



## АРХИТЕКТУРА СЕТИ АВТОТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ БПЛА, SDN И ГЕТЕРОГЕННЫХ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

**В. Н. Коваленко\***, **А. М. Аль-Свейти Малик**, **А. С. А. Мутханна**

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

\* Адрес для переписки: [kovalenkovadim1996@gmail.com](mailto:kovalenkovadim1996@gmail.com)

**Аннотация—Предмет исследования.** Применение БПЛА, многоуровневой облачной системы МЕС и технологии туманных вычислений для снижения нагрузки на базовую сеть и уменьшение круговой задержки в сетях автотранспорта и в инфраструктуре «Умного города»; использование нескольких типов контроллеров SDN. **Метод исследования.** Анализ стандартов и рекомендаций в области технологий SDN, МЕС; Fog и построения сетей БПЛА, а также сетей автотранспорта. **Основные результаты.** Подробно описаны три возможных типа SDN контроллеров, зависимых от зоны обмена данными; описаны последовательности действий по распределению БПЛА по зонам повышенной нагрузки, а также по выбору уровня обработки; представлено подробная теоретическая информация о сетях VANET и технологии МЕС. **Практическая значимость.** Представленная архитектура позволит снизить нагрузку на базовую сеть и обеспечить предоставление сверхнизких задержек передачи в сетях автотранспорта и инфраструктуре «Умного города».

**Ключевые слова**—БПЛА, SDN, контроллер и коммутатор SDN, головной узел, Микро-облако, Мини-облако, Главное облако, базовые станции, контроллеры базовых станций, кластер Fog, сети автотранспорта VANET, «Умный город».

### Информация о статье

УДК 621.396.93

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 17.04.2022, принята к печати 30.06.2022.

**Для цитирования:** Коваленко В. Н., Аль-Свейти Малик А. М., Мутханна А. С. А. Архитектура сети автотранспорта на основе БПЛА, SDN и гетерогенных граничных вычислений // Информационные технологии и телекоммуникации. 2022. Том 10. № 2. С. 25–35. DOI 10.31854/2307-1303-2022-10-2-25-35.



# AUTOMOTIVE NETWORK ARCHITECTURE BASED ON UAVS, SDN AND HETEROGENEOUS EDGE COMPUTING

**V. Kovalenko\***, **A. M. Al-Sveiti Malik**, **A. Muthanna**

The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications,  
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

\*Corresponding author: [kovalenkovadim1996@gmail.com](mailto:kovalenkovadim1996@gmail.com)

**Abstract—Research subject** is the use of UAVs, a multi-layer cloud MEC system and fog computing technology to reduce the load on the core network and reduce round-trip de-lay in vehicle networks and in the Smart City infrastructure; using multiple types of SDN controllers. **Research method** – analysis of standards and recommendations in the field of SDN, MEC technologies; Fog and building UAV networks, as well as vehicle networks. **Main results.** Three possible types of SDN controllers depending on the area of data exchange are described in detail; describes the sequence of actions for the distribution of UAVs in areas of increased load, as well as for choosing the level of processing; detailed theoretical information about VANET chips and MEC technology is presented. **Practical significance.** The presented architecture will reduce the load on the core network and ensure the provision of ultra-low transmission delays in vehicles and Smart City infrastructure.

**Keywords**—UAV, UAV networks, SDN, SDN controller and switch, head node. Micro-Cloud, Mini-Cloud, Main Cloud, Base Stations, base station controllers, Fog cluster, vehicle networks VANET, «Smart City».

## Article info

Article in Russia.

Received 17.04.2022, accepted 30.06.2022.

**For citation:** Al-Sveiti Malik A. M., Kovalenko V., Muthanna A.: Automotive Network Architecture Based on UAVs, SDN and Heterogeneous Edge Computing // Telecom IT. 2022. Vol. 10. Iss. 2. pp. 25–35. DOI 10.31854/2307-1303-2022-10-2-25-35.



