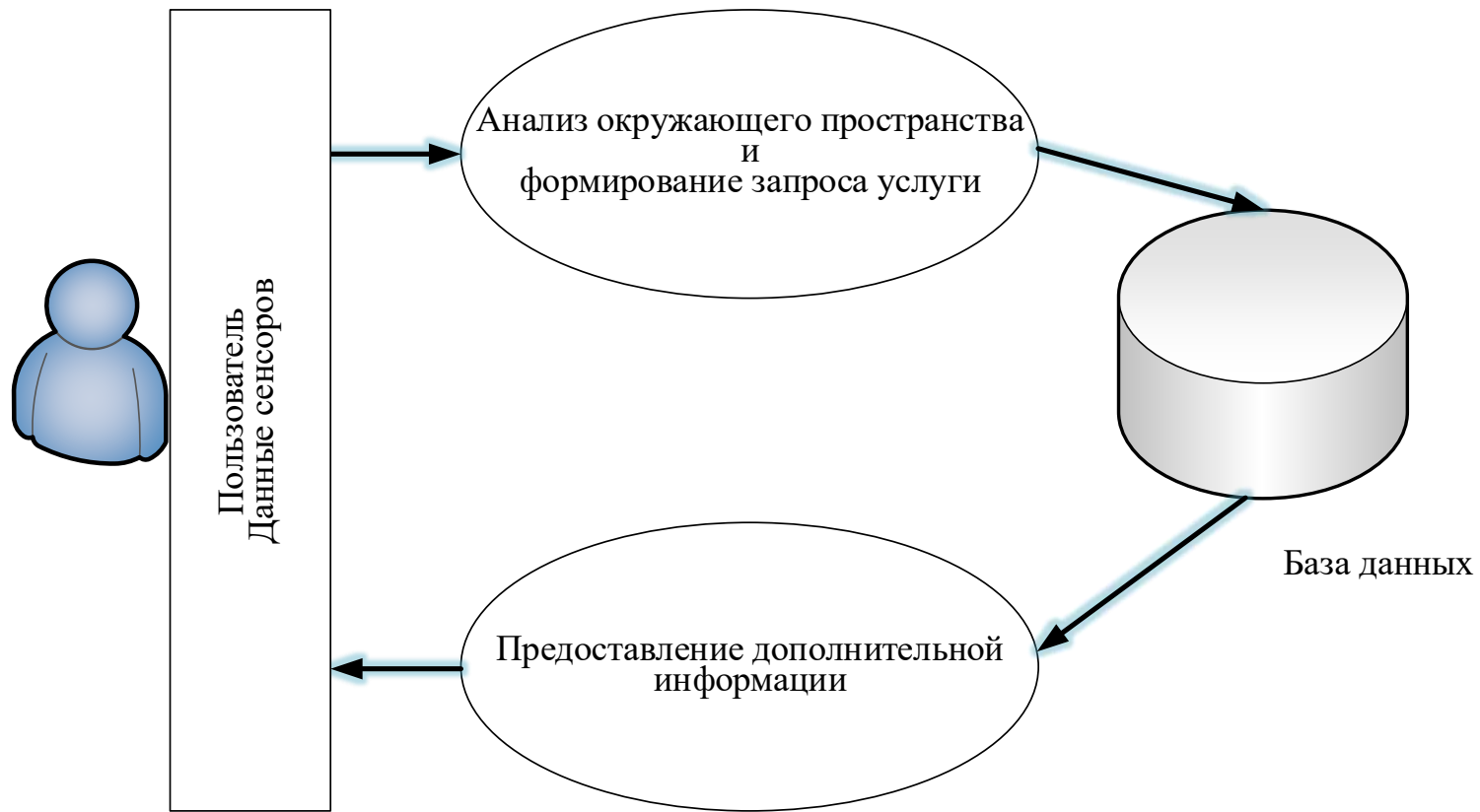


# Модели для ДР

Лекция 5,6,7

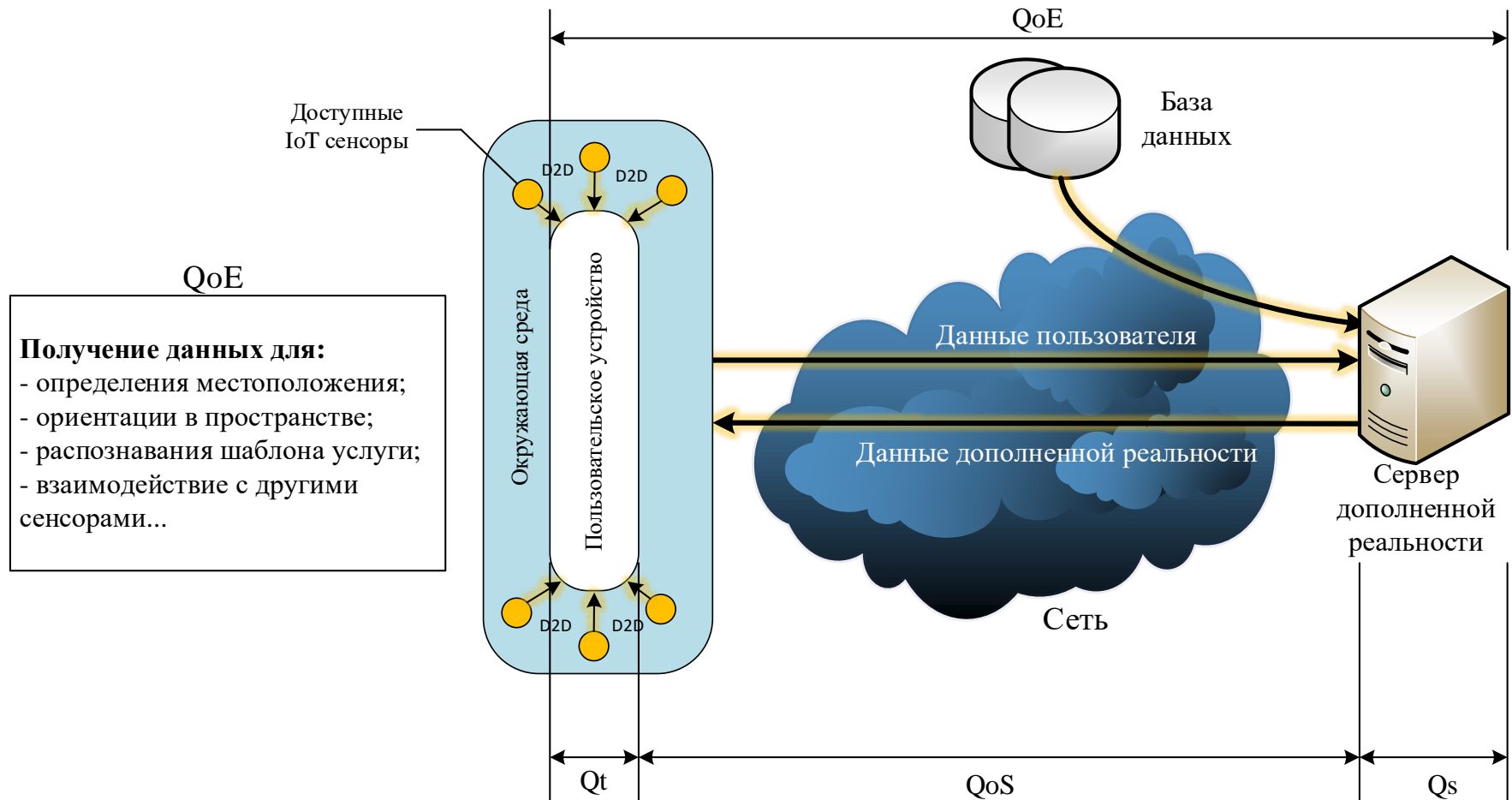
# Модель услуги



Качество предоставления услуги ДР 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.

# Взаимодействие основных элементов при предоставлении услуги ДР



## Компоненты задержки при предоставлении услуги ДР:

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

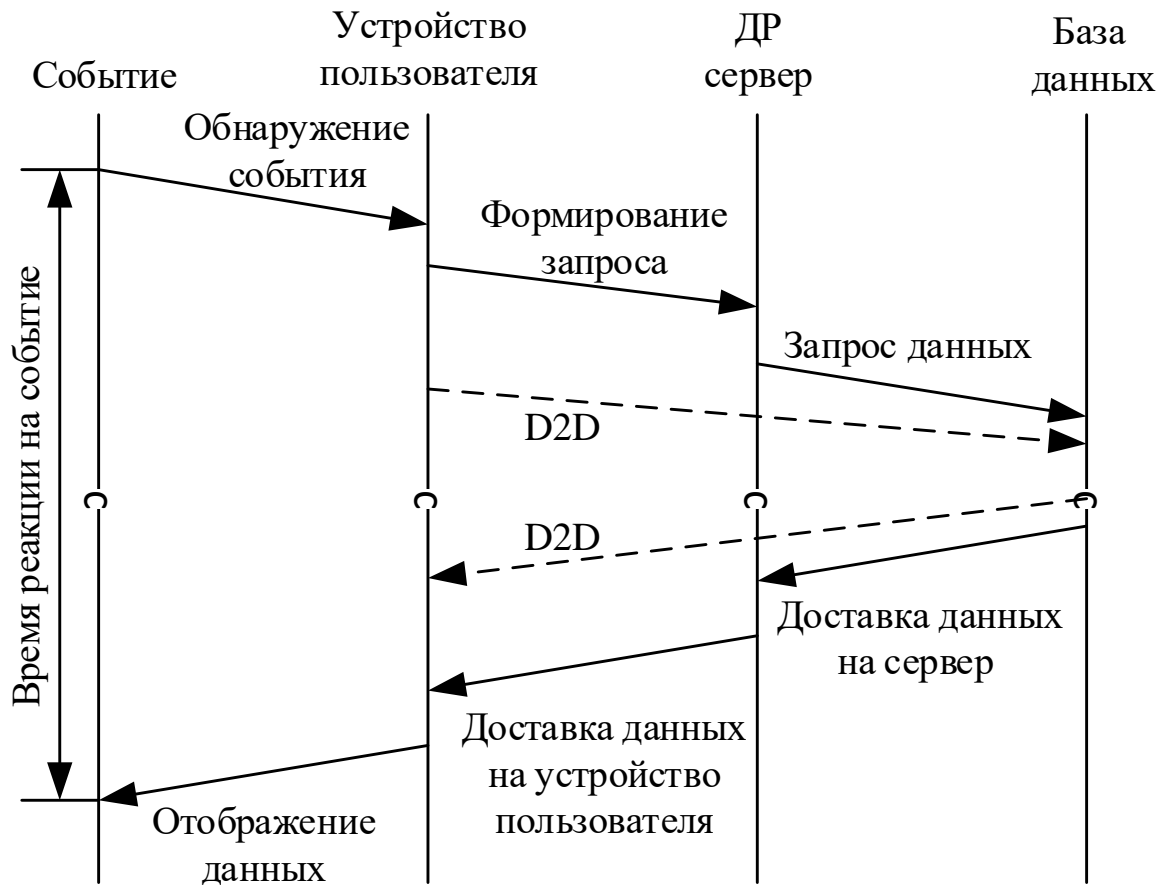
# Методология представления трафика

Для описания производимого услугой трафика объем передаваемых пользователем и пользователю данных при изменении его окружения представим в виде трех взаимосвязанных моделей:

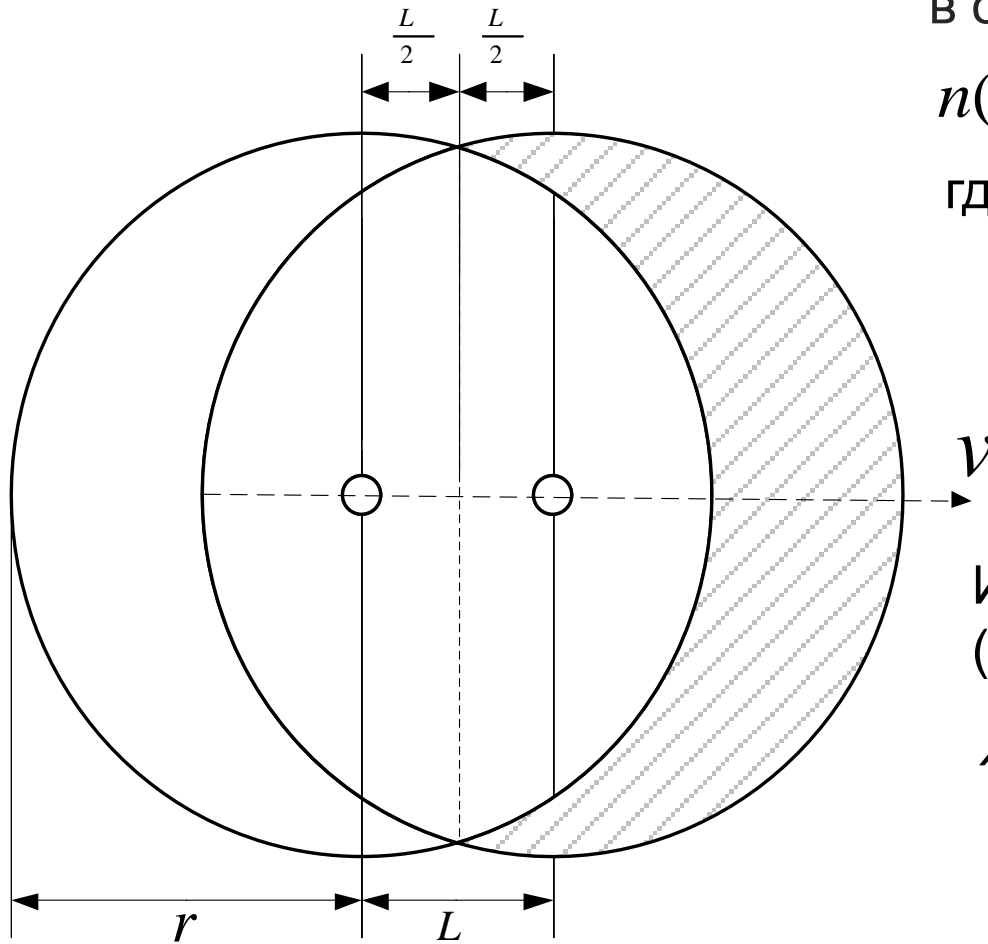
- **модель пространства услуги** - информационную модель физического трехмерного пространства, в котором может находиться пользователь услуги, включает в себя описание некоторых объектов, находящихся в этом пространстве  $X = \{\bar{x}_1, \bar{x}_2 \dots, \bar{x}_n\}$ , где  $n$  общее число объектов;
- **модель окружения пользователя** - является подпространством пространства услуги, т.е. частью пространства ограниченной возможностями восприятия (моделью этих возможностей). Окружение, как правило, привязано к положению пользователя в пространстве услуги и включает в себя множество объектов  $X^{(U)} = \{\bar{x}_1^{(U)}, \bar{x}_2^{(U)} \dots, \bar{x}_k^{(U)}\}$  где  $k$  число объектов, находящихся в область восприятия пользователя;
- **модель поведения** описывает изменения положения пользователя и его окружения в пространстве услуги. Изменение, вызванное появлением в окружении пользователя нового объекта  $\bar{x}_i$ , приводит к запросу данных об этом объекте.

# Алгоритм реализации услуги

- идентификация события изменения окружения и вычисление параметров изменения;
- запрос информации об изменении окружения;
- получение данных и их отображение.



# Модель окружения пользователя



Оценим количество новых объектов в окружении за время  $t$  как

$$n(t) = \tilde{S}(L(t))\rho \quad (1)$$

где  $\tilde{S}(L(t))$  - площадь изменения окружения;

$\rho$  - плотность объектов (объектов/м<sup>2</sup>).

$v$

Интенсивность потока событий (запросов данных)

$$\lambda_r = 2r\rho v \quad (2)$$

где  $\rho$  - плотность объектов (объектов/м<sup>2</sup>);

$v$  - скорость перемещения (м/с).

Для принятой модели поток запросов будет представлять собой простейший поток, для которого вероятность поступления  $k$  запросов за интервал времени  $t$  будет определяться как

$$p_k = \frac{(\lambda_r t)^k}{k!} e^{-\lambda_r t} = \frac{(2r\rho vt)^k}{k!} e^{-2r\rho vt} \quad (3)$$

Интенсивность потока ответов можно описать как

$$\lambda_s = \lambda_r \eta \quad (4)$$

где  $\eta$  - среднее количество пакетов, необходимых для ответа на запрос.

Интенсивность потока, при использовании технологии  $D2D$  будет определять как

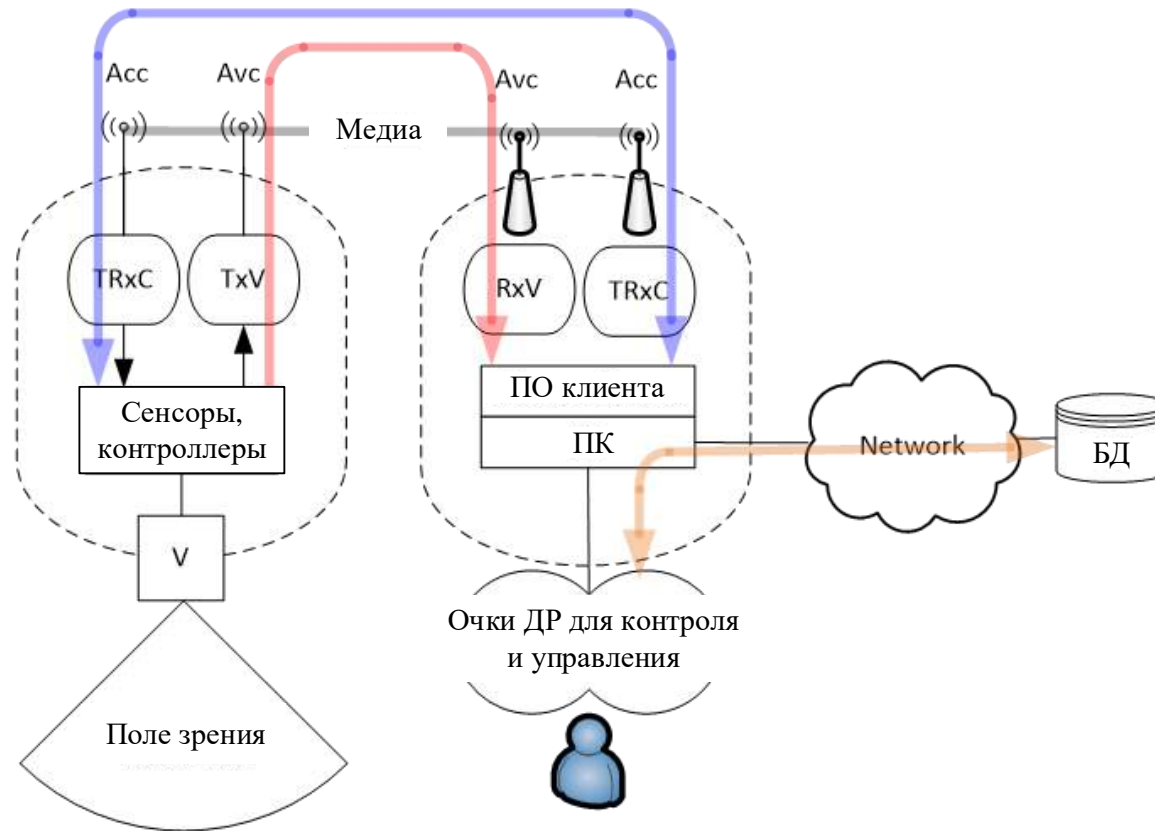
$$\lambda_s = \lambda_r \eta_{D2D} \quad (5)$$

где  $\eta_{D2D} = (1 - \gamma)\eta$ ,  $\gamma$  - доля объектов окружения, поддерживающих технологию  $D2D$ .

# Секторальная модель окружения пользователя

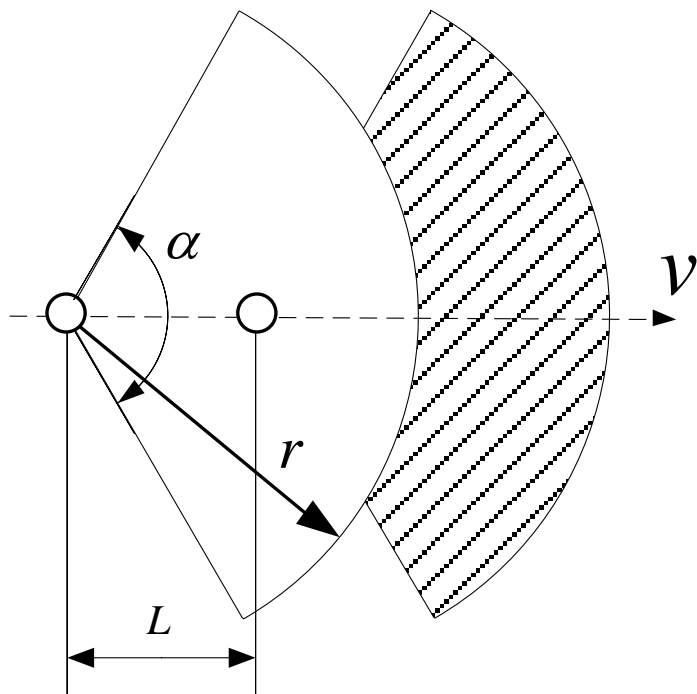


# Постановка задачи



В случае, когда информация об окружении пользователя представляет собой изображение, получаемое с помощью видеокамеры, установленной на беспилотном транспортном средстве, для определения области ограничения окружения пользователя следует учитывать особенности движения данного устройства и передающей видеокамеры.

# Изменение окружения пользователя при поступательном движении



Площадь заштрихованной области может быть определена по формуле

$$\tilde{S}(L) = \tilde{S}(r) - \tilde{S}(r-L) = \begin{cases} \frac{\alpha}{2} (2rL - L^2) & L \leq r \\ \frac{\alpha r^2}{2} & L > r \end{cases} \quad (6)$$

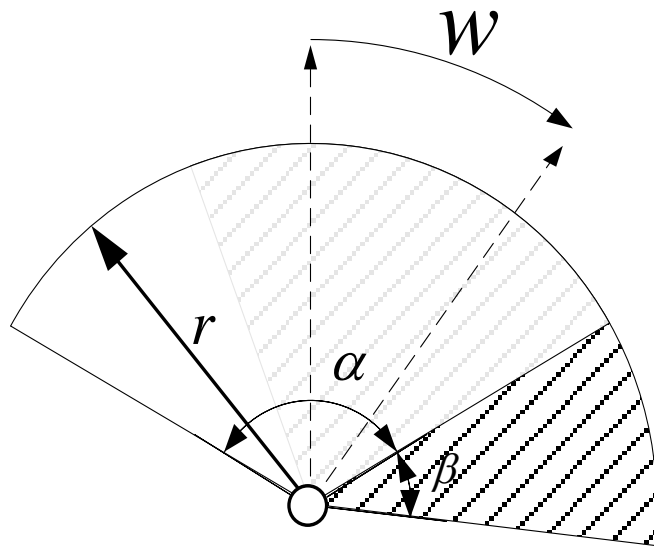
Интенсивность потока событий (запросов данных) может быть определена как число объектов в малом приращении площади рассматриваемой фигуры

$$\lambda_r = \alpha r \rho v \quad (7)$$

Вероятность поступления  $k$  запросов за интервал времени  $t$  будет определяться как

$$p_k = \frac{(\lambda_r t)^k}{k!} e^{-\lambda_r t} = \frac{(\alpha r \rho v t)^k}{k!} e^{-\alpha r \rho v t} \quad (8)$$

# Модель вращательного движения



Площадь заштрихованной области может быть определена по формуле

$$\tilde{S}(\beta) = \tilde{S}(0) - \tilde{S}(\beta) = \begin{cases} \frac{\beta r^2}{2} & \beta \leq \alpha \\ \frac{\alpha r^2}{2} & \beta > \alpha \end{cases} \quad (9)$$

Число новых объектов в области может быть определено как

$$n(\beta) = \tilde{S}(\beta) \rho \quad (10)$$

где  $\rho$  - плотность объектов (объектов/м<sup>2</sup>).

