

## **Раздел 7. Тестирование приложений дополненной реальности и голографических сетевых приложений**

Рекомендация МСЭ-Т Q.4066 «Testing procedures of Augmented Reality applications» [86], (Процедуры тестирования приложений дополненной реальности), впервые была опубликована на сайте МСЭ-Т в сентябре 2020 года. Он входит в группу Рекомендаций, разрабатываемых МСЭ-Т для тестирования сетей ИМТ-2020 и Интернета вещей. На сегодня в рамках этой группы разработаны и такие рекомендации, как Q.4060 «The structure of the testing of heterogeneous Internet of things gateways in a laboratory environment», Q.4061 «Framework of software-defined network controller testing», Q.4062 «Framework for Internet of things testing», Q.4063 «The framework of testing of identification systems used in Internet of things», Q.4064 «Interoperability testing requirements for a virtual broadband network gateway» [87-91], в том числе предшествующие и повлиявшие на разработку Рекомендации МСЭ-Т Q.4060. Также МСЭ-Т Q.4060 опирается на Рекомендацию МСЭ-Т J.301 «Requirements for augmented reality smart television systems» [15], вышедшую в январе 2014 года.

В Рекомендации МСЭ-Т Q.4060 «Testing procedures of Augmented Reality applications» предложена классификация приложений дополненной реальности для реализации задач тестирования, базовая архитектура модельной сети для тестирования приложений ДР и набор типовых сценариев тестирования для различных приложений ДР. Рассмотрим каждый из разделов данной рекомендации подробнее.

### **2.1 Классификация приложений дополненной реальности для тестирования**

Для определения дополненной реальности и понимания типа данных, которые необходимо передавать в рамках реализации услуги ДР, рекомендация Q.4060 не вводит новых понятий, а использует термины из

рекомендации МСЭ-Т J.301 «Requirements for augmented reality smart television systems». Согласно рекомендациям Q.4060 и J.301 в рамках предоставления услуг ДР может передаваться разнотипная информация в зависимости от целевого назначения услуги. Это могут быть аудиоданные, видеопотоки, двухмерные (2D) графические изображения, 3D анимационные модели и др. По самой ДР понимается тип смешанной реальности, в которой некие графические элементы интегрируются в реальный мир с целью расширения восприятия пользователя и наглядной информативности объектов, существующих в окружении пользователя.

Поскольку реализация приложений ДР, вид и объем передаваемой информации, требования к характеристикам сетей связи и показателей QoS (Quality of Service, качества обслуживания) и QoE (Quality of Experience, качества восприятия) значительно отличаются для различных приложений ДР в зависимости от решаемых ими задач в рекомендации МСЭ-Т Q.4066 важное значение отводится классификации приложений ДР по различным категориям для последующего их тестирования. Предлагается классифицировать приложения ДР по 5 категориям.

Во-первых, предлагается классифицировать приложения ДР по **типу устройств**, для которых они были разработаны. Среди устройств могут быть выделены очки ДР, смартфоны, планшеты, шлемы ДР, проекторы, персональные компьютеры и др. Этот критерий классификации вполне оправдан, поскольку различные устройства имеют разные технические характеристики и возможности по отображению данных ДР пользователю, идентификации (распознаванию) объектов, к которым необходимо добавить информацию, требования к пропускной способности сети и способу взаимодействия с сетью, включая различные технологии и стандарты беспроводной связи.

Следующий способ классификации - **по типу операционной системы (ОС)**, для которой разработано приложение. Для разработки различных сценариев тестирования приложений ДР, очевидно, что тип ОС будет играть

значительную роль, т.к. будет влиять на логику предоставления услуги, обработку полученных данных, формирование запросов на сервер и т.д. ОС может быть, как довольно распространенная, например, на смартфонах и планшетах, так и специфическая, в частности встроенная в автомобили, камеры и фотоаппараты, ОС для очков ДР или серверов ДР.

Третий способ классификации приложения ДР – **по типу передаваемой информации**. На сегодняшний день применение ДР в различных сферах и отраслях повсеместное и широкомасштабное. Активно приложения ДР применяются в сферах культуры и развлечений, так, например, многие музеи используют наглядность и информативность дополненной реальности при добавлении информации к различным объектам. В частности, если туристы находятся на экскурсии по руинам древнего города, то в очках ДР они будут видеть не просто камни и остатки колонн, а все здания и сооружения в том виде, в котором они существовали и даже наблюдать на улицах людей того времени. Очевидно, что для реализации такой услуги необходимо каждому пользователю доставлять большой объем видеоданных с надлежащим качеством. В другом случае пользователь движется на автомобиле по шоссе с большой скоростью и ему нужна информация, например, о стоимости или наличии бензина на автозаправочной станции. Если ему будет транслироваться видеопоток, то это будет его отвлекать и не будет информативно, поэтому в данном случае целесообразнее передача текстовой или аудио информации. Таким образом, и структура услуги, взаимодействие основных элементов будет существенно отличаться для различных приложений ДР, что повлияет и на сценарии их тестирования.

Далее приложения ДР можно классифицировать **по типу доставки AR-контента от сервера к AR-клиенту**. Это может быть потоковое видео, сигнальная информация или метаданные с изменениями, т.е. добавлением данных дополненной реальности еще одним слоем поверх имеющихся данных.

Последний тип классификации – **по назначению устройства**. Устройства могут быть типа датчик или актуатор. Датчики представляют из себя устройства, которые могут собирать информацию из внешнего мира, преобразовывать ее и передавать для дальнейшей обработки. Такими устройствами могут быть камеры дополненной реальности, которые способны распознавать лица и эмоции человека, жесты и направление головы, взгляда, движений, т.е. получать трехмерное изображение объекта, учитывая расстояние до всех его мельчайших деталей. Актуаторы, наоборот, передают информацию из цифрового мира в физический мир или воздействуют на него, т.е. очки ДР могут отображать пользователю объекты, которые не существуют в реальном мире, например, ваза на столе, стол есть, а ваза – виртуальный объект.

## 2.2 Базовая архитектура модельной сети для тестирования

Прежде чем рассмотреть архитектуру модельной сети для тестирования рассмотрим общую модель услуги дополненной реальности, принципы взаимодействия основных элементов и их влияние на качество восприятия услуги.