## Введение

В 2010 году по проводимому компанией Cisco анализу количества устройств, подключаемых к сети интернет, было установлено, что число устройств «Интернета Вещей» достигло 12,5 млрд. Таким образом при населении Земли, равным 6,8 млрд (численность населения Земли на 2010 год), на одного человека приходилось 1,84 устройств [1]. Компания Cisco и годом ранее в своем анализе компания Ericsson, посвященному исследованию возможного количества IoT устройств в ближайшем будущем, установили, что количество «Вещей» с доступом к сети интернет должно превысить 50 млрд. к 2020 году<sup>1</sup> [2]. Конечно их прогнозы не оправдались, так как в соответствии с анализом рынка Интернета Вещей, проведенного компанией Strategy Analytics, количество IoT устройств к 2018 году достигло только 22 млрд<sup>2</sup>. Однако даже такое увеличение количества IoT устройств свидетельствует о сохранении высоких темпов развития концепции «Интернета Вещей». Так по собственному прогнозу компании Strategy Analytics о количестве IoT устройств на 20-е, 30-е годы XXI века к 2025 году количество устройств Интернета Вещей должно достигнуть 38,6 млрд., а в 2030 году – 50 млрд<sup>3</sup>.

Развитие концепции Интернета Вещей способствовало в свою очередь появлению сетей сверхвысокой плотности, отличительной особенностью которых является размещение до 1 млн устройств на 1 км<sup>2</sup> (такая высокая плотность размещения устройств будет характерна для городского типа местности) [3, 4].

Задача по организации взаимодействия с большим количеством устройств не является единственной проблемой в сетях пятого поколения связи 5G/IMT-2020 и сетей последующего поколения (сетей 2030 годов): увеличение количества устройств в сети неизбежно ведет к увеличению объемов передаваемого по сети трафика. По некоторым оценкам объемы генерируемого трафика в 2030 году будут в 20 000 раз больше, по сравнению объемами трафика 2010 года [3, 4]. Развернутые на данный момент времени ЦОД не были рассчитаны на работу в сетях с плотностью размещения устройств равной 1 мл, и на обработку таких больших объемов трафика.

Еще одна проблема связана с тем, что с развитие сетей связи возникают новые технологии, которые на данный момент времени или на ближайшее будущее должны обеспечить выполнение более высоких требований к качествам обслуживания [3, 4, 5]. Так, например, для таких направлений, как беспилотный автотранспорт и тактильный интернет, обладающих высокими перспективами развития как для сетей пятого поколения 5G/IMT-2020, так и для сетей последующего поколения (2030 года), необходимо обеспечение сверхнизких значений задержек порядка 1 мс. Значение задержки порядка 1 мс, необходимое для организации связи в сетях, в которых применяется концепция тактильного интернета или беспилотного автотранспорта, не может быть достигнуто средствами ЦОД,

<sup>1</sup> История возникновения Интернета вещей и перспективы развития. URL: [https://e.huawei.com/ru/publications/region/ru/Online\\_expert\\_opinion/201724011244/cover/IoT-history-perspectives](https://e.huawei.com/ru/publications/region/ru/Online_expert_opinion/201724011244/cover/IoT-history-perspectives)

<sup>2</sup> Количество IoT-устройств в мире достигло 22 млрд единиц. URL: <https://profit.kz/news/53350/Kolichestvo-IoT-ustrojstv-v-mire-dostiglo-22-mlrd-edinic/>

<sup>3</sup> Там же.



так как чаще всего ЦОД располагается на удаленном сервере, что в свою очередь приводит к достаточно большим задержкам передачи данных.

Описанные выше проблемы в сетях автотранспорта VANET осложняются также и высокой подвижностью. В рамках другой концепции, обладающей высокими перспективами при развитии сетей как пятого поколения, так и последующего, концепции «Умного города» возможно сильное различие объемов генерируемого трафика в одной и той же зоне, но в разные периоды времени.