$\beta$  - угол поворота (рад),

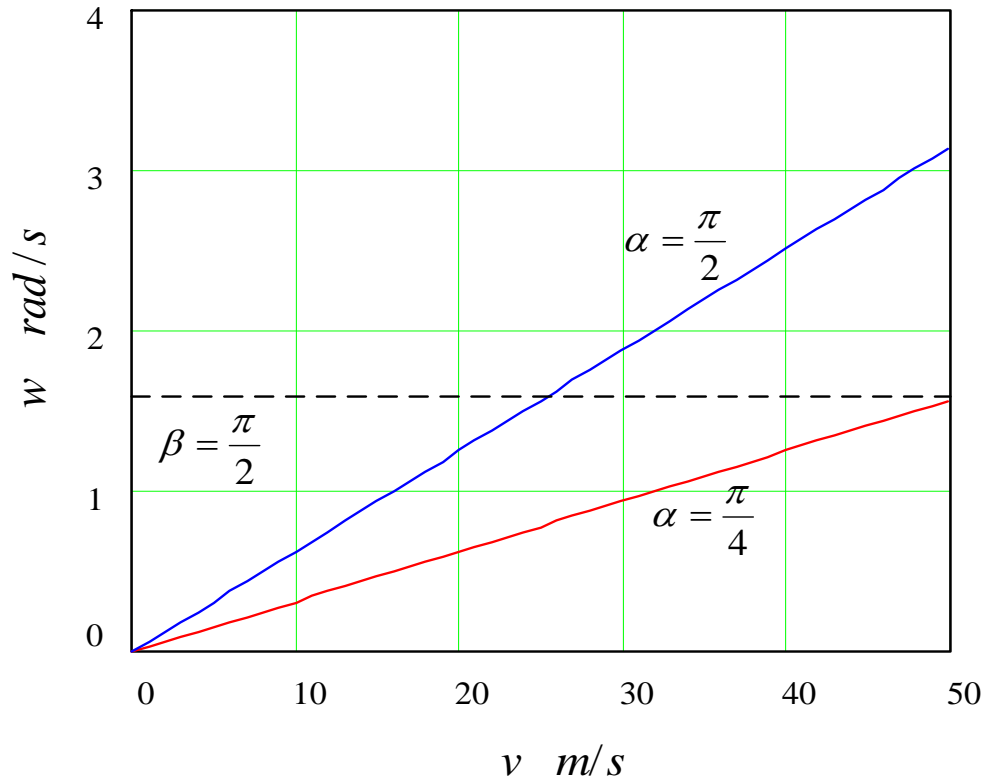
$\alpha$  - угол сектора обзора (рад).

Интенсивность потока событий (запросов данных) может быть определена как

$$\lambda_r = \frac{r^2 \rho w}{2} \quad (11)$$

где  $w$  - угловая скорость поворота (рад/с).

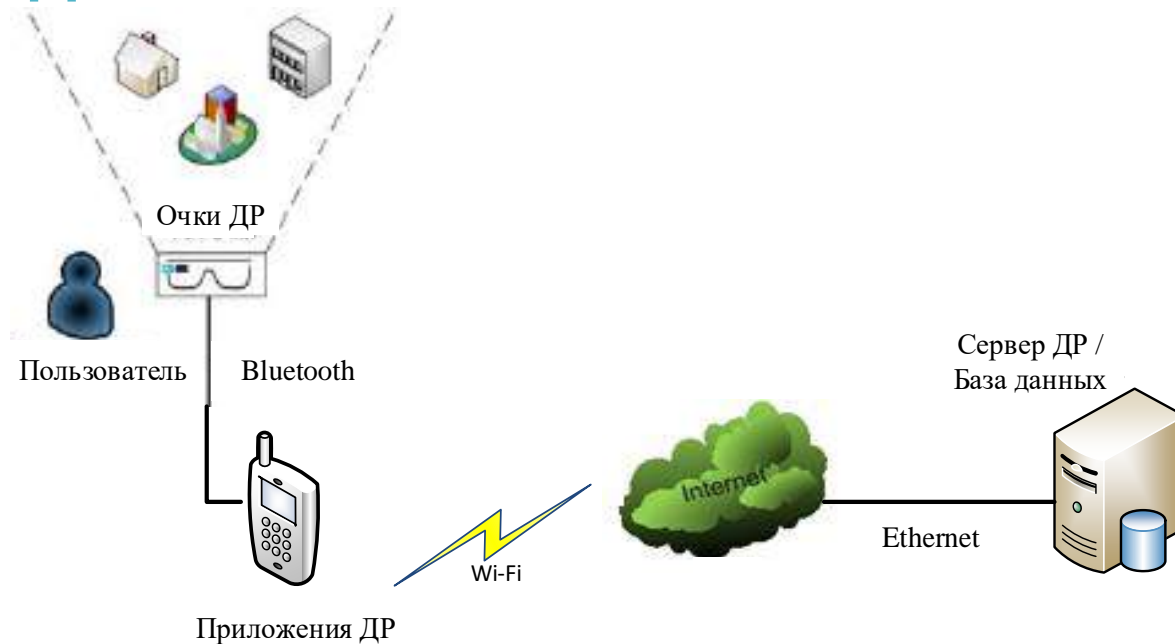
# Соотношения угловой скорости поворота и линейной скорости движения при равной интенсивности потока для углов обзора



Например, при повороте на угол  $\beta = \pi/2$  за 1 с интенсивность трафика эквивалентна интенсивности трафика линейного движения со скоростью 50 м/с (180 км/час). В данном примере радиус выбран равным 50 м. Такое соотношение производимого трафика и особенности движения беспилотного транспортного средства следует учитывать при выборе способа реализации выбора и доставки данных.

# Модель поведения пользователя

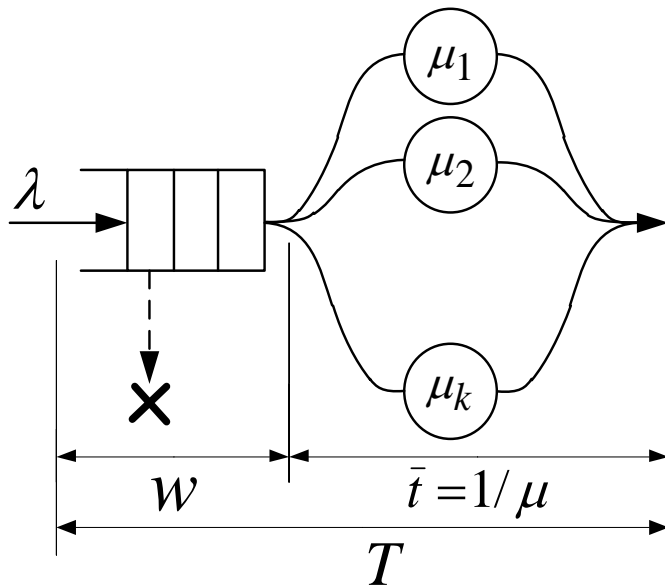
# Постановка задачи



## Сделаем следующие допущения:

- пользователь способен адекватно воспринимать некоторое количество информации  $\mu$  за единицу времени (интенсивность восприятия информации);
- интенсивность восприятия информации различна для различных типов сообщений (текст, графика, голос, звук, тактильные ощущения)  $\mu_k, k=1 \dots K$ ;
- сообщения находятся в окружении пользователя в течение некоторого, в общем случае, ограниченного времени  $t$ ;
- сообщения различного типа возникают (поступают) в окружение пользователя независимо друг от друга в случайные моменты времени;
- пользователь способен выбирать сообщение согласно степени его значимости (приоритета);
- пользователь способен прерывать обработку (восприятие текущего сообщения) при поступлении более значимого сообщения.

# Модель пользователя услуги ДР



Среднее время ожидания начала обслуживания для приоритета (типа)  $p$  в данной системе может быть определено как

$$w_p = \frac{\sum_{i=1}^K \lambda_i M(t_i^2)}{2(1 - \theta_p)(1 - \theta_{p-1})} \quad (12)$$

$$\text{где } \theta_p = \sum_{i=1}^p \frac{\lambda_i}{\mu_i}$$

$\lambda_i$  – интенсивность потока сообщений  $i$ -го приоритета (типа);

$\mu_i$  – интенсивность обслуживания (восприятия) сообщений  $i$ -го приоритета (типа);

$M(t_i^2)$  – второй начальный момент функции распределения времени обслуживания сообщений  $i$ -го приоритета (типа).

Время восприятия сообщения  $i$ -го типа

$$T_i = w_i + \bar{t}_i \quad (13)$$

где среднее время обслуживания  $\bar{t}_i = \frac{1}{\mu_i}$

Требования к системе могут быть заданы как вероятность  $\Lambda_{0i}$  того, что время ожидания сообщения не превысит некоторой пороговой величины  $T_{0i}$

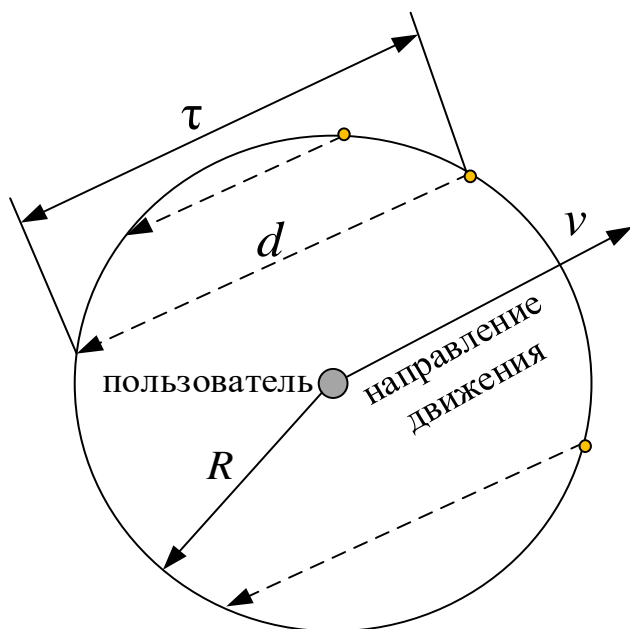
$$h_p(T_{0i}) = p(t < T_{0i}) = \Lambda_{0i} \quad (14)$$

# Модель движения пользователя

Время пребывания сообщения в окружении пользователя определяется временем пребывания в ней соответствующего объекта и зависит от поведения пользователя.

Например, если окружение пользователя задано областью ограниченной кругом с радиусом  $R$ , то при прямолинейном и равномерном движении пользователя, при случайном распределении объектов, путь пройденный объектом в области восприятия будет случайной величиной с плотностью вероятности

$$g(d) = \frac{1}{\pi R \sqrt{1 - \left(\frac{d}{2R}\right)^2}} \quad (15)$$



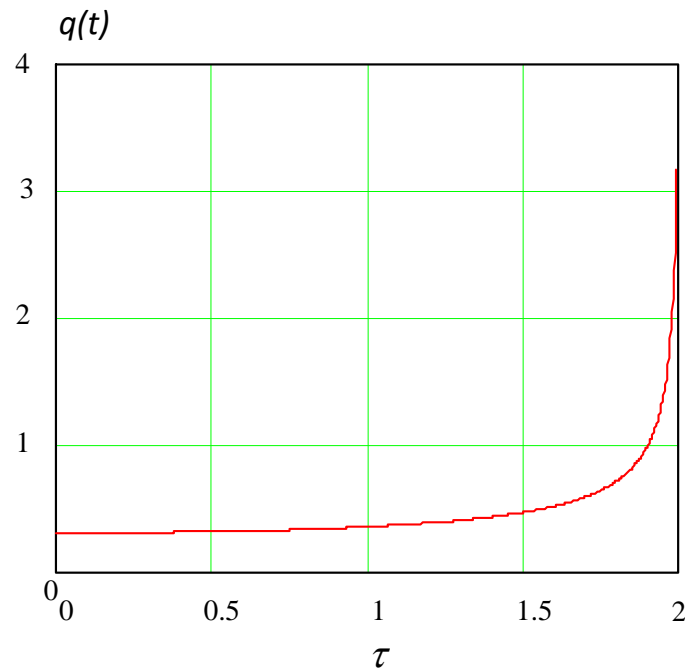
область окружения пользователя

И математическим  
ожиданием

$$M[d] = \bar{d} = \frac{4}{\pi} R \quad (16)$$



# График плотности вероятности времени пребывания объекта в области зрения пользователя



При скорости движения пользователя  $v$  время пребывания объекта в области также будет случайной величиной с плотностью вероятности

$$q(t) = \frac{1}{\pi R \sqrt{1 - \left(\frac{v}{2R} \tau\right)^2}} \quad (17)$$

и математическим ожиданием

$$M[t] = \bar{\tau} = \frac{4 R}{\pi v} \quad (18)$$

# Модель предоставления услуги ДР

# Модель предоставления услуги ДР

- Предоставление услуги дополненной реальности заключается в предоставлении пользователю дополнительной информации об его окружении в виде некоторого набора сообщений.
- Предоставляемая информация может относиться к любым объектам как доступным, так и недоступным для непосредственного наблюдения и находящимся на различном расстоянии от пользователя, в зависимости от особенностей услуги.
- В общем случае, объем этой информации определяется теми данными, которые содержатся в БД услуги, а также могут быть получены из локальных хранилищ, размещенных непосредственно на объектах (элементах ИВ), находящихся в зоне связи пользователя.