### 2.2.1 Модель услуги

В более общем случае процесс предоставления услуги ДР можно рассматривать как интерактивное взаимодействие пользователя с прикладными функциями, реализующими анализ состояния его окружения и предоставляющими ему дополнительную информацию, как представлено на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 - Взаимодействие пользователя с прикладными функциями

Поскольку целевое назначение ДР это предоставление пользователю дополнительной контекстной информации, то качество ее предоставления следует рассматривать с точки зрения степени достижения этой цели, что можно охарактеризовать:

- степенью соответствия предоставленной дополнительной информации потребностям пользователя (соответствие целевому назначению, объем, детализация и др.);
- степенью восприимчивости предоставленных данных (видео данные, графика, звук, таблицы, текст и другие элементы интерфейса с пользователем, качество их представления);
- своевременностью предоставления дополнительной информации.

### 2.2.2 Модель взаимодействия основных элементов при предоставлении услуг ДР

Реализация услуги ДР может быть различна, в зависимости от используемых технических средств. В набор этих средств обязательно входит абонентское устройство, которое может представлять собой смартфон, планшетный ПК, мультимедийные очки, шлем и др., позволяющие

организовать пользовательский интерфейс, получение данных об окружении и имеющее достаточно высокую производительность вычислительного устройства. В частности, вся функциональность ДР может быть реализована в составе клиентского приложения такого устройства. Однако, во многих приложениях, например, нецелесообразно или невозможно хранить всю дополнительную информацию, а также выполнять всю обработку данных пользователя ресурсами мобильного устройства. Поэтому, следующим элементом ДР является инфокоммуникационная составляющая (сеть связи), которая обеспечивает доставку дополнительной информации пользователю, базы данных и возможно серверы, выполняющие часть функций по обработке информации пользователя, как представлено на рисунке 2.2. При наличии в окружении пользователя датчиков Интернета вещей (IoT), способных предоставить полезную информацию, может быть использована технология D2D, обеспечивающая непосредственную связь абонентского устройства с ними.

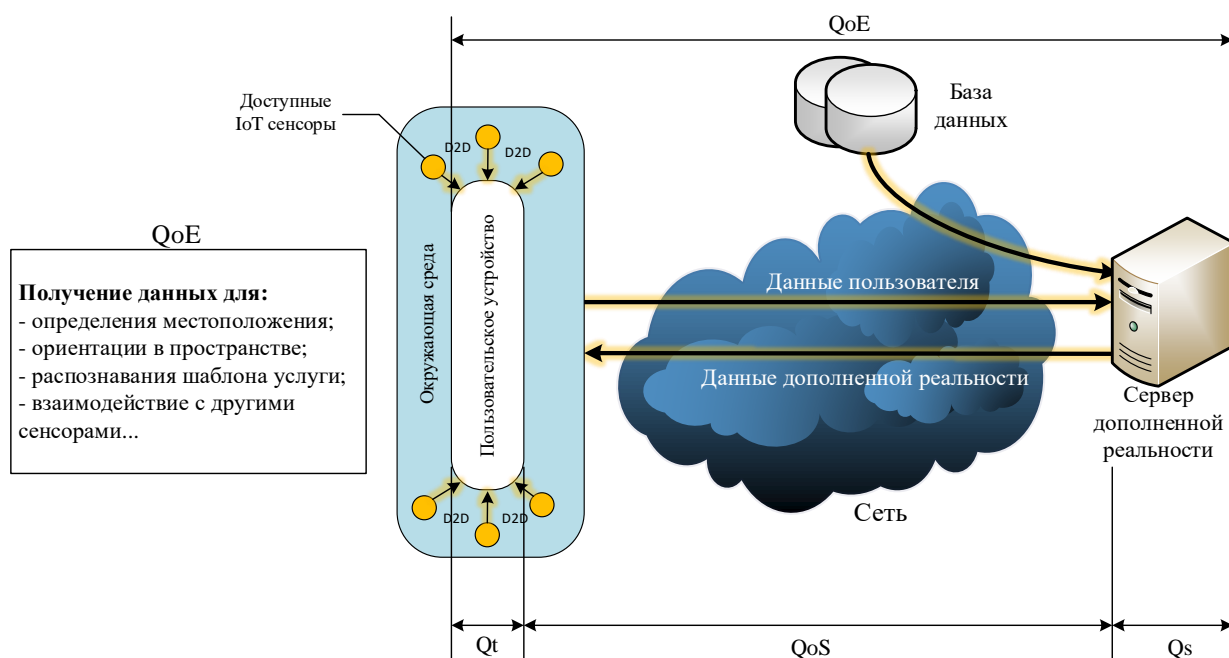


Рисунок 2.2 - Взаимодействие основных элементов при предоставлении услуги ДР

Основными элементами, обеспечивающими качество восприятия услуги пользователем, являются устройство пользователя ДР, сервер услуги ДР, базы данных и сеть связи. Все элементы взаимодействуют через сеть связи (при наличии устройств *IoT* также возможна *D2D* коммуникация). В данной системе основной задачей обеспечения качества услуги является распределение функциональности и данных между клиентским приложением устройства пользователя, сервером услуги и базами данных. Это распределение отражается на времени выполнения функций по обработке данных, времени доставки данных через сеть связи и на производимом в сети трафике.

### 2.2.3 Качество предоставления услуги ДР

Как было сказано ранее качество предоставления услуги дополненной реальности связано с предоставлением пользователю дополнительной контекстной информации об объекте. Следовательно, для понимания удовлетворенности пользователя услугой необходимо определить степень соответствия предоставленной дополнительной информации потребностям пользователя, степень восприимчивости предоставленных данных, своевременность предоставления дополнительной информации.

Степень соответствия дополнительной информации потребностям пользователя и степень ее восприимчивости определяются организацией услуги, наличием требуемой информации и организацией пользовательского интерфейса.

Услуга ДР является интерактивной, поэтому своевременность предоставления информации является одним из наиболее важных факторов, определяющих ее качество. Своевременность характеризуется временем между событием, связанным с изменениями состояния окружения или пользователя и событием, характеризующим доступность пользователю

дополнительной информации. Это время (задержка) определяется рядом составляющих, таких как:

- времени получения данных об окружении (опрос датчиков состояния, видео и др.) и их обработки;
- времени доставки данных на сервер услуги (если необходимо);
- времени обработки данных сервером услуги;
- временем доставки данных пользователю;
- временем представления данных.

При организации услуги с участием сервера данные запрашиваются и передаются пользователю при изменении состояния окружения (изменении окружения в поле зрения/восприятия пользователя). В зависимости от функциональности услуги - это может происходить при изменении положения в пространстве пользователя (терминала) или некоторых объектов, что эквивалентно изменению множества объектов в поле восприятия, для которых требуется предоставление дополнительных данных. Идентификация изменения может производиться, например, на основании анализа данных о координатах устройства и его ориентации в пространстве, распознавания объектов путем анализа видео данных, и т.д.