Для решения представленных проблем предлагается воспользоваться технологиями программно-конфигурируемых сетей SDN (*Software Defined Networks*), граничных вычислений множественного доступа MEC (*Multi-access Edge Computing*), туманных вычислений Fog Computing и кластерами Беспилотных Летательных Аппаратов БПЛА.

В нашей архитектуре на верхних уровнях используется Многоуровневая облачная система MEC, а на уровне БПЛА – технологию туманных вычислений Fog Computing. Также для обмена данными между БПЛА, вычислительными облаками и другими устройствами в сети, предлагается организовать три различных контроллера SDN.

### Многоуровневая облачная архитектура MEC

Концепция технологии MEC – граничных вычислений множественного доступа (*Multi-access Edge Computing*), ранее называемой Мобильными граничными вычисления (*Mobile Edge Computing*), заключается в переносе возможностей вычислительного облака ближе к пользователю на границу между сетью радиодоступа и базовой сетью [3].

Вычислительные облака в рамках данной концепции могут относиться к одному из трех видов (виды вычислительных облаков представлены в порядке возрастания вычислительных и запоминающих ресурсов облаков): Микро-облако, Мини-облако, Главное облако (удаленный сервер) [3, 4, 5].

Вычислительные облака первых двух видов для снижения нагрузки на базовую сеть и уменьшения задержек передачи должны располагаться как можно ближе к оконечным устройствам пользователя. Поэтому они могут быть размещены в одной из четырех зон [3]:

1. В непосредственной близости от определенной базовой станции LTE (eNB).

2. На границе с базовой сетью – в зоне покрытия определенной базовой станции.

3. В непосредственной близости от определенного контроллера базовых станций (RNC).

4. При соединении с несколькими сайтами (несколькими eNB) – в зоне покрытия определенного контроллера базовых станций. Может использоваться также для обработки данных, поступающих из нескольких зон покрытия базовых станций, относящимся к разным контроллерам базовых станций.



## Сети БПЛА

Сети в структуре которых используются беспилотные летательные аппараты БПЛА, считаются беспроводными сенсорными сетями, состоящими из наземного и воздушного сегментов. Наземный сегмент включает в себя наземные базовые станции, датчики сенсорных полей и устройства пользователей. Летящий – одиночные БПЛА или группы БПЛА [6, 7].

БПЛА могут применяться для самых разнообразных задач:

1. Для размещения датчиков и последующего сбора данных с сенсорных полей.
2. Для ретрансляции данных в условиях, когда передача наземной инфраструктурой невозможна
3. Для замены наземной Базовой Станций при частичном или полном разрушении наземной сетевой инфраструктуры.

В рамках данной работы мы также предполагаем еще один способ: использование БПЛА для обработки пользовательских данных в зонах с повышенной нагрузкой от пользовательских устройств для разгрузки вышестоящих облаков и удаленного сервера.

Первоначально для выполнения задач использовались одиночные БПЛА и их группы, но развитие новых технологий и увеличение количества устройств «Интернета Вещей» потребуют большего количества БПЛА и распределения их на несколько групп. Существует несколько способов организации сетей БПЛА [6, 7].

В данной статье рассматривается архитектура сетей БПЛА с организацией кластеров в летающем сегменте.

В такой архитектуре взаимодействие БПЛА в пределах одного кластера и БПЛА одного кластера с устройствами вне кластера (БПЛА другого кластера, базовые станции, удаленный сервер), осуществляется через головной узел [6].

## Сети автотранспортных средств VANET и концепция «Умного города»

VANET представляют собой сети автотранспортных средств, таких как автобусы, троллейбусы, грузовые и легковые машины, трамваи. Они позволяют автоматизировать управление автотранспортом, перевозкой грузов и транспортировкой пассажиров [8, 9].

В соответствии с рекомендацией ITU-T Y.2281 в сетях автотранспорта возможно четыре вида взаимодействия: транспортное средство – инфраструктура V2I, транспортное средство – вычислительные ресурсы V2G, транспортное средство – дом V2H, транспортное средство – транспортное средство V2V [9].