Если в окружении пользователя имеется  $n$  объектов, снабженных некоторой информацией  $I_j$ ,  $j=1\dots n$ . Общий объем информации будет определяться как

$$I = \sum_{j=1}^n I_j$$

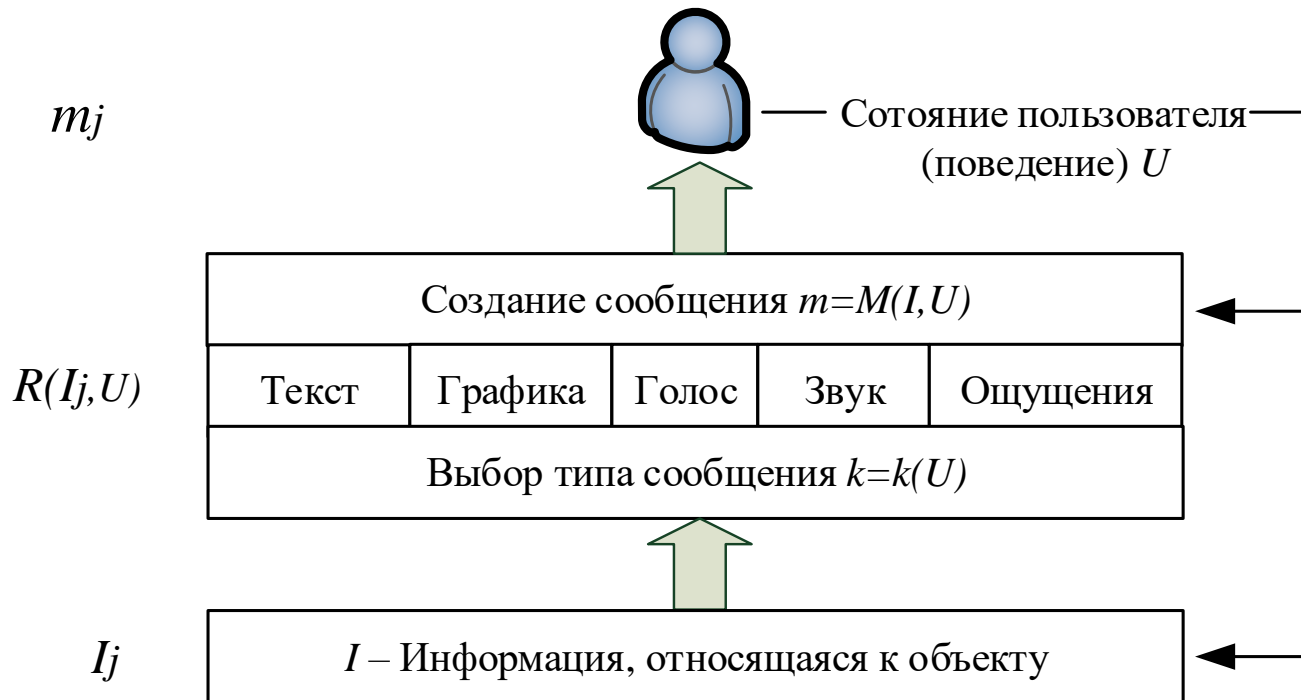
Информация о каждом объекте  $j$  может быть представлена в виде сообщения  $m_j$ , которое формируется согласно некоторым правилам  $m_j = R(I_j)$

Правила формирования сообщения могут быть определены как  $R(I_j, U) = \{M_k(I_j, U), k(U)\}$ , где  $I_j$  определяет метод построения сообщения для выбранного способа представления  $k$ , а способ представления также как и метод его формирования зависит от данных о состоянии пользователя  $U$  ( $k=1\dots K$ ), где  $K$  количество возможных способов представления сообщения.

Объем информации в сформированном сообщении равен

$$I_k = M_k(I_j, U)$$

# Формирование сообщения об объекте ДР



Сделаем следующее допущение: пользователь способен адекватно воспринимать некоторое количество информации  $\mu$  за единицу времени (интенсивность восприятия информации). Интенсивность восприятия информации различна для различных способов формирования сообщений (текст, графика, голос, звук, тактильные ощущения)  $k=1...K$ .

➤ Таким образом, это случайная величина, распределение которой зависит от распределения типов сообщений. Полагаем, что сообщение  $m_j$  находится в области восприятия пользователя в течение некоторого времени  $\tau$ . Это время зависит от параметров области окружения и характера перемещения пользователя. Таким образом, параметры предоставления услуги, такие как способы представления сообщений и объем информации в сообщении влияют на количество воспринимаемых пользователем сообщений, следовательно, и воспринимаемое количество информации.

➤ Оценим долю воспринимаемых пользователем сообщений через функцию распределения времени ожидания (14). Тогда выбрав значение  $T_o$ , исходя из характеристик движения пользователя (15) и (16) можно сформулировать целевую функцию

$$\{M, k\} = \arg \left( \max_{k, M} (h_p(T_{oi}) I_p) \right) \quad (19)$$

$$k = 1 \dots K \quad M = M(I, U)$$

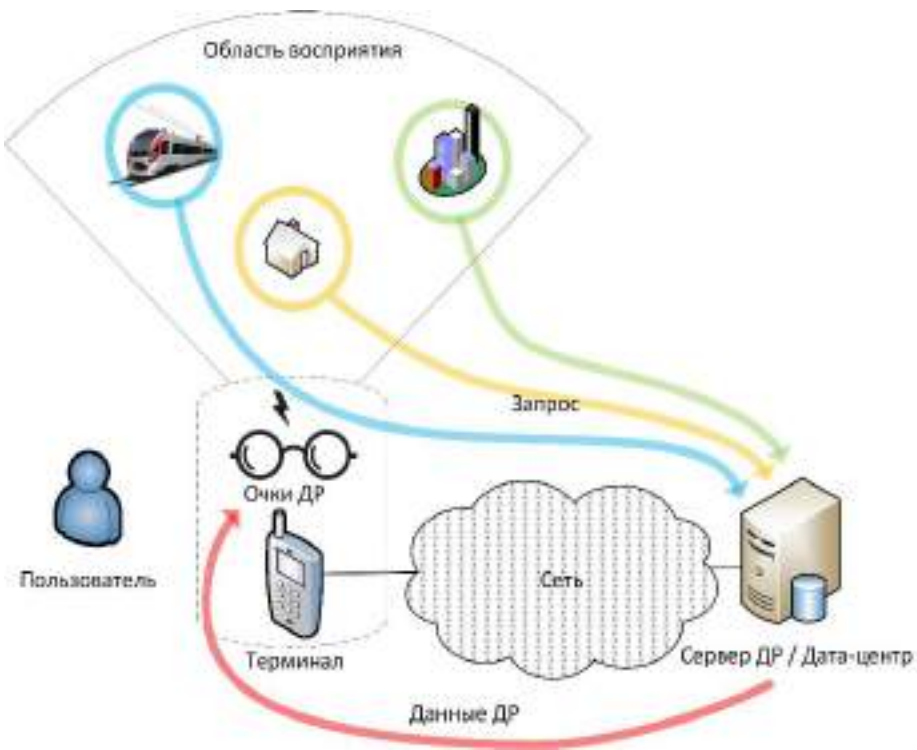
где  $I_p$  – объем информации в сообщении.

➤ Поиск максимума целевой функции состоит в достижении максимального объема воспринимаемой пользователем информации за заданный интервал времени  $T_o$ . Это достигается выбором типов сообщений  $k=1 \dots K$  и метода их представления  $M(I, U)$ . Метод представления сообщения, фактически определяет объем информации в сообщении (детальное, сокращенное, краткое и т.д.). Выбор метода представления сообщения, в общем случае, требует отдельного рассмотрения. Полагаем, что  $M(I, U)$  это дискретная функция, значением которой является сообщение, которое может быть представлено в трех форматах: подробный, сокращенный и краткий форматы. Выбор того или иного формата определяется решением задачи (19).

➤ В данных условиях задача (19) является задачей оптимизации дискретной целевой функции. В качестве метода ее решения может быть использован метод динамического программирования.

# Моделирование движения пользователя услуги дополненной реальности

# Постановка задачи



Для достижения таких целей, как своевременная доставка и предоставление данных ДР пользователю, могут быть использованы различные механизмы предиктивной (упреждающей) доставки данных в терминал пользователя. Чтобы реализовать этот механизм, необходимо производить упреждающие запросы данных – от этого зависят объем передаваемого трафика и своевременность доставки сообщений.

Доставка большего объема данных в клиентское приложение повышает его «автономность», т.е. возможность предоставления информации в течение длительного времени. Однако увеличение объема повышает интенсивность трафика в сети связи и нагрузку на сервер ДР, что может привести к обратному эффекту, т.е. к задержкам доставки данных и снижению доступности услуги.



## Решение

Прогнозируемой величиной является вероятность востребованности данных в некоторый ближайший момент времени.

Задачей является формирование параметров запроса данных, обеспечивающего выбор и доставку данных ДР, чья востребованность пользователем окажется наиболее вероятной.

Фактически параметры этого запроса являются прогнозируемыми значениями состояния окружения пользователя, на основании которых и должен производиться выбор данных ДР.

Данные ДР служат для доведения до пользователя некоторой информации, которая может понадобиться ему в реальной ситуации. Информация, представленная этими данными, ассоциирована с конкретными объектами. Таким образом, существует однозначное соответствие объектов и данных, содержащих определенную информацию.

Пусть множество объектов ДР равно  $O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$

где  $n$  – количество объектов, информация о которых содержится в системе ДР.

Тогда имеется и множество данных ДР  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$

а также существует такое отображение множества объектов на множество данных  $f: O \rightarrow D$

где каждому элементу  $o_i$  ставятся в соответствие элементы множества  $D$ .

Элемент  $d_i$  в общем случае представляет собой набор данных, включающих информацию о соответствующем объекте  $o_i$ . Этот набор данных может содержать различные формы представления сообщений, например, текстовое описание, графическое изображение, пиктограммы, видео и аудиозаписи и т.д., доступ к которым может получить пользователь.

- ❑ Само множество объектов ДР  $O$  фактически представляет собой множество неких признаков, на основе которых эти объекты могут быть идентифицированы, т.е.  $o_i$  является набором признаков  $i$ -го объекта. Такой набор может включать в себя, например, географические координаты, направления визирования, геометрические размеры, элементы, необходимые для распознавания образа объекта.
- ❑ Вид функции отображения  $f$  определяется тем, что требуется для услуги. В общем случае  $f$  должна устанавливать соответствие между набором признаков и данными об объекте. Естественно, что в общем случае нельзя ставить для  $f$  условие однозначности, а для признаков – условие уникальности.
- ❑ Обобщим сказанное: модель данных представляет собой описание множеств признаков объектов и данных об этих объектах, а также соответствующих правил отображения этих множеств.

# Модель пользователя

При описании модели пользователя исходим из следующих допущений:

1. Пользователем является человек, а пользовательским терминалом – очки ДР, смартфон или иное портативное носимое устройство, подключенное к сети связи и имеющее графический интерфейс (экран) с пользователем.
2. Рассматриваем пользователя типового, поведение которого определяется наиболее вероятными (типовыми) ситуациями. Данная модель не претендует на полную общность, так как возможно множество специальных (специфических) областей и ситуаций, в которых поведение пользователя может существенно отличаться от типового. Для таких приложений требуются специфические модели.
3. При построении модели поведения исследуем лишь те особенности, которые определяют характер запросов данных. К ним относятся те, что проявляются в таком влиянии на устройство ДР, которое может быть оценено с помощью датчиков и устройств ввода, имеющихся в настоящее время.