#### 2.2.4 Модель сети для тестирования приложений ДР

В Рекомендации Q.4066 предложена модель сети, которая показывает общую архитектуру аппаратных и программных решений для тестирования приложений ДР. Данная модель представлена на рисунке 2.3.



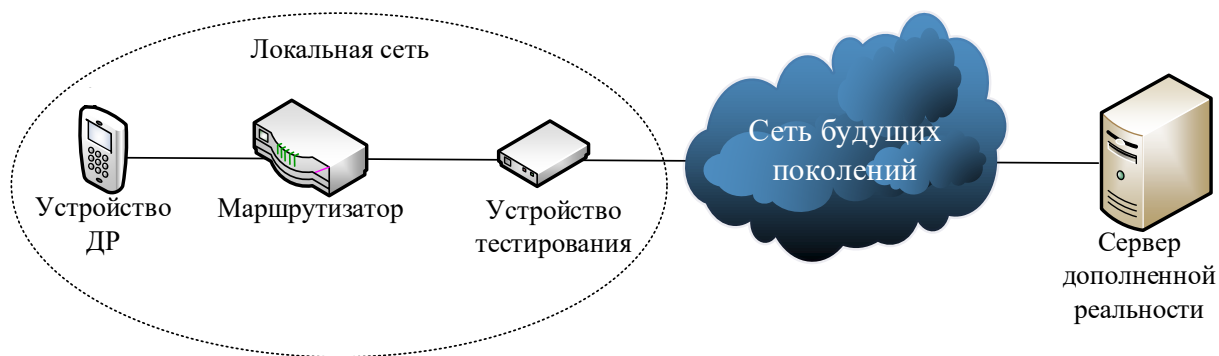


Рисунок 2.3 – Модель сети для тестирования приложений ДР

Данная модель включает в себя:

- Устройство ДР - программно-аппаратный комплекс, включающий предустановленное программное обеспечение для предоставления услуг ДР.
- Маршрутизатор - маршрутизатор (и / или шлюз), подключающий устройство ДР к глобальной сети.
- Тестовое устройство - тестовое устройство, подключенное к маршрутизатору с собственным адресом в локальной сети и способное перехватывать и анализировать трафик между устройством ДР и сервером ДР.
- Сервер ДР - программно-аппаратное решение в виде удаленного облачного сервера, отвечающего за мониторинг процедуры предоставления услуг.

Как видно предложенная в рекомендации модель для тестирования позволяет оценить работу основных элементов при предоставлении услуг дополненной реальности и степень соответствия требуемому качеству предоставления услуги. Модель является базовой и может дополнена новыми элементами, если того требуют задачи тестирования

### 2.3 Набор типовых сценариев тестирования приложений дополненной реальности

Чтобы проверить совместимость приложения ДР с выбранным устройством, сетью и службами ДР, необходимо разработать набор сценариев

тестирования. Процедура тестирования может состоять из одного или нескольких различных сценариев тестирования одновременно. Это определяется специальными инструментами операционной системы. Каждая процедура тестирования может включать в себя различные сценарии тестирования для конкретного потока. Общий сценарий тестирования, предложенный в Рекомендации Q.4066 показан на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Базовый сценарий тестирования

В Рекомендации Q.4066 выделены следующие типовые сценарии тестирования.

**1. Тестирование параметров сети.** Этот сценарий тестирования предполагает захват трафика приложений дополненной реальности с сетевых интерфейсов для измерения параметров QoS для каждого типа приложений и услуг ДР. Сценарий тестирования параметров сети представлен на рисунке 2.5.

Для тестирования работы приложений ДР в сетях связи следует использовать методы тестирования QoS и QoE. В частности, при тестировании

параметров сети в первую очередь должны быть протестированы четыре общепринятых параметра QoS:

- Сетевые задержки (мс);
- Джиттер (мс);
- Потеря пакетов (%);
- Пропускная способность (бит / с).

В Рекомендации Q.4066 значения параметров QoS предлагается определять основываясь на предложенной классификации, а именно с использованием двух классификаций:

- По типу передаваемых данных.
- По типу сетевого трафика.

Например, при тестировании передачи видео и аудио информации необходимо опираться на значения параметров QoS, изложенных в Рекомендации МСЭ-Т Y.1541 [92]. Также при тестировании приложений ДР, в рамках которых осуществляется передача пользователю видеоданных следует опираться на Рекомендацию МСЭ-Т G.1080 [93].

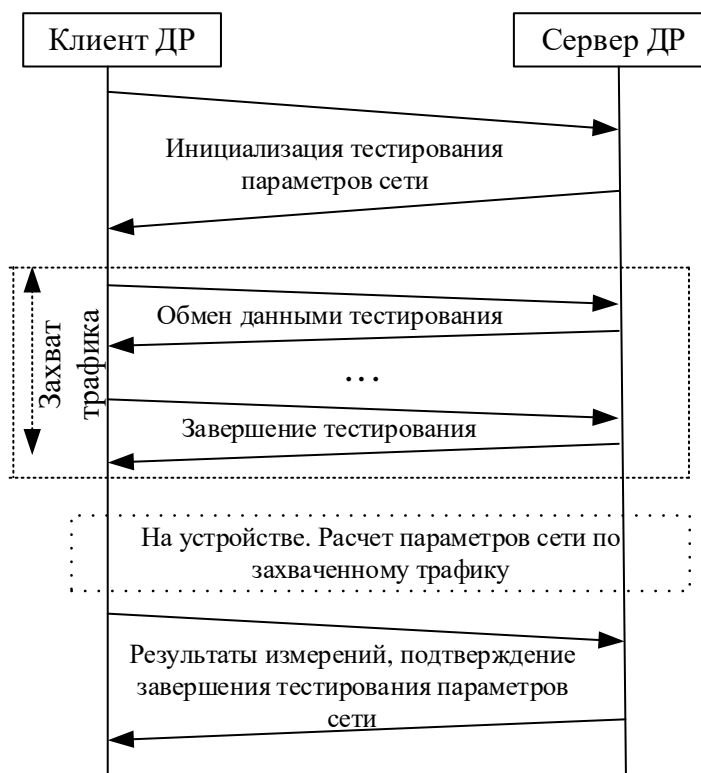


Рисунок 2.5 – Сценарий тестирования параметров сети

Для приложений ДР, в которых передаются текстовые данные и данные, специфичные для приложений ДР, следует учитывать сценарии работы приложений, установленные их разработчиками. Для тестирования сценариев работы приложений ДР может быть принята классификация по типу сетевого трафика. Например, реактивный сценарий подходит для антиперсистентного типа сетевого трафика, а проактивный сценарий подходит для самоподобного типа.

