашумов И.У.<sup>3</sup>, Занаева З.С.<sup>4</sup>\***

<sup>1,3,4</sup> Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, Грозный, Российская Федерация

<sup>2</sup> ООО Николиерс, Грозный, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (zanayeva[at]gmail.com)

**Аннотация**

На сегодняшний день одной из наиболее актуальных задач для операторов мобильной связи является вопрос о том, как управлять потоком данных в мобильных сетях, объем которого растет в геометрической прогрессии, в основном за счет роста популярности приложений для мобильных устройств. Разгрузка мобильных данных представляет собой идею экономичной технологии для высвобождения перегруженных частей RAN в сотовых сетях. В данной статье рассматриваются два наиболее обсуждаемых решения для разгрузки между сотовой сетью LTE и Wi-Fi, когда потребности/требования к производительности превышают пороговое значение для предоставления услуг через сеть LTE при согласованном QoS (Quality of Services). Результаты нашего исследования подтверждают, что SNR и пороговые значения пропускной способности могут использоваться для управления процессом выгрузки мобильных данных.

**Ключевые слова:** сотовые сети, хэндовер, LTE, разгрузка мобильных данных, SNR, Wi-Fi.

**IMPROVING USER PRODUCTIVITY BY OFFLOADING MOBILE LTE TRAFFIC OVER WI-FI CHANNELS**

Research article

**Pashaev M.Y.<sup>1</sup>, Sadykov I.S.<sup>2</sup>, Hashumov I.U.<sup>3</sup>, Zanayeva Z.S.<sup>4</sup>\***

<sup>1,3,4</sup> Grozny State Oil Technical University named after Academician M.D. Millionshchikov, Grozny, Russian Federation

<sup>2</sup> OOO Nicoliers, Grozny, Russian Federation

\* Corresponding author (zanayeva[at]gmail.com)

**Abstract**

Today, one of the most pressing challenges for mobile operators is managing the data flow in mobile networks, the volume of which is growing geometrically, mainly due to the growing popularity of applications for mobile devices. Mobile data offloading is an idea for a cost-effective technology to free up congested parts of RANs in cellular networks. This article discusses two of the most debated solutions for offloading between LTE and Wi-Fi cellular networks when performance needs/requirements exceed the threshold for providing services over an LTE network under a consistent QoS (Quality of Services). Our research results confirm that SNR and bandwidth thresholds can be used to control the mobile data offloading process.

**Keywords:** cellular networks, handover, LTE, mobile data offload, SNR, Wi-Fi.

**Введение**

Во всем мире мобильный трафик переживает бум, который будет еще более заметен в последующие годы из-за растущего спроса на более высокие скорости передачи данных, более низкие задержки и более высокий уровень ожидаемого QoS (качество обслуживания) и QoE (качество эксплуатации) [2]. В современном мире существует потребность в повсеместном беспроводном подключении к Интернету (облачным сервисам), что вместе с увеличением количества смартфонов, планшетов, M2M-устройств (датчиков), обменивающихся данными через сотовые мобильные сети, создает новую коммуникационную парадигму [1]. В результате сложившейся ситуации возник исключительный спрос на повсеместное подключение к Интернету и качество цифрового контента, хранящегося в облаке. Телекоммуникационным компаниям уже приходится справляться с постоянно растущим трафиком широкополосных данных, передаваемых по мобильным сотовым сетям. Отчеты Ericsson и Cisco, которые модно считать репрезентативной основой для расчета общего мирового трафика данных в сотовых мобильных сетях, предсказывают, что объем мобильного трафика данных увеличился примерно в шесть раз в период с 2014 по 2020 год [2], [3].

Как наиболее распространенный на сегодняшний день метод доступа в глобальные сети, сотовые сети испытывают трудности, пытаясь справиться с такой беспрецедентной перегрузкой данных. Этот рост требует крупных инвестиций в обе отрасли; в RAN (сеть радиодоступа) и в транспортную инфраструктуру мобильных сетей.

Резкий рост мобильного трафика данных является серьезной проблемой для сетевых операторов с ограниченными ресурсами радиочастотного спектра [4]. Для этой конкретной ситуации методы разгрузки относятся к использованию альтернативных сетевых инфраструктур/технологий для доставки передаваемых данных, изначально предназначенных для сотовой сети, когда она становится перегруженной [4], [5].