Приложения для сетей автотранспорта также могут быть связаны с [9]:

- 1) обеспечением безопасности на дорогах, а также оптимизация авто трафика;
- 2) обеспечением логистики и парковки;
- 3) обслуживанием автомобиля;
- 4) предоставлением определенных услуг пассажирам автотранспортных средств (автобусов, троллейбусов, трамваев). К таким услугам могут относиться,



например, услуги по предоставлении доступа к интернету или различному аудио-видео контенту).

Стоит отметить, что сети автотранспортных средств VANET могут быть реализованы как часть другой более обширной концепции – «Умного города», представляющая собой концепцию города нового поколения, цель организации которого заключается в автоматизации жизнедеятельности всей городской инфраструктуры с использованием инновационных технологий и умных алгоритмов самообучения<sup>4</sup>, <sup>5</sup>. К устройствам данной концепции можно отнести умные светофоры, камеры видеонаблюдения, умные парковки, информационные стенды и камеры систем видеонаблюдения.

### Предлагаемая архитектура

Предлагаемая нами архитектура будет состоять из 5 функциональных уровней:

1. Уровень пользовательских устройств.
2. Уровень Беспилотных Летательных Аппаратов (БПЛА).
3. Уровень Микро-облака.
4. Уровень Мини-облака.
5. Уровень Главного облака (Удаленного сервера).

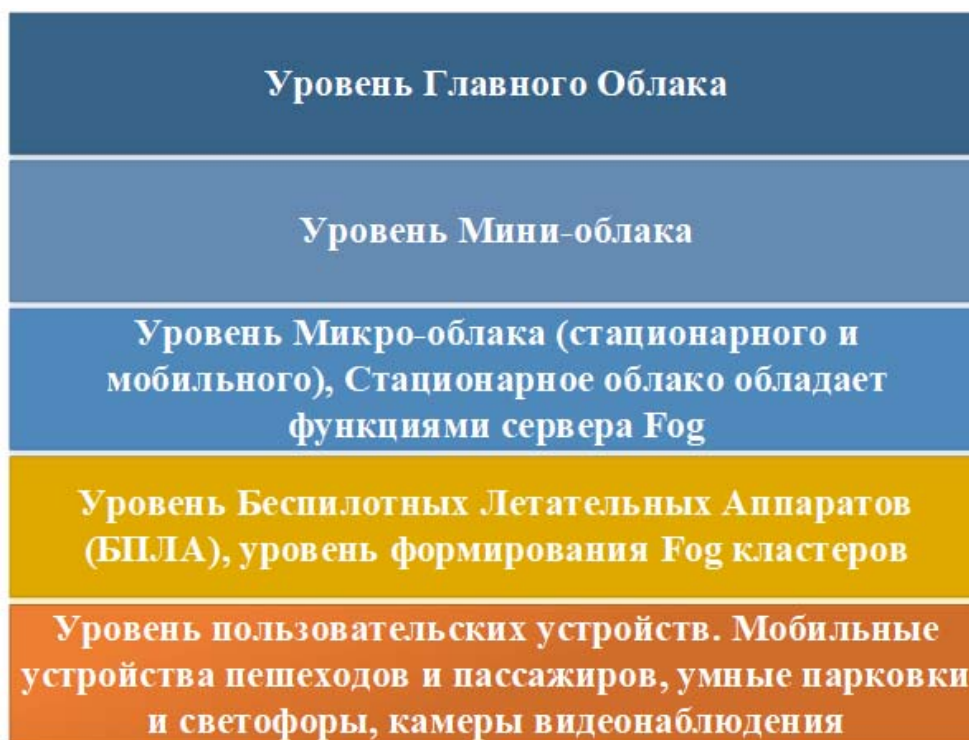


Рис. 1. Функциональные уровни предлагаемой архитектуры

<sup>4</sup> Умный город: технологии, описание концепции - Iot.ru. URL: <https://iot.ru/wiki/umnyy-gorod>

<sup>5</sup> Умные города (Smart cities) – Tadviser. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья: Умные\\_города\\_\(Smart\\_cities\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья: Умные_города_(Smart_cities)).