**2. Тестирование нагрузки на сервер.** Этот сценарий тестирования генерирует потоки трафика и тестирует работу операционной системы сервера при высоких значениях нагрузки. Данный сценарий тестирования представлен на рисунке 2.6.

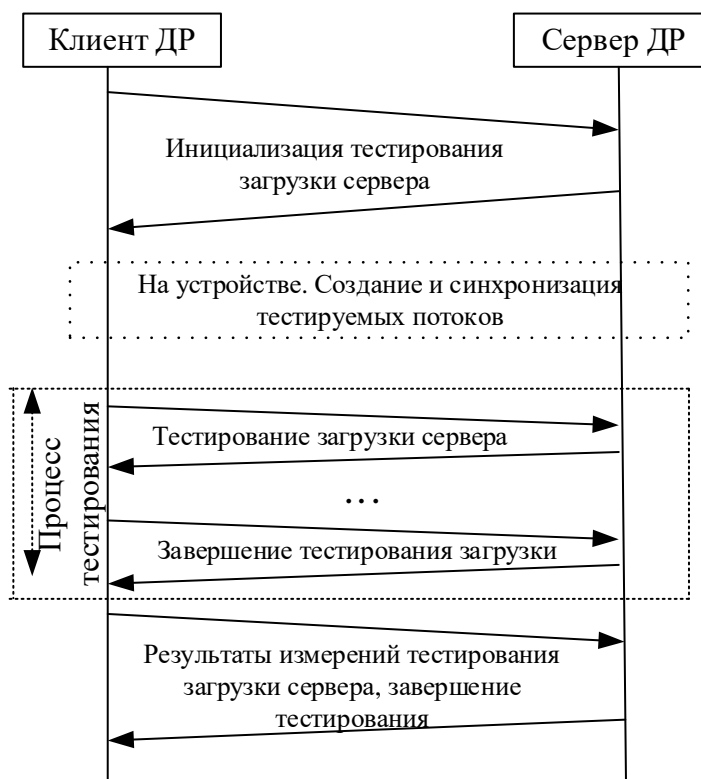


Рисунок 2.6 – Сценарий тестирования загрузки сервера

**3. Тестирование производительности устройства дополненной реальности.** В этом сценарии тестирования используются встроенные в ОС инструменты для сравнения требований к программному и аппаратному обеспечению с производительностью устройства. Сценарий тестирования производительности устройства ДР представлен на рисунке 2.7. На сегодняшний день многообразие

устройств дополненной реальности требует обязательного проведения данного тестирования. Помимо смартфонов и планшетов на рынке появляется все больше специфических устройств ДР, таких как очки ДР, которые уже сегодня производит больше двух десятков компаний.

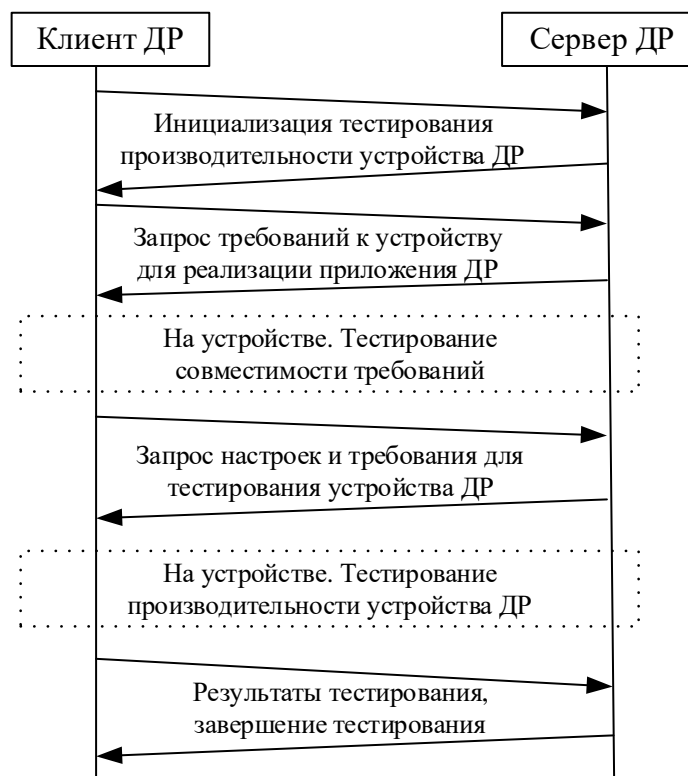


Рисунок 2.7 – Сценарий тестирования производительности устройства ДР

**4. Тестирование идентификации и аутентификации.** В этом сценарии тестирования используется процедура центра сертификации для проверки подлинности сервера и клиента. Сценарий тестирования идентификации и аутентификации представлен на рисунке 2.8.