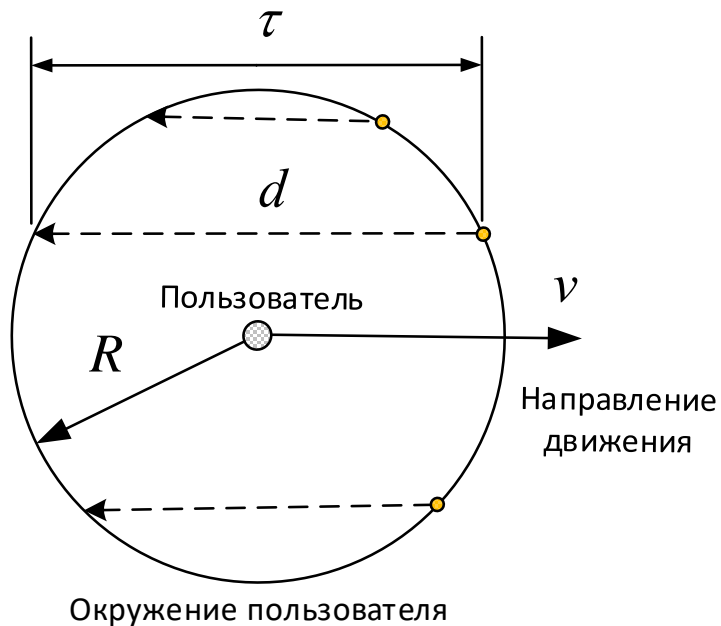
# Параметры, которые могут измерены или введены устройством ДР

- звук, без распознавания источника и содержания;
- звук, с распознаванием источника и/или содержания;
- фото или видео (без распознавания объектов);
- фото или видео (с распознаванием объектов);
- манипуляции с устройством ввода (сенсорный экран и др.);
- положение устройства в пространстве (координаты *GPS* или другие системы глобального позиционирования);
- ориентация устройства в пространстве (ориентация в магнитном поле Земли);
- данные об освещенности;
- данные о температуре.

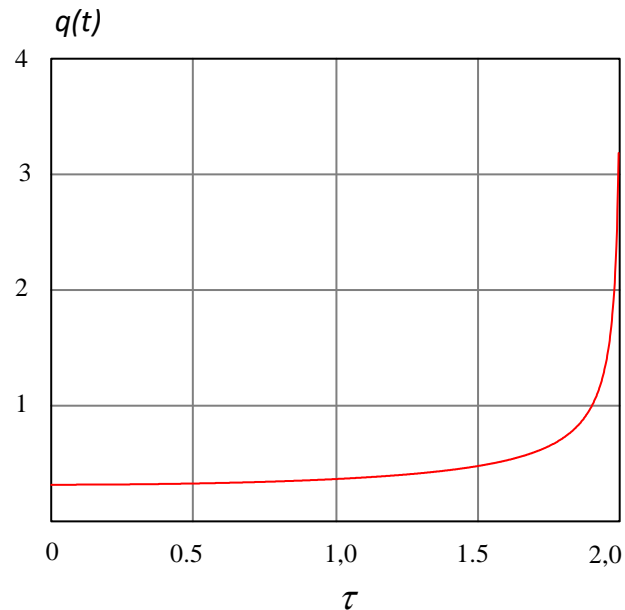
# Поведение пользователя

- Рассмотрим наиболее характерные свойства, присущие большинству современных приложений и услуг, а именно:
  - *движение пользователя и*
  - *изменение положения устройства в пространстве.*
- В подобных условиях инициация запроса происходит при изменении координат пользователя либо положения абонентского устройства в пространстве. Поскольку данные должны быть доставлены своевременно (когда они предположительно могут быть востребованы), их запрос следует производить, исходя из некоторого прогноза.
- Исходными данными для прогноза могут быть параметры поведения пользователя до момента, когда будет сделан запрос. Очевидно, например, что при движении водителя в автомобиле по скоростной дороге целесообразно готовить данные с учетом скорости и направления движения.

# МОДЕЛЬ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ДВИЖЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ



# ПЛОТНОСТЬ ВЕРОЯТНОСТИ НАХОЖДЕНИЯ ОБЪЕКТА В ОКРУЖЕНИИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

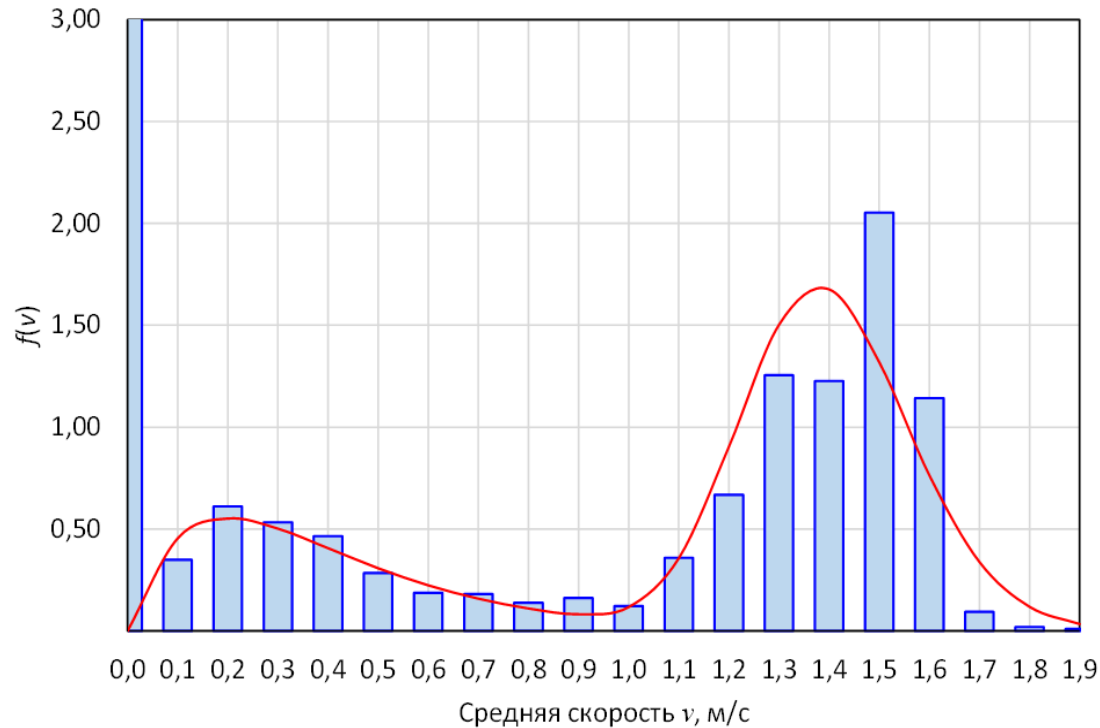


При скорости движения пользователя  $v$  время пребывания объекта в области восприятия будет случайной величиной с плотностью вероятности (20) и математическим ожиданием (21)

$$q(t) = \frac{1}{\pi R \sqrt{1 - \left(\frac{v}{2R} \tau\right)^2}} \quad (20)$$

$$M[t] = \bar{\tau} = \frac{4}{\pi} \frac{R}{v} \quad (21)$$

# ПЛОТНОСТЬ ВЕРОЯТНОСТИ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПЕШЕХОДА



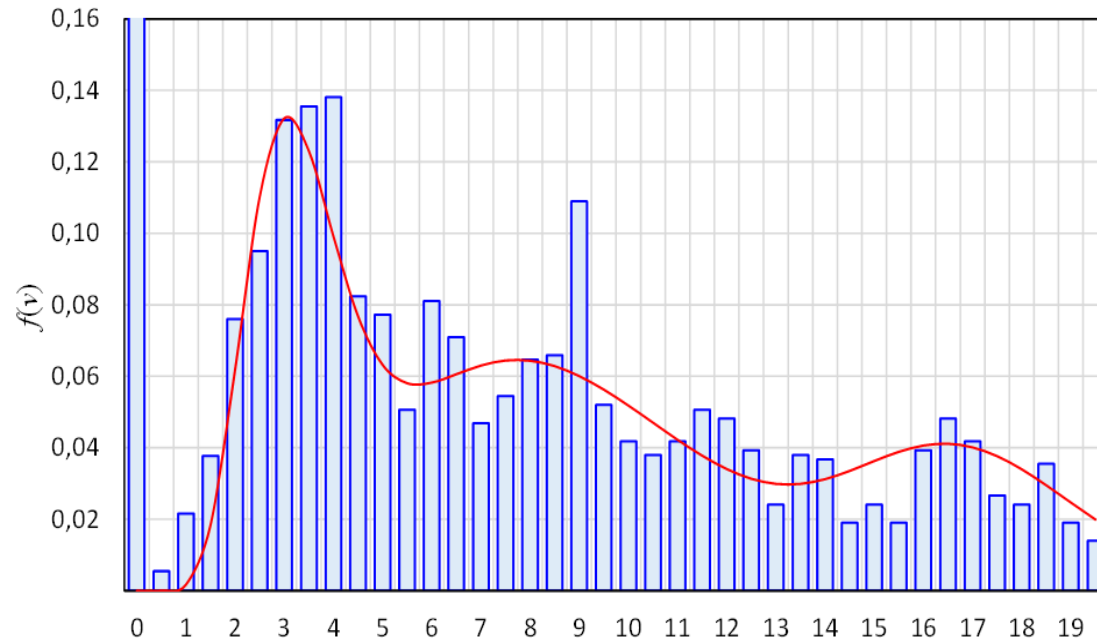
$$f(v) = \eta_1 \delta(0) + \eta_2 \frac{v^{k_1-1}}{\theta_1^{k_1} \Gamma(k_1)} e^{-\frac{v}{\theta_1}} + \eta_3 \frac{v^{k_2-1}}{\theta_2^{k_2} \Gamma(k_2)} e^{-\frac{v}{\theta_2}}, \quad \eta_1 + \eta_2 + \eta_3 = 1 \quad (17)$$

где  $\eta_1, \eta_2, \eta_3$  – эмпирические коэффициенты;

$k_1, k_2, \theta_1, \theta_2$  – параметры распределений.



# ПЛОТНОСТЬ ВЕРОЯТНОСТИ СКОРОСТИ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ЗАТРУДНЕННОМ ДВИЖЕНИИ



$$g(v) = \eta_1 \delta(0) + \eta_2 \frac{v^{k_1-1}}{\theta_1^{k_1} \Gamma(k_1)} e^{-\frac{v}{\theta_1}} + \eta_3 \frac{v^{k_2-1}}{\theta_2^{k_2} \Gamma(k_2)} e^{-\frac{v}{\theta_2}} + \eta_4 \frac{v^{k_3-1}}{\theta_3^{k_3} \Gamma(k_3)} e^{-\frac{v}{\theta_3}}, \quad (18)$$

$$\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4 = 1$$

где  $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$  – эмпирические коэффициенты;

$k_1, k_2, k_3, \theta_1, \theta_2, \theta_3$  – параметры распределений.