На уровне пользовательских устройств располагаются различные устройства: мобильные устройства пассажиров автотранспорта и прохожих, умные парковки и светофоры, информационные стенды, камеры систем видеонаблюдения. Умным парковкам и умным светофорам могут быть предоставлены функции коммутаторов SDN.

Второй уровень предлагаемой системы организован беспилотными летательными аппаратами. Также на данном уровне происходит формирование кластера Fog из БПЛА. Для сформированного кластера Fog необходимо выбрать один БПЛА в качестве головного узла, через который и будет осуществляться взаимодействие с устройствами вышестоящих уровней. Также головному узлу предлагается передать функции коммутатора SDN.

К третьему уровню предлагаемой архитектуры относятся Микро-облака. При этом Микро-облако может размещаться в одном из двух мест:

1. Стационарное (неподвижное) Микро-облако. Организовано при соединении с определенной Базовой станцией (в ее зоне покрытия или в непосредственной близости). Также стационарное Микро-облако будет выполнять функции сервера Fog (функции по формированию кластера Fog из устройств БПЛА).

2. Мобильное (подвижное) Микро-облако. Предлагается организовать на общественном транспорте (автобусах, троллейбусах, трамваях). Применение данного Микро-облака позволит уменьшить нагрузку на Базовую сеть от трафика пассажиров автотранспорта. Данные от мобильного Микро-облака предлагается передавать на ближайшую Базовую станцию, в зоне которой оно находится на данный момент времени.

На Микро-облаках также предлагается организовать контроллер SDN для управления передачей данных между устройствами первого и второго уровня предлагаемой архитектуры. Предоставление Микро-облакам функций коммутаторов SDN позволит осуществлять обмен данными в рамках концепции SDN между Микро-облаками и Мини-облаками.

Четвертый уровень предлагаемой архитектуры – Мини-облако, которое, как и Микро-облако, будет обладать функциями контроллера и коммутатора SDN. Мини-облако, как и Микро-облако, должно размещаться как можно ближе к конечному пользователю. Поэтому оно может быть реализовано либо в непосредственной близости от определенного контроллера базовых станций (в данном случае на Микро-облако будут поступать потоки данных пользователей из зон покрытия базовых станций одного определенного контроллера базовых станций), либо независимо от какого-либо контроллера базовых станций (в данном случае Мини-облако объединяет несколько Микро-облаков относящихся к различным контроллерам базовых станций).

К пятому уровню относится главное облако или удаленный сервер. Третий тип контроллера SDN, а также оркестратор также предлагается реализовать на данном уровне (рис. 2).

### **Реализация концепции SDN в рамках предлагаемой архитектуры**

Как было представлено ранее. В предлагаемой нами архитектуре используется три вида контроллеров SDN:



1. На Микро-облаке. Управляет обменом данных между пользователями первого уровня, БПЛА и Микро-облаками
2. На Мини-облаке. Управляет передачей данных между определенным Мини-облаком и подчиненными ему Мини-облаками.
3. На главном облаке. Управляет передачей данных по инфраструктуре Базовой сети от Мини-облака до Главного облака.