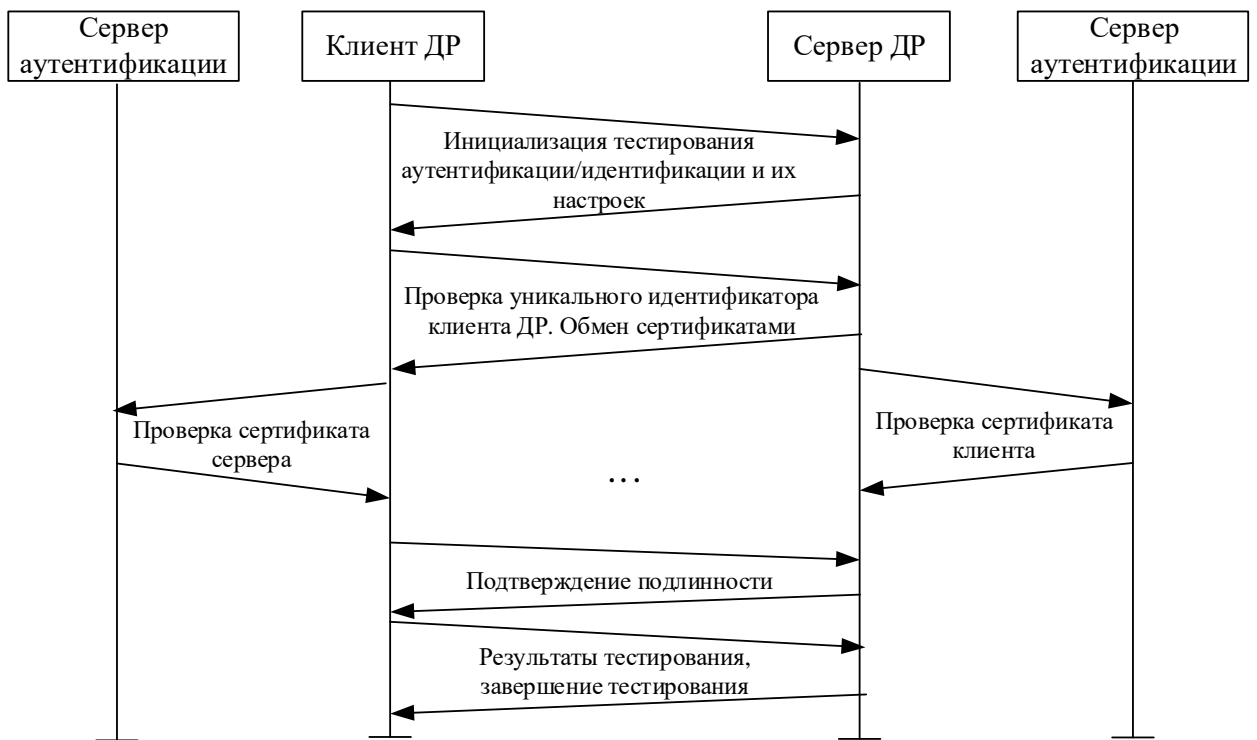


Рисунок 2.8 – Сценарий тестирования идентификации и аутентификации

Представленные выше сценарии позволяют оценить работу приложения дополненной реальности с разных ракурсов. С ростом числа приложений потребуется расширить сценарии тестирования в зависимости не только от специфики приложения, но и от интеграции с другими услугами, например, медицинских сетей, Тактильного интернета, интернета навыков.

### 3 Конфигурации модельных сетей для тестирования дополненной реальности

Услуги дополненной реальности являются очередным шагом развития услуг подвижной связи. Сочетание свойств мобильности терминала, его вычислительных возможностей, способов взаимодействия с окружающей средой (распознавание видео, звуковых и тактильных образов, вычисление координат и ориентации в пространстве), а также современной сети связи позволяют реализовать качественно новый уровень услуг, обладающих высокой степенью интерактивности. В частности, это услуги дополненной реальности. Сегодня уже широко известны и популярны такие услуги как интерактивные карты городов и населенных пунктов, звездного неба, различного рода путеводители, приложения для заказа товаров и услуг. Однако, если представить какой объем трафика порождают в сети все эти приложения, то становится очевидным, что необходимо менять существующие структуры сети и механизмы распределения трафика в сети. При предоставлении услуг дополненной реальности часто можно наблюдать тесное взаимодействие с устройствами Интернета вещей, которые также генерируют довольно внушительный объем трафика. Очевидно, что при разработке и внедрении услуг для широкого круга пользователей необходимо провести тестирование работы того или иного приложения ДР на сети оператора. Далее представлены конфигурации модельных сетей для тестирования различных услуг дополненной реальности.

#### 3.1. Модельная сеть для тестирования облачных сервисов

Следует отметить, что вопрос идентификации объектов дополненной реальности и Интернета вещей, также влияет на качество предоставления услуг и структуру организации услуги. Преимущество и удобство для пользователей большинства приложений дополненной реальности заключается в возможности визуальной идентификации объектов. Т.е.

пользователь в очках дополненной реальности смотрит на какой-нибудь объект и ему предоставляется информация об этом объекте или меняется его состояние, таким образом пользователь не производит никаких действий для получения информации и управления объектом. В данном разделе рассмотрена система идентификации устройств Интернета Вещей с использованием технологии дополненной реальности и облачных сервисов и системы представлена модельная сеть, на базе которой возможно провести тестирование аутентификации/идентификации, а также оценку работы системы и соответствие показателям качества восприятия.

### 3.1.1 Структура реализации услуги

Услуги дополненной реальности позволяют пользователю своевременно получать необходимую информацию. При этом ее выбор выполняется автоматически на основании данных о его состоянии, например, положении в пространстве (географические координаты), на карте и плане территории (на основе данных геолокации), о нахождении транспортного средства и др. Как было показано в, реализация услуги требует организации обмена данными с сервером услуги и/или непосредственно с устройствами, находящимися в зоне связи абонентского терминала, при использовании технологий *D2D* [94].

При этом время между запросом и доставкой данных не должно превышать некоторой величины, при которой пользователь еще не ощущает снижения качества услуги. Это время определяется временем: формирования запроса (зависит от реализации услуги), доставки запроса от терминала до сервера услуги, обработки запроса, доставки данных от сервера услуги до терминала и представления информации пользователю. Их условно можно разделить на три группы: время, определяемое обработкой данных терминалом пользователя, время доставки данных по сети связи и время обработки данных сервером. В общем случае эти составляющие взаимно зависимы.



Существенную роль играет процесс формирования запроса данных. Запрос формируется при изменении окружения пользователя (или состояния пользователя) о чем можно судить по изменению некоторых параметров. Такими параметрами могут быть данные датчиков, например, географические координаты, положение терминала в пространстве, ускорение, а также результаты анализа изображения или звука, получаемого от камер и микрофонов терминала. Например, если запрос данных формируется по результатам распознавания образа (видео, снятого камерой терминала), то функции распознавания образов могут быть реализованы или в приложении терминала, или на сервере услуги. В первом случае при низкой вычислительной производительности терминала время будет расходоваться на выполнение функций распознавания терминалом, во втором – на передачу видео через сеть связи и время его обработки сервером.

Очевидно, что выбор первого или второго варианта зависит от производительности терминала, пропускной способности (ПС) сети связи, производительности и загрузки сервера, т.е. имеет место задача выбора оптимального варианта реализации услуги. Описанную здесь модель можно расширять, введя дополнительные параметры, например, зависимость времени обработки запроса сервером услуги от объема данных (размера базы данных) и интенсивности запросов. В таком случае имеет смысл кластеризация данных и организация локальных серверов услуги.

Рассматривая перспективную сеть 5G, технологию связи *D2D*, а также применение *SDN* (*Software-Defined Network*, программно-конфигурируемые сети), можно представить структуру реализации услуги, приведенную на рисунке 3.1.