Текущие аналитические данные утверждают о том, что к 2020 году 54% всего трафика мобильных данных загружались через сети Wi-Fi или сети малых сот, (см. рис. 1). Методы разгрузки мобильных данных могут обеспечить оптимальное использование доступных радиоресурсов и сбалансировать распределение нагрузки между ними.

Ожидается, что в будущем для выполнения требований приложений для передачи данных в беспроводных сетях будут использоваться технологии множественного доступа. В настоящее время всего несколько операторов сотовой связи, используют сети Wi-Fi в качестве альтернативной сетевой технологии доступа [2], [6], [7], [8].



Рисунок 1 - Разгрузка трафика с мобильных устройств через Wi-Fi  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.144.1>

Разгрузка трафика через Wi-Fi позволит мобильным устройствам решать, когда, как и где выбирать альтернативную сетевую инфраструктуру доступа, функции поддержки и примеры сценариев приведены в [11]. Основными целями внедрения методов разгрузки данных в мобильных сотовых сетях являются снижение нагрузки на сотовую сеть (например, разгрузка трафика LTE) и расширение зоны доступа 4G. Когда для мобильных устройств (например, смартфонов) доступно несколько RAT (технология радиодоступа), назначение и разгрузка пользователей среди этих доступных RAT, управление потоками и другие вопросы начинают появляться как фундаментальные проблемы. Хотя было проведено всего несколько исследований, посвященных этим важным вопросам, главный вопрос был отодвинут на второй план.

В этой статье мы рассматриваем вопрос о том, как преодолеть перегрузку мобильной сети (перегрузку RAN в мобильной сети) путем разгрузки части трафика данных в дополнительные сети доступа, т.е. с помощью инфраструктуры Wi-Fi всякий раз, когда происходит перегрузка данных и/или уровень принимаемого сигнала слишком низок. Наша стратегия разгрузки основана на разгрузке Wi-Fi как наиболее естественном выборе альтернативной радиотехнологии для повышения общей производительности сети (пропускной способности) экосистемы LTE и Wi-Fi. В нашем подходе мы предполагаем базовый сценарий, в котором весь трафик в основном передается через сеть LTE, а канал IEEE 802.11 используется в качестве элемента поддержки.

Мы провели обширное исследование, чтобы оценить алгоритмы для порогового хэндовера SNR (отношение сигнал-шум) и решения для хэндовера на основе пропускной способности для разгрузки LTE/Wi-Fi.

Оставшаяся часть статьи организована следующим образом. В Разделе 1 представлены механизмы выгрузки мобильных данных, которые могут быть реализованы в реальной сотовой сети операторского уровня. В Разделе 2 описывается предлагаемая методология оценки выгрузки мобильных данных, а также подробно обсуждается созданная модель выгрузки. В Разделе 3 представлены полученные результаты, и, наконец, в Разделе 4 мы делаем выводы вместе с нашими планами на будущее в этой области исследований.

### Методы разгрузки мобильных данных

Хотя разгрузку можно применить к любой сети, текущие исследования в основном касаются разгрузки трафика из сотовых сетей. В этой статье мы ограничиваем объем описываемых решений двумя основными подходами, в которых мобильные терминалы явно используются как часть схемы разгрузки (либо за счет использования нескольких беспроводных интерфейсов, либо за счет использования нетрадиционных сотовых технологий, таких как LTE-D2D (Device-D2D)). Помимо преимуществ снижения нагрузки на сеть инфраструктуры, перенос данных на дополнительную беспроводную технологию приводит к ряду улучшений (увеличение общей пропускной способности, сокращение времени доставки, расширение сети, покрытие, повышение доступности сети и повышение энергоэффективности) [14]. Поскольку эти улучшения затрагивают как операторов электросвязи, так и пользователей, разгрузка мобильных данных часто описывается как беспроигрышная стратегия.

Поскольку Wi-Fi стал доминирующей технологией разгрузки [15], в этой статье он рассматривается относительно более подробно по сравнению с другими появляющимися технологиями.