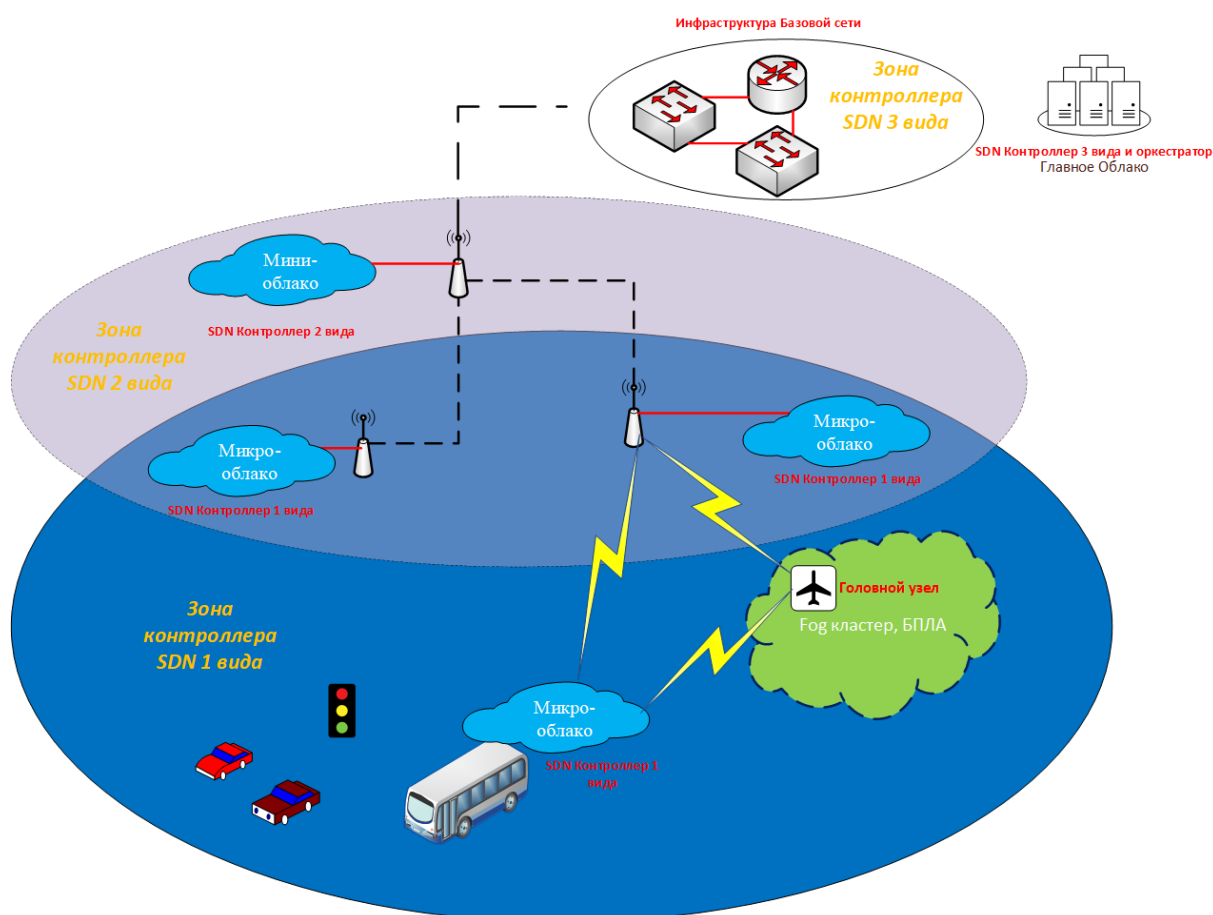


Рис. 2. Предлагаемая архитектура с тремя видами SDN контроллеров

### Основные выполняемые процессы

Так как общее количество БПЛА ограничено, а зон повышенной нагрузки может быть несколько, необходимо первоначально сформировать кластеры БПЛА. Данный процесс будет состоять из следующих этапов:

1. На основе собранных данных определить зоны повышенной нагрузки и объемы предположительной нагрузки.
2. Определить ресурсы всех БПЛА.
3. В соответствии с процентным соотношением объемов нагрузок распределить БПЛА по различным центрам нагрузки.
4. Сформировать каждой зоне повышенной нагрузки свой собственный кластер БПЛА
5. Переместить кластер БПЛА к определенной зоне повышенной нагрузки.





6. Кластер БПЛА предлагается разместить в зоне Базовой станции, которая наиболее близка по расположению к предполагаемому центру кластера.

7. В зависимости от типов нагрузки осуществить миграцию сервисов на БПЛА.

Другой наиболее важный процесс – это выбор уровня обработки и передача данных до выбранного уровня. Данный процесс будет зависеть от того, кто передает запрос: мобильные устройства пешеходов, или пассажиры общественного транспорта.