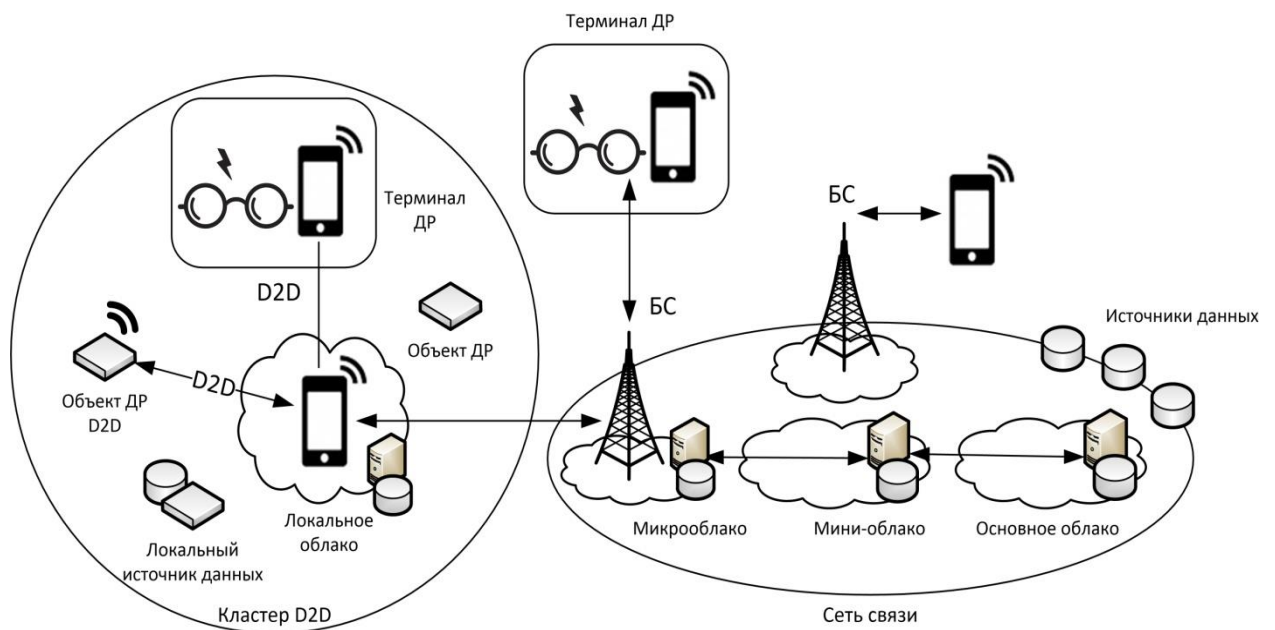


Рисунок 3.1 - Возможная структура реализации услуги ДР

Полагаем, что сеть связи построена с использованием архитектуры *SDN*, в которой присутствуют центры обработки данных (ЦОД) различных уровней, что дает возможность локализовать трафик и данные «ближе» к пользователям. На схеме эти ЦОД изображены как облака микро, мини и основного уровня. В реальной сети таких уровней может быть столько, сколько будет необходимо для наилучшей реализации услуги. Базовая станция сети взаимодействует непосредственно с терминалом ДР или с мобильным терминалом, выполняющим роль локального облака, взаимодействующего с терминалом ДР с помощью технологий *D2D*, что повышает эффективность использования радиочастотного спектра [94]. Здесь под облаком понимается некий объем вычислительных ресурсов и ресурсов памяти, который может быть применен для организации сервера и базы данных (БД) услуги.

### 3.1.2 Модель услуги

Для построения модели услуги необходимо связать показатели (параметры), характеризующие качество ее предоставления, с параметрами системы связи. В качестве основного показателя выберем время реакции на

изменение окружения пользователя -  $\tau$ . Будем полагать, что это время включает все составляющие: время распознавания изменения и предварительной обработки приложением мобильного терминала  $t_r$ , время передачи данных (запроса) на сервер услуги через сеть связи  $t_q$ , время обработки запроса сервером услуги  $t_s$ , время доставки данных через сеть связи  $t_a$  и время представления информации пользователю приложением мобильного терминала  $t_d$ . Модель представления услуги дополненной реальности представлена на рисунке 3.2.

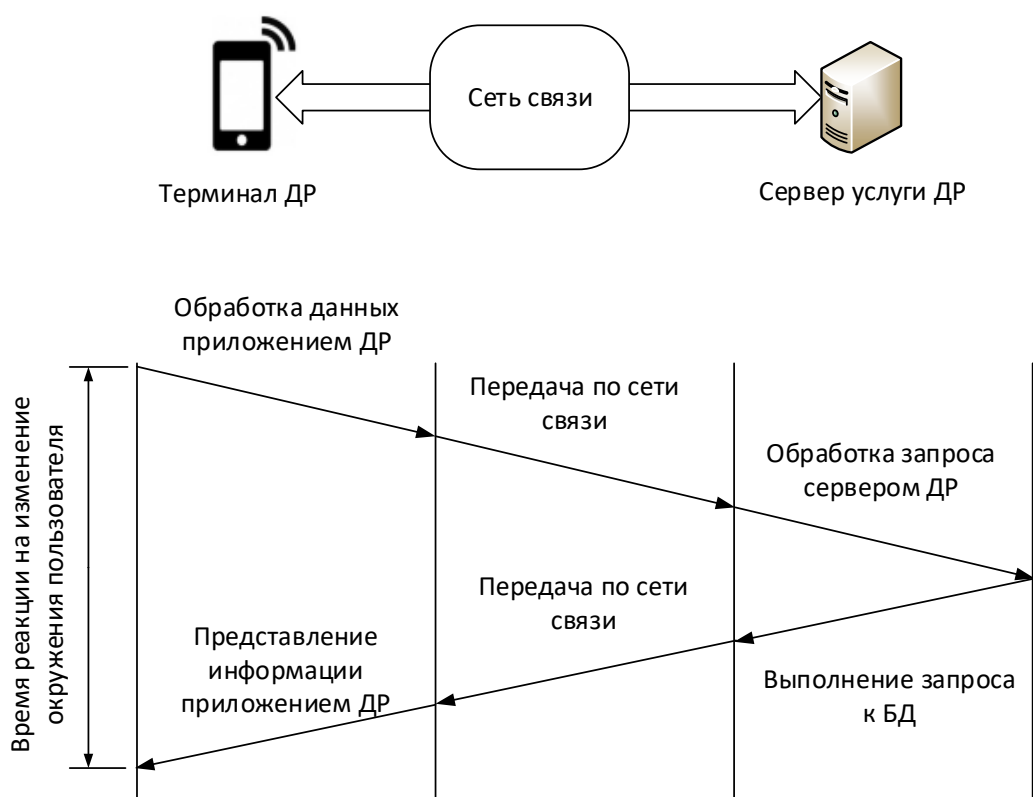


Рисунок 3.2 - Модель предоставления услуги ДР

### 3.1.3 Модельная сеть для тестирования ДР и облачных сервисов

В настоящее время одной из наиболее актуальных проблем в рамках развития концепции Интернета Вещей (ИВ) является идентификация устройств ИВ. Рост количества устройств, подключенных к сети связи общего

пользования (ССОП) и их малая вычислительная мощность приводят к ситуации, когда человек не может однозначно идентифицировать объект.