### Выгрузка мобильных данных по каналам IEEE 802.11

Стандарт IEEE 802.11 (Wi-Fi) в основном используется для широкополосного доступа в помещениях. Wi-Fi представляет собой естественное решение для разгрузки благодаря встроенным возможностям современных смартфонов, которые представляют собой структуру разгрузки мобильных данных через Wi-Fi. Из-за ухудшения качества по причине перегрузки базовых станций (eNodeB) в случае мобильной сети LTE, и текущей политики тарификации в сотовых сетях все больше и больше пользователей уже используют Wi-Fi в качестве технологии, обеспечивающей доступ в Интернет. Исследования [15] подтвердили, что расширение диапазона мобильных сетей с использованием Wi-Fi обходится значительно дешевле, чем развертывание сети. На момент написания этой статьи у операторов связи было три основных подхода к разгрузке трафика данных в сетях Wi-Fi.

1. Обход сети: при использовании этого подхода (иногда называемого неуправляемой выгрузкой данных) данные пользователей прозрачно (с точки зрения сети LTE) направляются в сеть Wi-Fi, полностью минуя базовую сотовую сеть для услуг передачи данных. Операторы могут развернуть это решение для разгрузки, просто разместив логику приложения в смартфонах, которая включает инфраструктуру Wi-Fi при обнаружении его сигнала. Возможность беспрепятственного переключения между разнородными сетями называется вертикальным хендвером [18].

2. Управляемая выгрузка данных: этот подход можно использовать в случае, если операторы связи хотят сохранить контроль над своими абонентами. Этот подход достигается за счет реализации интеллектуального сеанса являющегося шлюзом, который пересекает поток данных Wi-Fi абонента на пути к Интернету. Хотя операторы получают контроль над подписчиками, по-прежнему невозможно доставлять какой-либо премиум-контент.

3. Интегрированная разгрузка данных: при таком подходе операторы связи могут иметь полный контроль над абонентами, а также возможность предоставлять любые услуги премиум-класса, пока пользователи используют сеть Wi-Fi. Это было сделано путем интеграции сотовых сетей и сетей Wi-Fi, чтобы можно было сформировать мост между двумя сетями, через которые может быть установлен поток данных.

Существует две архитектуры для соединения сотовых сетей и сетей Wi-Fi: слабая связь и тесная связь. В случае слабой связи сети независимы и не требуют взаимодействия между ними. Сеть Wi-Fi косвенно связана с базовой сетью сотовой связи через внешнюю IP-сеть. Подключение услуги осуществляется путем роуминга между сетями. В тесно связанной системе сети имеют общее ядро и основные сетевые функции (например, вертикальный хендвер, управление ресурсами, выставление счетов) [17].

### Реализация и методология оценки разгрузки трафика в NS-3

Как было описано в предыдущих разделах, в этой статье мы сосредоточимся на разгрузке трафика данных из сети LTE в сеть Wi-Fi. В качестве инструмента моделирования использовалась NS-3 версии 3.21 [12] совместно с фреймворком LENA [13]. Сеть создается с использованием модели Wi-Fi по умолчанию [19]. Часть LTE созданного сценария изображена ниже (рис. 2). Внутри структуры LENA реализована ANDSF (функция обнаружения и выбора сети доступа). ANDSF помогает мобильному устройству обнаруживать сети доступа, отличные от 3GPP.

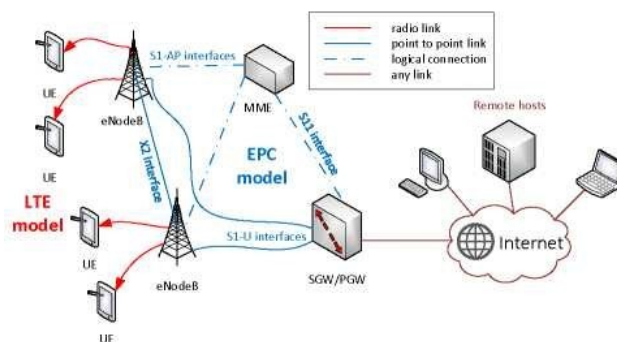


Рисунок 2 - Топология исследуемой сети LTE  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.144.2>

Ниже (рис. 3) показана подробная реализация сквозного стека протоколов плоскости данных LTE-EPC, который был реализован для этой исследовательской работы. Самым большим упрощением является объединение функций SGW и PGW в одном узле SGW/PGW. Это устраняет необходимость в интерфейсах S5 и S8, указанных 3GPP.