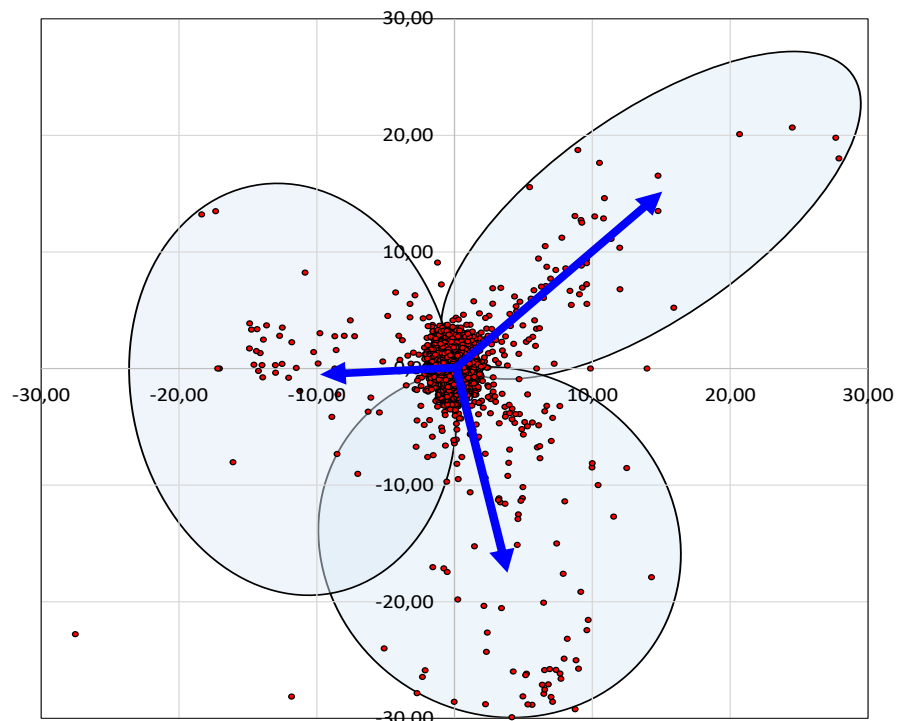
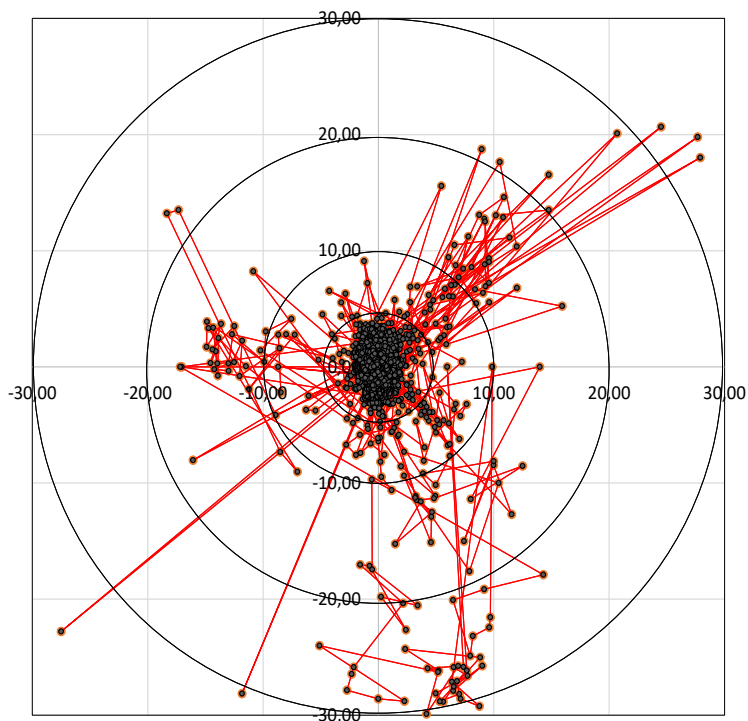
$$h(v) = \eta_0 \delta(0) + \sum_{i=1}^N \eta_i \frac{v^{k_i-1}}{\theta_i^{k_i} \Gamma(k_i)} e^{-\frac{v}{\theta_i}}, \quad \sum_{i=0}^N \eta_i = 1 \quad (19)$$

где  $\eta_i$  – эмпирические коэффициенты;  $k_i, \theta_i$  – параметры распределений;  $N$  – количество мод.

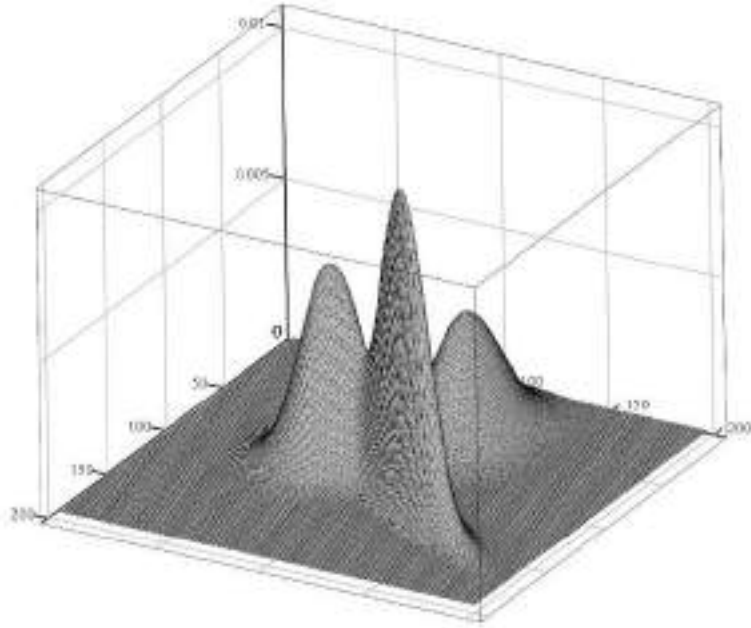
# Изменение координат в течение времени наблюдений:

А – ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ КООРДИНАТ

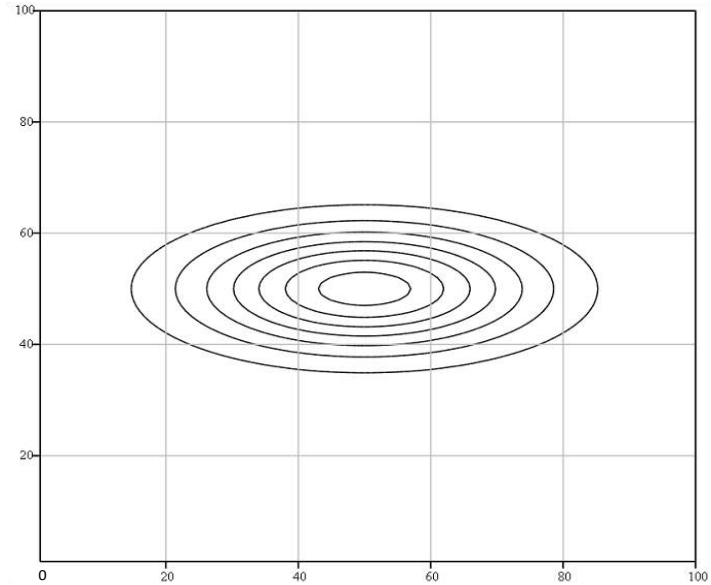
Б – ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ



**ПЛОТНОСТЬ ВЕРОЯТНОСТИ  
ПОЛОЖЕНИЯ ОБЪЕКТА,  
ПОЛУЧЕННАЯ ПО  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ**



**КОНТУРНАЯ ДИАГРАММА  
ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ  
ОДНОГО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ  
ДВИЖЕНИЯ**



Распределение вероятности попадания точки в окружение пользователя можно представить двумерным нормальным распределением:

$$p(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2}} e^{-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left(\frac{(x-\bar{x})^2}{\sigma_x^2} - \rho\frac{2(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sigma_x\sigma_y} + \frac{(y-\bar{y})^2}{\sigma_y^2}\right)} \quad (11)$$

где  $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$  – средние значения по соответствующим координатам;  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  – среднеквадратические отклонения по соответствующим координатам;  $\rho$  – коэффициент корреляции между  $x$  и  $y$ ).

Плотность вероятности для данных может быть выражена мультимодальным распределением с плотностью вероятности:

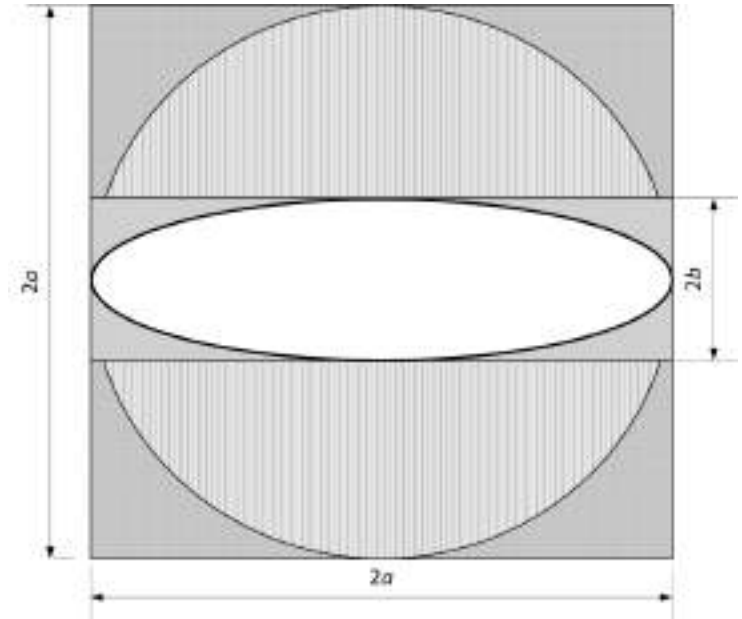
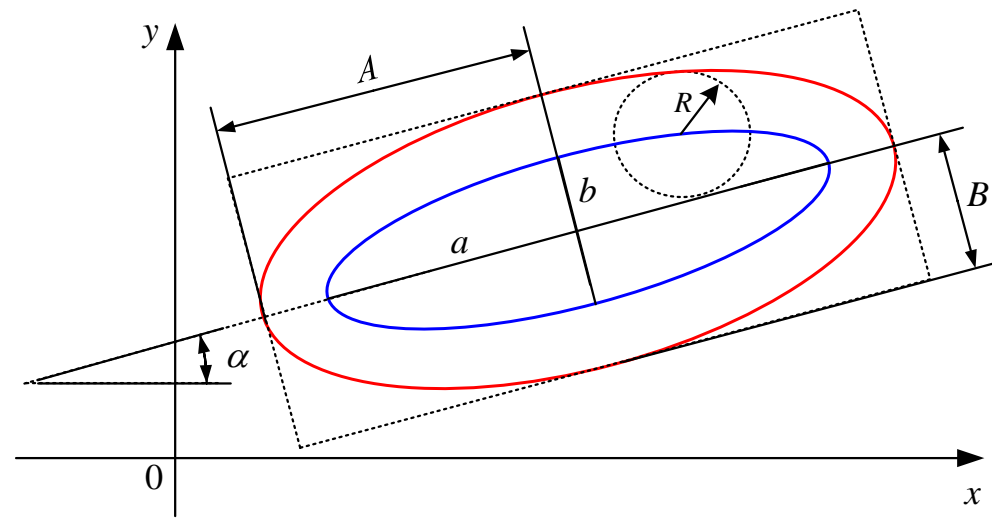
$$\beta(x, y) = \sum_{i=1}^K \eta_i \frac{1}{2\pi\sigma_x^{(i)}\sigma_y^{(i)}\sqrt{1-\rho_i^2}} e^{-\frac{1}{2(1-\rho_i^2)}\left(\frac{(x-\bar{x}_i)^2}{(\sigma_x^{(i)})^2} - \rho\frac{2(x-\bar{x}_i)(y-\bar{y}_i)}{\sigma_x^{(i)}\sigma_y^{(i)}} + \frac{(y-\bar{y}_i)^2}{(\sigma_y^{(i)})^2}\right)} \quad (12)$$

# Метод выбора данных дополненной реальности. Обобщенный алгоритм

1. Инициализация начальных значений и другие подготовительные действия.
2. Получение оценок координат и скорости  $x_i, y_i, v_i$  для  $i$ -го отсчета, для чего используются функциональные возможности клиентского терминала. Полагаем, что эти возможности включают в себя все необходимые операции, связанные с вычислениями и предварительной обработкой этих значений.
3. Выбор типа движения на основе данных о скорости. Для этой цели может быть использовано усредненное значение скорости за  $k$  интервалов наблюдений (отсчетов) и его сравнение с характерными для пользователя или услуги типами движения (например, с данными о скорости, приведенными выше). Цель этого этапа – определить такое значение скорости движения, на которое следует ориентироваться при формировании запроса по выбору  $\Delta R$  (3.43) и интервала времени  $t_0$ . Это значение может быть принято, например, из тех соображений, что скорость движения не превышает некоторого значения с заданной вероятностью. Для решения задачи предлагается использовать гипотетическое распределение (плотность вероятности), полученное из выражений (3.34) или (3.35) как составляющая, которая определяет моду для данного типа движения.
4. Вычисление СКО  $\sigma_x, \sigma_y$  и коэффициента корреляции  $\rho$  за  $k$  последних отсчетов.
5. Вычисление координат эллипса согласно (3.42), формирование и отправка запроса с соответствующими параметрами.
6. Получение данных ДР и их использование.
7. Ожидание окончания интервала  $t_0$ : переход к пункту 1.