Для пассажиров автотранспорта, последовательность действий будет следующей:

1. Запрос на обработку данных передается на мобильное Микро-облако.

2. Мобильное облако на основе затрачиваемых на выполнение запросов ресурсов решает может ли оно обработать полученный запрос. При достаточном количестве ресурсов Мобильное микро-облако приступит к обработке запросов пользователей. При недостаточном количестве ресурсов запрос будет передан Микро-облаку.

3. Микро-облако решает, можно ли сформировать кластер Fog устройств БПЛА, или обработка должна осуществляться на Мини-облаке или Главном облаке.

4. Выбранному уровню обработки будет передан запрос.

5. Если в качестве уровня обработки был выбран уровень БПЛА стационарному Микро-облаку, связанному с базовой станцией, рядом с которой и размещается кластер Fog будет передан запрос по формированию кластера Fog.

6. Сформированный из БПЛА кластер Fog будет отправлен на обработку поставленной задачи при успешном формировании кластера. Если Микро-облако не сможет сформировать кластер, то на Мини-облаке будет передана информация о невозможности формирования кластера.

7. Выбранные уровни обработки (для уровня БПЛА Мини-облаке) должны отправить сообщение с подтверждением или отказом в обслуживании запроса

8. Информация о выбранном уровне будет передана конечному пользователю.

Выбор уровня обработки для запросов от мобильных устройств пешеходов будет осуществляться только на Мини-облаке.

В качестве Микро или мини-облака для обработки запроса могут использоваться только вычислительные облака, в зоне которых и находятся пользователи.

### Заключение

В данной работе была представлена пяти уровневая архитектура для обработки запросов как от пешеходов, так и пассажиров общественного автотранспорта. Уровни с 3 по 5 были организованы многоуровневой облачной системой МЕС, а на уровне БПЛА предлагалось формировать кластеры Fog.

В работе были представлены последовательности действий по выбору уровня обработки запросов и по распределению БПЛА по зонам повышенных нагрузок.



Предлагаемая архитектура позволит снизить нагрузку на базовую сеть и уменьшить задержку передачи данных как в сетях VANET, так и в инфраструктуре «Умного города».

*Исследование выполнено в рамках выполнения ПНИ по государственному заданию СПбГУТ на 2022 год.*

### Литература

1. Эванс Д. Интернет вещей. Как изменится вся наша жизнь на очередном витке развития Всемирной сети. 2011. С. 14. URL: [https://www.cisco.com/c/dam/global/ru\\_ru/assets/executives/pdf/internet\\_of\\_things\\_iiot\\_ibsg\\_0411final.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/ru_ru/assets/executives/pdf/internet_of_things_iiot_ibsg_0411final.pdf)
2. Кучерявый А. Е. Интернет вещей // Электросвязь. 2013. № 1. С. 21–24.
3. Nikolayevich, V., Alzaghir, A., Volkov, A., Muthanna, A., Koucheryavy, A. Clustering algorithms for UAV placement in 5G and Beyond Networks // 2020 12th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT).
4. Коваленко В. Н., Волков А. Н., Мутханна А. С. А. Снижение круговой задержки и нагрузки в многоуровневой облачной архитектуре // 74-я Научно-техническая конференция Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А.С. Попова, посвященная Дню радио. 2019. № 1 (74). С. 160-161.
5. Волков А. Н., Коваленко В. Н., Мутханна А. С. А., Родакова А. О. Система распределенных вычислений на основе летающего сегмента сети, глубоко имплементированного в архитектуру сетей связи 5g/imt-2020 и сетей 2030 // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. X Юбилейная Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. СПб.: СПбГУТ, 2021. Т. 4. С. 403–408.
6. Коваленко В. Н., Алзагир А. А., Мутханна А. С. А. Построение сети БПЛА с поддержкой SDN/NFV технологий // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Т. 8, № 3. С. 71–85. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-3-71-85.
7. Модель М. В., Коваленко В. Н., Волков А. Н., Мутханна А. С. А. Методы реализации контроллеров SDN в сети БПЛА // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 4. С. 23–34. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-4-23-34.
8. Коваленко В. Н., Березин В. А., Мутханна А. С. А Система для сетей VANET на основе SDN/MEC // 73-я региональная научно-техническая Конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Студенческая весна – 2019». 2019. Т. 1. С. 57–61.
9. Гольдштейн Б. С., Кучерявый А. Е. Сети связи пост-NGN. СПб.: БХВ-Петербург, 2014. 160 с.