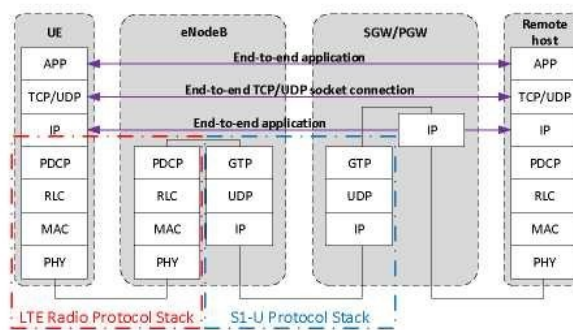


Рисунок 3 - Стек протоколов плоскости данных LTE-EPC  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.144.3>

Топология реализованного сценария разгрузки показана далее (рис. 4). Сценарий содержит одну точку доступа IEEE 802.11g (точку доступа) и один LTE eNodeB в качестве двух ключевых узлов доступа к сети. Эти два узла находятся на расстоянии 300 м. Между ними располагается мобильный узел (смартфон), представляющий собой

устройство с двумя активными беспроводными интерфейсами (Wi-Fi и LTE). Мобильный узел движется со скоростью 1,5 м/с от точки доступа к eNodeB. Когда узел достигает положения eNodeB, траектория изменяется обратно к положению AP. Во время движения мобильный узел постоянно измеряет значение SNR для обоих беспроводных каналов.

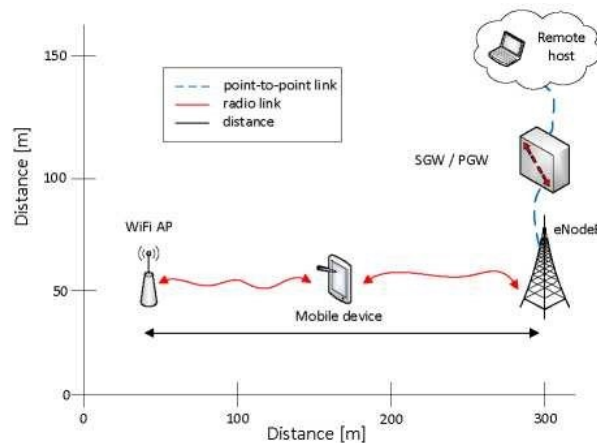


Рисунок 4 - Топология реализованного сценария разгрузки мобильных данных  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.144.4>

Подробное описание реализации каждого из двух упомянутых методов измерения дано в следующих подразделах.

#### Разгрузка трафика данных на основе SNR

Первый реализованный метод разгрузки трафика данных между сетями LTE и Wi-Fi основан на непрерывном измерении значения SNR. Основываясь на наших предыдущих исследованиях [20], мы выбираем пороговое значение разгрузки 10 дБм для каналов LTE с полосой пропускания 3 МГц и 5 МГц. Значение SNR измеряется во время моделирования каждые полсекунды. Принимая во внимание стандарт, схемы мобильного кодирования (MCS) выбираются с помощью кодирования с адаптивной модуляцией (AMC) в соответствии с индикацией качества канала (CQI).

#### Разгрузка трафика данных в зависимости от пропускной способности сети

Следуя поведению первого реализованного метода, мы выполнили второй метод разгрузки, который улучшает логику принятия решений для переключения между сетями. В случае разгрузки только на основе SNR существует потенциальный сценарий, когда связь SNR или Wi-Fi обеспечивает лучшее качество покрытия сети.

Таким образом, метод разгрузки, использующий реальную пропускную способность в качестве ключевого фактора принятия решений, может обеспечить более высокую производительность в определенных обстоятельствах. Разгрузка трафика данных на основе пропускной способности сети использует алгоритм, который в начале моделирования загружает теоретическую информацию о пропускной способности доступных сетей в зоне действия мобильного узла. Во время моделирования измерение фактического значения пропускной способности выполняется каждые 0,1 секунды.