## Целевая область запроса данных дополненной реальности

## Сравнение эллипса с другими формами целевой области запроса



С учетом правила  $3\sigma$  определим параметры эллипса рассеяния:

$$a = 3\sigma_x, \quad b = 3\sigma_y, \quad A = a + R, \quad B = b + R, \quad \operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\rho\sigma_x\sigma_y}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2} \quad (13)$$

где  $a, b$  – полуоси эллипса рассеяния (вероятная координата пользователя);

$A, B$  – полуоси целевой области запроса данных (вероятная область восприятия пользователя).

Метод выгрузки трафика для сети, предоставляющей услуги дополненной реальности, на основе многоуровневой системы граничных вычислений с четырьмя уровнями выгрузки трафика, что позволяет не только обеспечить выполнение требований по величине задержки в 5мс, но и уменьшить потери в несколько раз по сравнению с существующими методами для всех основных услуг дополненной реальности: круговых видеопотоков, многопользовательских игр и *web*-приложений дополненной реальности.

# Структура системы AR/ММ-МЕС

## СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ДР

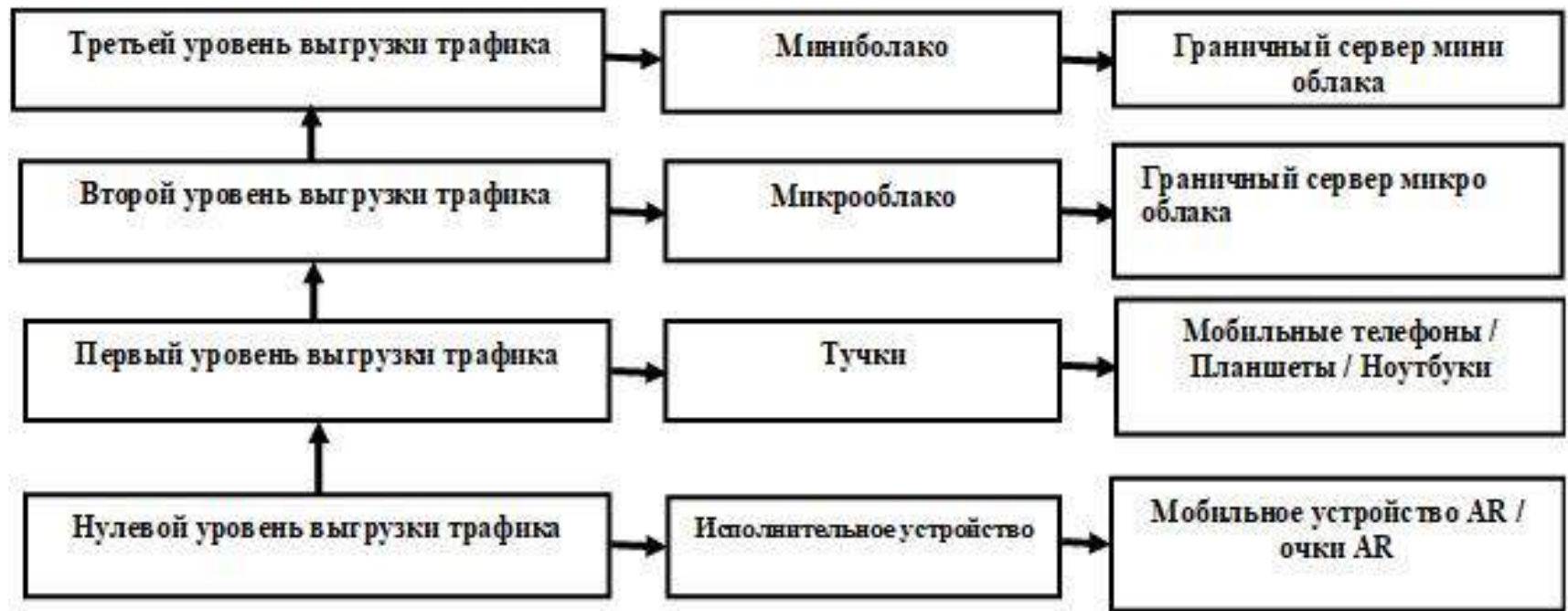


## МНОГОУРОВНЕВАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ





# Уровни выгрузки трафика в системе AR/MM-MEC

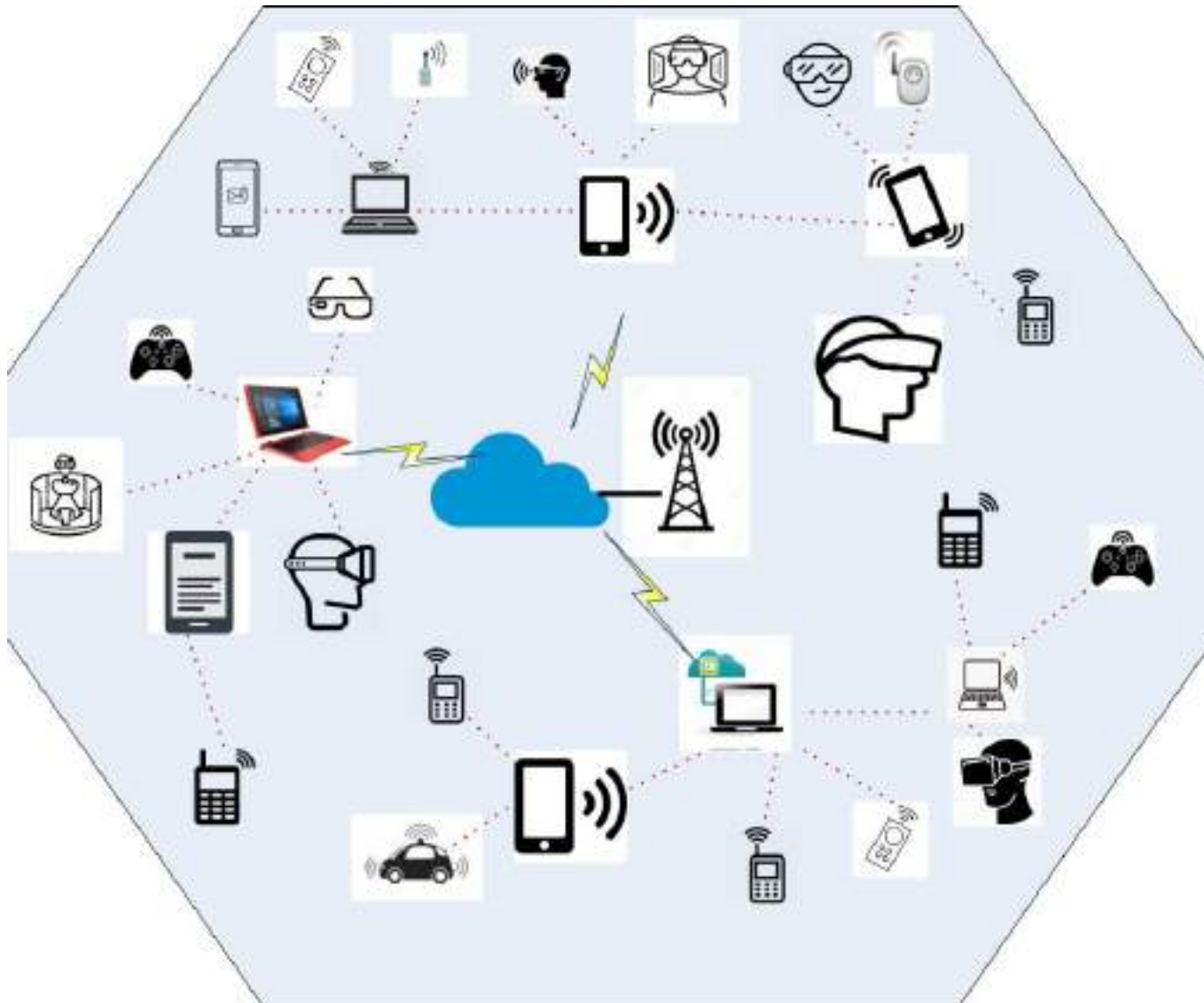


уровень выгрузки трафика

исполнительное устройство



# Многопользовательские игры дополненной реальности в системе AR/MM-MEC



# Метод выгрузки трафика

1. Мобильное устройство ДР проверяет, может ли оно обработать поступающий запрос на своем уровне или должно выгрузить его на следующий уровень системы AR/ММ-МЕС.

2. Устройство ДР оценивает объем данных для выполнения требуемой задачи и вычисляет необходимое число циклов  $N_{CYC}$  для локального решения задачи по формуле  $N_{CYC} = K * S$ , где  $S$  – количество циклов, необходимых для обработки одного входящего бита;  $K$  – общая длина вычисляемых данных для задачи, включая биты кодирования.

3. Время  $T_{AR}$ , необходимое для решения этой задачи, определяется как  $T_{AR} = \frac{N_{CYC}}{R_{AR}}$ ,  $R_{AR} \in f_{AR}$  где  $R_{AR}$  – ресурс мобильного устройства, выделенный для выполнения задачи;  $f_{AR}$  – общее количество используемых ресурсов при обработке задачи на мобильном устройстве, которое рассчитывается по частоте цикла процессора.

Затем определяется двоичный временной показатель разгрузки задачи с мобильного устройства:

$$D_{T-off-AR} = I(T_{AR}, \tau) = \begin{cases} 0, & \text{если } T_{AR} \leq \tau \\ 1, & \text{если } T_{AR} > \tau \end{cases}$$

4. Далее, при отсутствии необходимости выгрузки трафика на следующие уровни (вследствие выполнения требований по задержке) проверяются энергетические возможности устройства ДР для решения поступившей заявки. Общая потребляемая энергия при локальном решении задачи  $E_{C-AR}$  вычисляется через число требуемых циклов  $N_{CYC}$ :  $E_{C-AR} = N_{CYC} * \delta_{AR}$  где  $\delta_{AR}$  – потребление энергии за один цикл выполнения ДР задачи мобильным устройством.

5. Затем определяется остаточная энергия  $E_{R-AR}$  по окончании решения задачи на локальном уровне. Решение по энергетическим показателям принимается посредством сравнения остаточной энергии  $E_{R-AR}$  с предопределенным порогом уровня энергии мобильного ДР устройства  $E_{th-AR}$ .

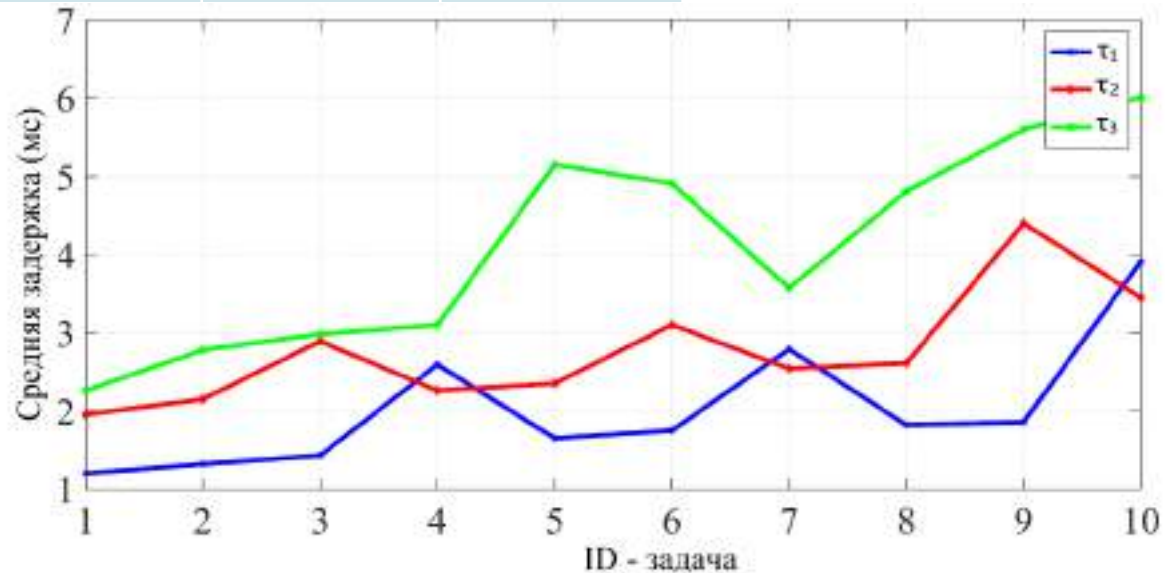
6. Итак, в случае, когда и по задержке, и по энергетическим показателям задача может быть решена на локальном уровне, процедура выгрузки трафика не требуется. Однако, если хотя бы по одному из предложенных параметров – задержке или энергии – существуют проблемы по решению задачи на локальном уровне, то последовательно проверяются возможности решения задачи на вышестоящих уровнях:

$$D_{off-AR} = \begin{cases} 0 & \text{IF}(D_{T-off-AR} \ \& \ D_{E-off-AR} == 0) \\ 1 & \text{IF}(D_{T-off-AR} \ \square \ D_{E-off-AR} == 1) \end{cases}$$