### References

1. Evans, D. Internet veshchej. Kak izmenitsya vsya nasha zhizn' na ochered-nom vitke razvitiya Vsemirnoj seti. 2011. S. 14. URL: [https://www.cisco.com/c/dam/global/ru\\_ru/assets/executives/pdf/internet\\_of\\_things\\_iiot\\_ibsg\\_0411final.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/ru_ru/assets/executives/pdf/internet_of_things_iiot_ibsg_0411final.pdf)
2. Kucheryavyj A. E. Internet veshchej // Elektrosvyaz'. 2013. № 1. S. 21–24.
3. Nikolayevich, V., Alzaghir, A., Volkov, A., Muthanna, A., Koucheryavy, A. Clustering algorithms for UAV placement in 5G and Beyond Networks // 2020 12th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT).
4. Kovalenko V. N., Volkov A. N., Muthanna A. S. A. Snizhenie krugovoj zaderzhki i nagruzki v mnogourovnevoj oblachnoj arhitekture // 74-ya Nauchno-tekhnicheskaya konferenciya Sankt-Peterburgskogo NTO RES im. A.S. Popova, posvyashchennaya Dnyu radio. 2019. № 1 (74). S. 160–161. (in Russian).
5. Volkov A., Kovalenko V., Muthanna A., Rodakova A. A Distributed computing system based on a flying network segment, deeply implemented in the architecture of 5G / IMT-2020 communication net-works and 2030 networks // 10th International Conference on Advanced Infotelecommunications (ICAIT 2021). SPb.: SPbSUT, 2021. Vol. 4. PP. 403–408 (in Russian).



6. Kovalenko V., Alzaghir A. A., Muthanna A.: Building a UAV network with support for SDN/ NFV technologies // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss. 3. pp. 71–85 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-3-71-85.

7. Model M., Kovalenko V., Volkov A., Muthanna A.: Implementation Methods for SDN Controllers in a UAV Network // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss 4. pp. 23–34 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-4-23-34.

8. Kovalenko V. N., Berezin V. A., Muthanna A. S. A Sistema dlya setej VANET na osnove SDN/MEC // 73-ya regional'naya nauchno-tehnicheskaya Konferenciya studentov, aspirantov i molodyh uchenyh «Studencheskaya vesna – 2019». 2019. T. 1. С. 57–61 (in Russian).

9. Gol'dshtejn B. S., Kucheryavyj A. E. Seti svyazi post-NGN. SPb.: BHV-Peterburg, 2014. 160 s. (in Russian).

**Коваленко Вадим Николаевич**

аспирант Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
[kovalenkovadim1996@gmail.com](mailto:kovalenkovadim1996@gmail.com)

**Kovalenko Vadim N.**

Postgraduate, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications,  
[kovalenkovadim1996@gmail.com](mailto:kovalenkovadim1996@gmail.com)

**Аль-Свейти Малик А. М.**

аспирант Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
[aldonasmr@gmail.com](mailto:aldonasmr@gmail.com)

**Al-Sveiti Malik A. M.**

Postgraduate, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications,  
[aldonasmr@gmail.com](mailto:aldonasmr@gmail.com)

**Мутханна Аммар Салех Али**

кандидат технических наук, доцент кафедры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,  
[ammarexpress@gmail.com](mailto:ammarexpress@gmail.com)

**Muthanna Ammar S.**

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Department, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications,  
[ammarexpress@gmail.com](mailto:ammarexpress@gmail.com)