#### Результаты исследования распределения трафика

В случае разгрузки на основе SNR мы устанавливаем значение порога SNR на 10 дБм. Полоса пропускания была установлена на 3 МГц (15 РБ, ресурсные блоки) и 5 МГц (25 РБ). По результатам, (см. рис. 5 и 6), можно сказать, что мобильное устройство сохраняет соединение с точкой доступа (сетью Wi-Fi) на расстоянии 117 метров от точки доступа. На данный момент значение пропускной способности составляет 1,68 Мбит/с. После этой точки мобильное устройство переключается на сеть LTE, и пропускная способность постоянно составляет 8,5 Мбит/с для полосы пропускания канала 3 МГц, и 16,08 Мбит/с для полосы пропускания канала 5 МГц. Когда мобильное устройство достигает позиции eNodeB, оно возвращается к точке доступа.

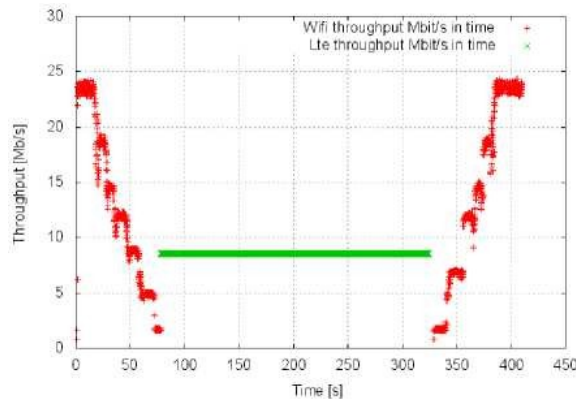


Рисунок 5 - Разгрузка трафика данных с помощью SNR, 15RB  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.144.5>

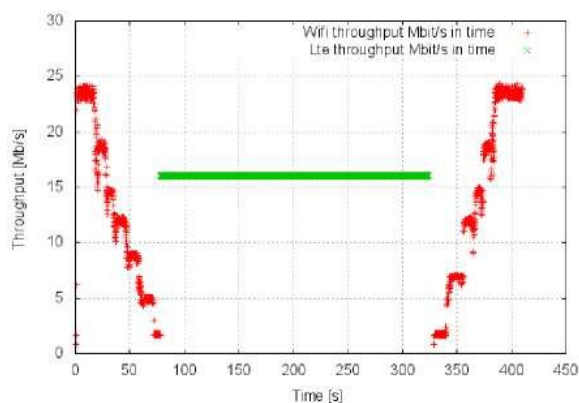


Рисунок 6 - Разгрузка трафика данных с помощью SNR, 25RB  
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.127.144.6>

Исследование разгрузки трафика данных на основе пропускной способности, см. рис. 5 и рис. 6, проводилось для канала 3 МГц, активированного на расстоянии 73 метра (при 50-секундном времени моделирования) от точки доступа, когда пропускная способность канала IEEE 802.11 упала ниже пропускной способности LTE.

В диапазоне расстояний от 73 до 83 метров от точки доступа (время моделирования 45-60 секунд) переключение между сетями (LTE и Wi-Fi) выполнялось очень часто. Такое поведение известно как эффект пинг-понга, который возникает из-за одинаковых значений пропускной способности для обеих сетей. В нашей имитационной модели мы избежали этого нежелательного эффекта, определив минимальный период времени работы услуги для обеих технологий сетей с произвольным доступом (RAN) равным 3 секундам. Этот защитный период позволяет избежать любых накладных расходов на сигнализацию или дополнительного потребления энергии, вызванного переключением между различными сетями.

### Заключение

При предложенной методике разгрузки трафика данных из мобильной сотовой сети в сеть Wi-Fi наши системные оценки показали, что разгрузка из сети LTE в сеть Wi-Fi снижает нагрузку на сотовую сеть и повышает скорость доступа для пользователя. Во время эксплуатации мобильное устройство выполняет измерение SNR и пропускной способности сети. Когда в случае первого сценария измеренное значение превышает 10 дБм (установлено как пороговое значение), то при наличии другой доступной сети доступа выполняется разгрузка. Измерение значения SNR проводится мобильным устройством каждые 0,5 секунды.