В качестве решения визуальной идентификации устройств Интернета Вещей предлагается использовать технологию дополненной реальности. ДР позволяет дополнить реальный мир информацией из цифрового. Уже сейчас существует ряд решений, основанных на технологиях дополненной реальности для идентификации и инвентаризации различных объектов.

Сам процесс идентификации предполагает, что информация, об искомым по идентификатору объектах, хранится в некой системе хранения и обработки больших объемов данных. В качестве такой системы предлагается использовать «1С:Предприятие» (возможно использование любой другой системы), предназначенное для автоматизации деятельности предприятия. Данная система успешно используется для инвентаризации имеющихся в собственности предприятия объектов.

### *3.1.3.1 Архитектура системы*

Архитектура системы идентификации (СИ) устройств ИВ на базе технологий ДР и серверного ПО «1С:Предприятие» изображена на рисунке

3.3. Данная система идентификации состоит из:

- Сервера «1С:Предприятие» (сервер идентификации — СИ);
- Устройства дополненной реальности (устройство идентификации — УИ);
- Устройства Интернета Вещей (идентифицируемый объект — ИО).

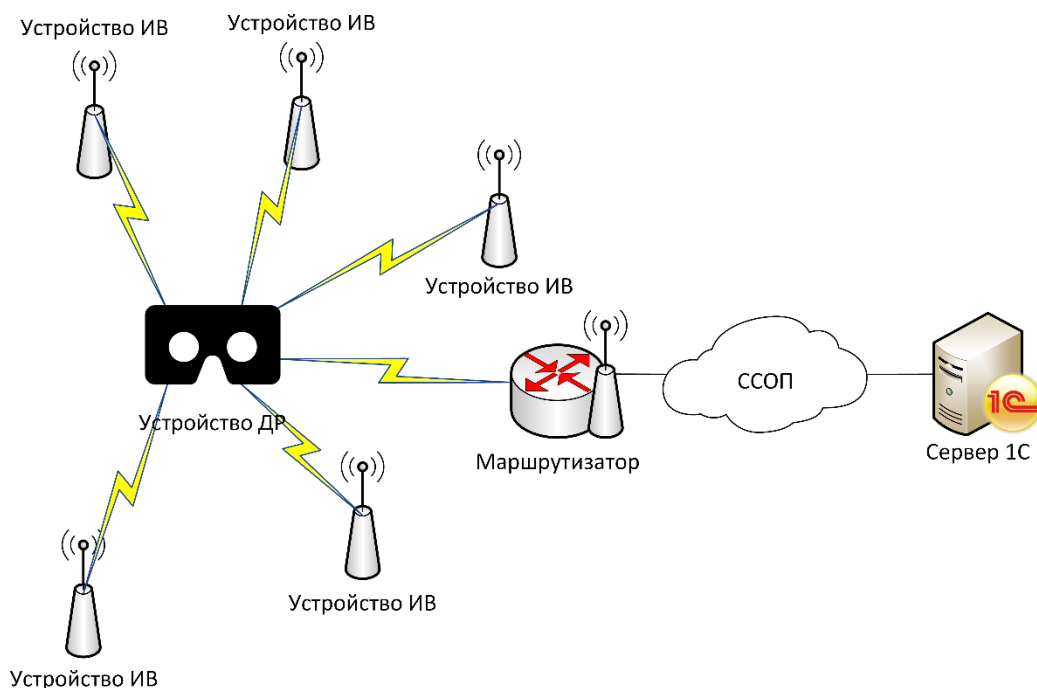


Рисунок 3.3 - Система идентификации устройств ИВ на базе ДР и ПО «1С: Предприятие»

В данной модели есть устройство идентификации, представляющее собой устройство дополненной реальности, а именно очки дополненной реальности, которое используется для идентификации устройств Интернета Вещей. Затем УИ отправляет запрос на сервер идентификации, представляющий собой веб-версию ПО «1С: Предприятие». СИ обрабатывает запрос и обращается к БД, которая возвращает искомые данные и затем отправляет данные, запрашиваемые УИ.

### 3.1.3.2 Модельная сеть для идентификации устройств ИВ с помощью ДР

На базе вышеописанной архитектуры была разработана модельная сеть, как показано на рисунке 3.4, состоящая из:

- устройства идентификации в виде очков дополненной реальности, с функционирующем на них программным обеспечением (ПО) для распознавания идентификаторов устройств ИВ (с помощью технологии

*Bluetooth, BLE*), формирования запросов на сервер 1С (с использованием технологии *HTTP REST*), перехвата и анализа трафика;

- объекта идентификации — устройство ИВ, имеющее собственный идентификатор, на котором функционирует ПО, отвечающее за взаимодействие с УИ (с помощью технологии *Bluetooth, BLE*);
- сервера идентификации — сервер, представляющий собой веб-версию приложения «1С: Предприятие» и базу данных *Microsoft SQL 2012*, хранящую идентификаторы объектов и информацию о них. Взаимодействие с СИ происходит с помощью *HTTP REST* интерфейса.
- устройства внесения сетевых помех — устройство, представляющее собой ПО *NetDisturb*, позволяющее имитировать работу сети связи общего пользования.