В этом исследовании использовался инструмент моделирования Network Simulator 3. Современные инструменты моделирования (например, OMNET++ или OPNET Modeler) часто используются для моделирования механизмов связи в мобильных сетях. Упомянутые инструменты распространяются по коммерческим лицензиям, и поэтому эти инструменты не являются лучшим выбором для академических исследований. По этой причине мы и остановили выбор на NS-3, который распространяется и как продукт с открытым исходным кодом.

Побочным, но не менее важным вкладом в нашу работу является открытая реализация технологии выгрузки мобильных данных в симулятор NS-3. Кроме того, мы представили разработанную имитационную модель NS-3, которую можно использовать для обширных исследований и анализа выгрузки мобильных данных в будущих работах.

**Конфликт интересов**

Не указан.

**Рецензия**

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

**Conflict of Interest**

None declared.

**Review**

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Masek P. M2M Gateway: The Centrepiece of Future Home / P. Masek, J. Hosek, D. Kovac et al. // 2014 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT). — St. Petersburg, 2014. — p. 286-293.
2. Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update 2014-2019 White Paper // Cisco. — URL: <http://bit.ly/1b13ryX> (accessed 14.09.2022)
3. Ericsson, Annual Report 2014. — URL: <http://bit.ly/1Gc9lId> (accessed 14.09.2022)
4. Hagos D.H. Study on performance-centric offload strategies for LTE networks / D.H. Hagos, R. Kapitza // Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC). — 2013. — p.1-10. — DOI: 10.1109/WMNC.2013.6548999
5. Rebecchi F. Data Offloading Techniques in Cellular Networks: A Survey / F. Rebecchi, D. de Amorim, V. Conan et al. // IEEE Communications Surveys & Tutorials. — Vol. PP. — 99
6. Mobile Data Offload for 3G Networks. White Paper. — IntelliNet Technologies Inc., 2009
7. Mitigating Carrier Mobile Traffic Jams: Why Wi-Fi is The Data Offload Option of Choice // Motorola Solutions. — URL: <http://bit.ly/T3jSTs> (accessed 14.09.2022)
8. The Business Value of Mobile Data Offload: A White Paper // Accuris Networks. — URL: <http://bit.ly/1pKZVMs> (accessed 14.09.2022)
9. Yongmin Ch. A 3W network strategy for mobile data traffic offloading / Ch. Yongmin, Ji. Hyun, P. Jae-yoon et al. // IEEE Communications Magazine. — 2011. — Vol. 49. — Iss. 10. — p. 118-123.
10. 3GPP TS 23.401: GPRS Enhancements for E-UTRAN Access (Rel.10). — June 2011
11. 3GPP TS 23.402 V10.3.0, Architecture Enhancements for Non-3GPP Accesses (Rel. 10). — March 2011
12. Network Simulator 3: Discrete-event network simulator // NSNAM. — URL: [www.nsnam.org](http://www.nsnam.org) (accessed 14.09.2022)
13. LENA: LTE-EPC Network simulator // CTTC. — URL: <http://networks.cttc.es/mobile-networks/software-tools/lena/> (accessed 14.09.2022)
14. Dimatteo S. Cellular traffic offloading through WiFi networks / S. Dimatteo, P. Hui, B. Han et al. // Proceedings of the IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS). — Valencia, 2011.
15. Aijaz A. A survey on mobile data offloading: technical and business perspectives / A. Aijaz, H. Aghvami, M. Amani // Wireless Communications, IEEE. — 2013. — Vol.20. — 2. — p.104-112.
16. Ghosal A. Mobile Data Offload: Can Wi-Fi Deliver, white paper / A. Ghosal // IntelliNet Technologies. — 2010. — URL: <http://bit.ly/1DYQHB6> (accessed 14.09.2022)
17. 3GPP TS 23.234, 3GPP System to Wireless Local Area Network (WLAN) Interworking: System Description. — 2007
18. Mohr W. Access network evolution beyond third generation mobile communications / W. Mohr, W. Konhauser // IEEE Communications Magazine. — 2000. — Vol. 38. — 12. — p. 122-133.
19. NS-3; WiFi - Model Library. NSNAM - Online Documentation. — URL: <https://www.nsnam.org/docs/models/html/wifi.html> (accessed 14.09.2022)
20. Masek P. Influence of M2M Communication on LTE Networks / P. Masek, J. Hosek, M. Dubrava // IEEE Student Conference Zvule. — 2014. — p. 53-56.