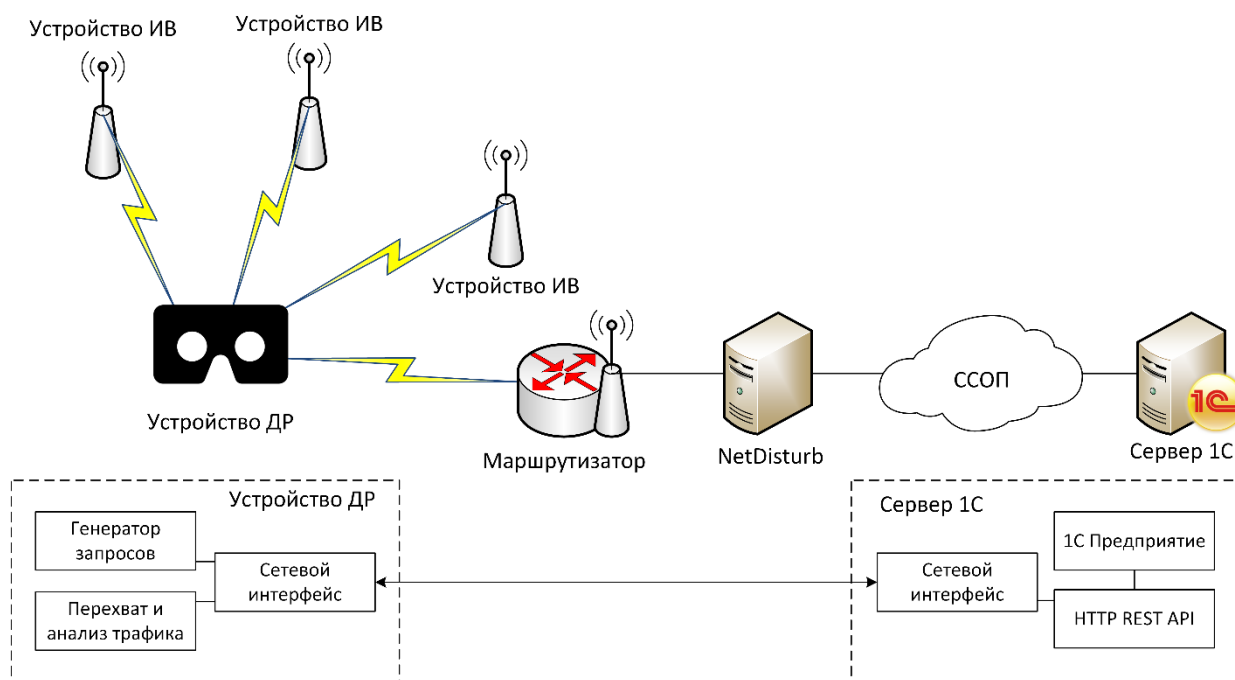


Рисунок 3.4 - Схема модельной сети тестирования системы идентификации устройств ИВ на базе ДР и ПО 1С

УИ может быть реализовано на базе очков дополненной реальности — *Epson Moverio VT-300*, функционирующих на базе операционной системы *Android*. Для разработки ПО, отвечающего за взаимодействие с ОИ и СИ,

может быть использован язык программирования *Java* и инструментарий *Android SDK (Android Bluetooth, Android HTTP Library)*. Для создания программного обеспечения, отвечающего за перехват и анализ трафика, может быть использован язык программирования *C++*, инструменты *Android NDK* и библиотеки *libtins*.

Объект идентификации может быть реализован на базе микрокомпьютера *Intel Edison*. ПО, отвечающее за взаимодействие с УИ реализовано с помощью языка программирования *C++* и библиотеки *libblepp*.

Сервер идентификации реализован на базе ПО компании 1С «1С: Предприятие», языка программирования 1С, базы данных *Microsoft SQL 2012*.

*HTTP REST* интерфейс, разработанный на базе концепции *REST*, включает в себя следующие команды:

- запрос *GET*. Поиск элемента в БД по идентификатору объекта и возвращение информации о ОИ;
- запрос *DELETE*. Удаление элемента из БД по идентификатору объекта;
- запрос *POST*. Добавление нового объекта по идентификатору и информации о нем.

На базе разработанной модельной сети может быть произведено тестирование системы идентификации устройств ИВ и исследован трафик, генерируемый устройством ДР при формировании запросов к серверу 1С. Исследование необходимо проводить для периодических запросов *GET* и *POST + DELETE* по следующим сетевым параметрам: задержка, пропускная способность, параметр Хёрста.

Перехват, анализ трафика и расчет сетевых параметров производить на устройстве идентификации. Задержка между поступлением сетевых пакетов рассчитывать с помощью системы *UNIX Time Stamp*. Пропускная способность рассчитывается, как сумма размеров всех принятых за одну секунду пакетов.

Параметр Хёрста (H) – это параметр, характеризующий самоподобие системы и используемый в анализе временных рядов. H может принимать следующие значения:

- $0 < H < 0,5$  – временной ряд не самоподобный, антиперсистентный; для него более вероятна смена направления отклонения, высокие значения отклонения следуют за низкими и наоборот;
- $H = 0,5$  – временной ряд является абсолютно случайным, следующее значение не зависит от предыдущих значений;
- $0,5 < H < 1$  – временной ряд самоподобный, персистентный.

Далее на данной модельной сети могут быть разработаны другие сценарии тестирования работы системы.

### 3.2 Модельная сеть для тестирования ДР и летающих сенсорных сетей

В данном разделе проведено исследование взаимодействия приложений дополненной реальности и методов управления беспилотными летательными аппаратами. Для проведения исследования была разработана модельная сеть и в рамках которой осуществляется управление беспилотного летательного аппарата (БПЛА) посредством технологии дополненной реальности. При этом возможно производить оценку качества обслуживания передаваемого трафика и осуществлять субъективную оценку качества восприятия наблюдателями. В ходе исследования определяются характеристики работы сети связи, требуемые для обеспечения заданного качества восприятия при управлении БПЛА посредством приложения дополненной реальности.

Управление беспилотными летательными аппаратами в условиях городской застройки является сложной задачей, поскольку на пути следования БПЛА могут возникать непредвиденные препятствия, которые необходимо быстро детектировать и обходить. Для широкого внедрения систем БПЛА необходимо решить задачи обеспечения надежного и своевременного управления аппаратом. В летающих сенсорных сетях БПЛА активно используются в качестве летающего сегмента, который собирает данные с наземных сенсоров и осуществляет их доставку на сервер для дальнейшей обработки. Летающие сенсорные сети оказались популярными в области



сельского хозяйства, когда необходимо осуществлять контроль за большой территорией, в промышленности, когда необходимо осуществлять мониторинг за труднодоступными и удаленными объектами, например, газопроводы, а также хорошо себя зарекомендовали в роли маршрутизаторов, которые используются для быстрого разворачивания сети в местах большого скопления людей.

Принято различать три вида управления БПЛА: ручное, автоматизированное и автоматическое. В первом случае ручного управления пилот БПЛА основывается на информации, полученную в формате видеоизображения с камеры БПЛА. При данном управлении можно применять технологию дополненной реальности и приложения тактильного интернета для облегчения задач управления. Дополненная реальность позволяет добавлять к объектам окружающего физического мира виртуальные данные при помощи специально разработанных устройств отображения, в частности очков дополненной реальности. В задачи тактильного интернета входит доставка по сети информации о воздействии на предмет, находящийся на удаленном расстоянии, и передача ответной реакции обратно. Очевидно, что при таком обмене данными задержка доставки должна быть минимально возможной.

При управлении БПЛА пилот осуществляет изменение положения БПЛА в пространстве поворотом или наклоном головы через приложение дополненной реальности, основываясь на видео, которое поступает с камеры, установленной на БПЛА, в устройство отображения ДР.

Для обеспечения стабильного управления БПЛА с помощью приложений дополненной реальности, необходимо обеспечить решение следующих задач:

- осуществлять передачу данных об изменении положения головы пилота с устройства ДР на БПЛА;
- осуществлять непрерывную передачу видеоизображения с камеры БПЛА на устройство ДР;
- обеспечить выполнение заданных характеристик работы сети;

- оценить качество восприятия при осуществлении процесса управления БПЛА посредством приложения ДР.