# Моделирование и оценка эффективности предложенного метода. Сценарий А

	Задача 1	Задача 2	Задача 3	Задача 4	Задача 5
К, Мбайт	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
$\tau_1$ , мс	2,0	2,7	3,0	3,5	3,5
$\tau_2$ , мс	2,5	3,5	3,7	4,5	4,7
$\tau_3$ , мс	3,5	4,5	4,5	5,0	5,0
	Задача 6	Задача 7	Задача 8	Задача 9	Задача 10
К, Мбайт	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5
$\tau_1$ , мс	3,7	4,5	4,5	4,7	5,0
$\tau_2$ , мс	4,5	4,7	4,7	5,0	5,5
$\tau_3$ , мс	5,5	6,0	6,0	6,0	6,0

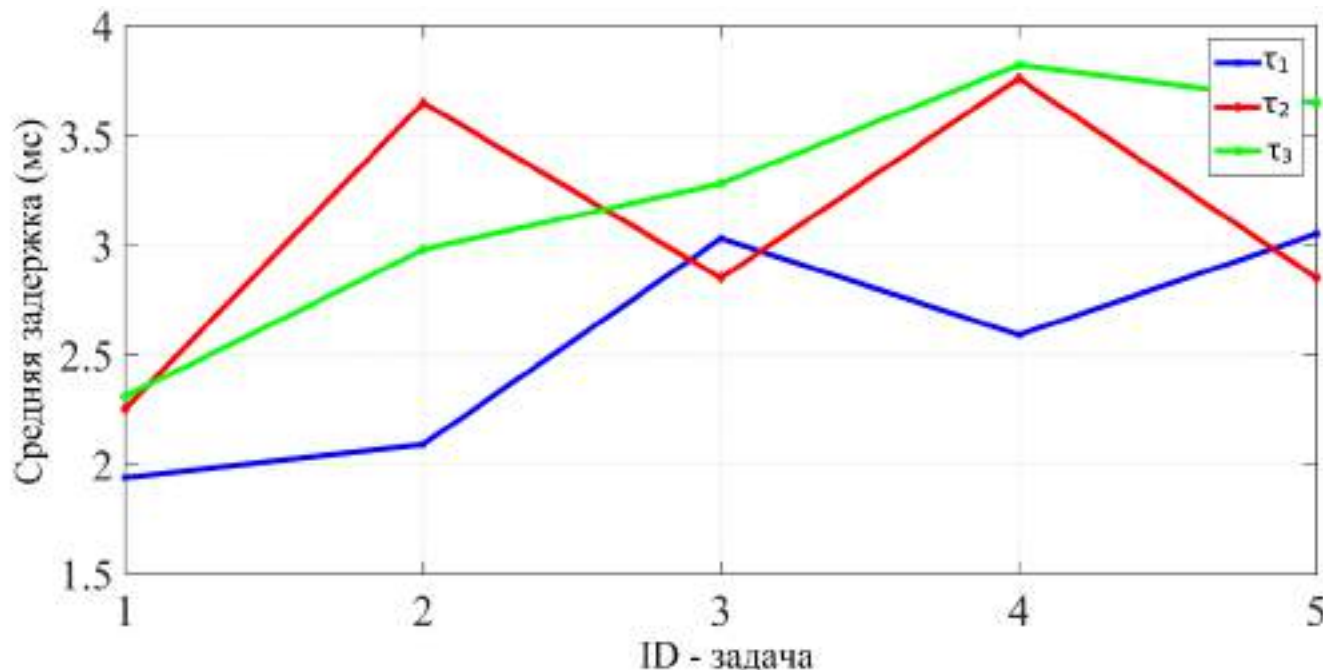
Сценарий (А): анализируются десять гетерогенных задач, соответствующих нагрузке от десяти реальных изображений ДР с высоким разрешением.



# Моделирование и оценка эффективности предложенного метода. Сценарий В

	Задача 1	Задача 2	Задача 3	Задача 4	Задача 5
К, Мбайт	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
$\tau_1$ , мс	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4
$\tau_2$ , мс	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4
$\tau_3$ , мс	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4

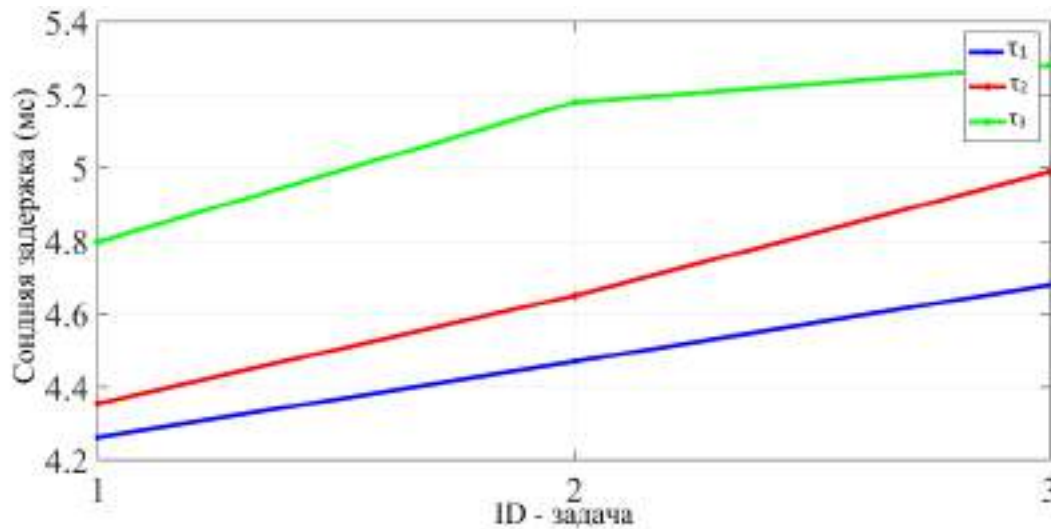
Сценарий (В) предполагает, что пять гетерогенных задач соответствуют нагрузке пяти гетерогенных web-приложений ДР



# Моделирование и оценка эффективности предложенного метода. Сценарий С

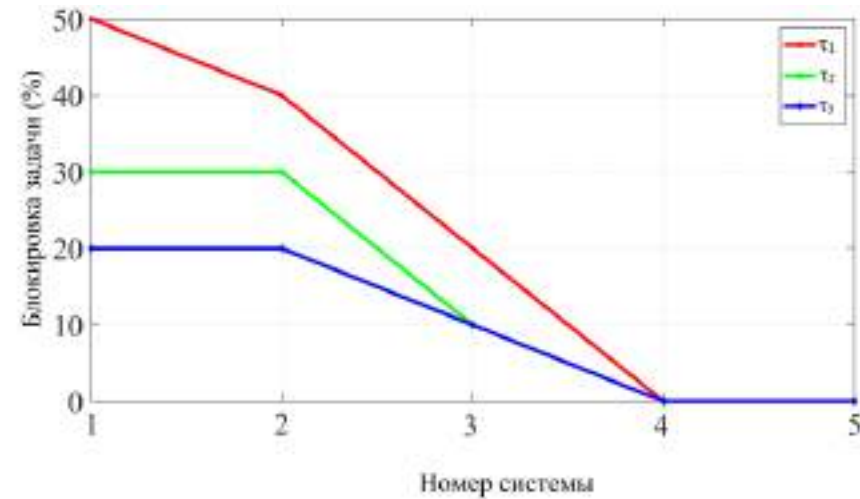
	Задача 1	Задача 2	Задача 3
К, Мбайт	50,0	60,0	70,0
$\tau_1$ , мс	5,0	5,1	5,2
$\tau_2$ , мс	6,0	6,1	6,2
$\tau_3$ , мс	7,0	7,1	7,2

Для сценария (С) рассматриваются три гетерогенные задачи, соответствующие нагрузке от трех реальных видеопотоков с обзором в 360° ДР-360, взятых из *YouTube*.



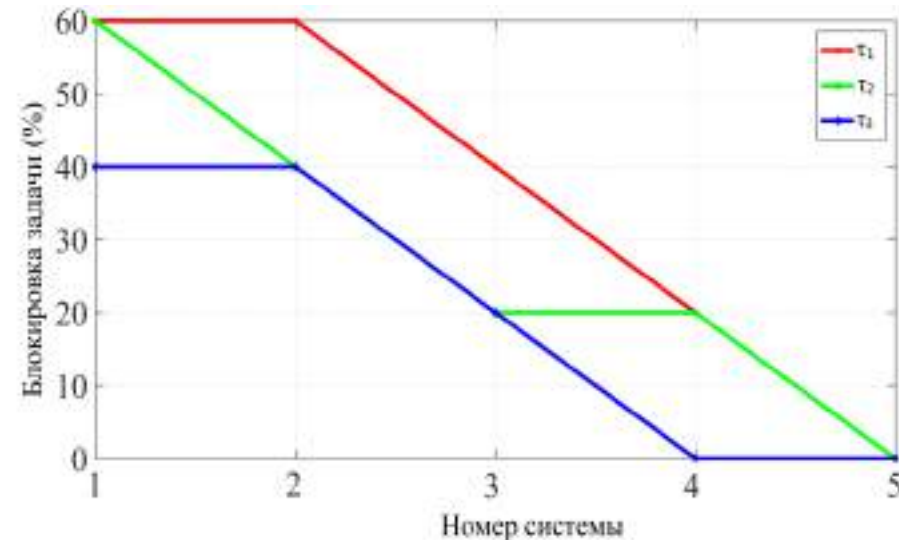
# Сравнение метода AR/ММ-МЕС с другими методами выгрузки трафика

Процент заблокированных задач для сценария А

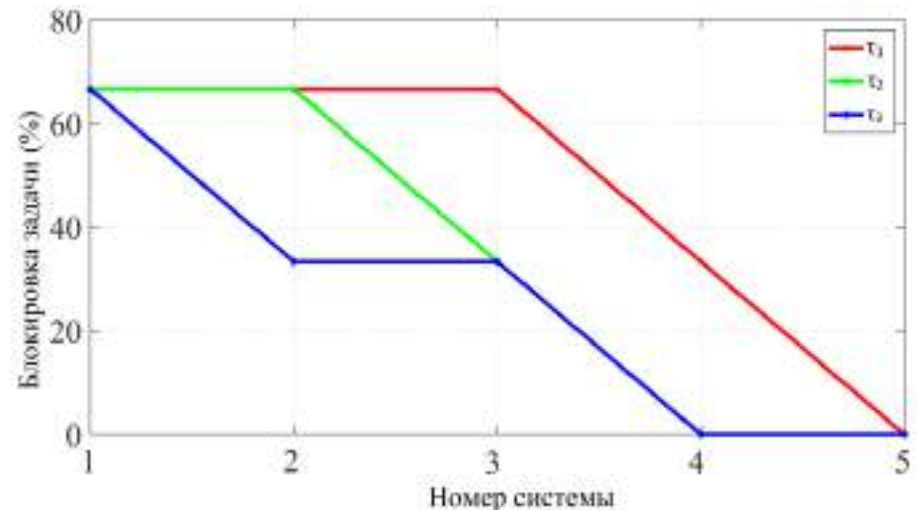


- Первый метод предполагает только локальное выполнение задач без использования технологии МЕС и выгрузки трафика на соседние устройства;
- Второй метод предусматривает возможность выгрузки трафика на соседние облачные устройства;
- Третий метод осуществляет выгрузку на пограничный сервер системы МЕС;
- Четвертый метод обеспечивает два уровня выгрузки трафика помимо локальной обработки;
- Пятый метод представляет собой предложенный метод AR/ММ-МЕС.

Процент заблокированных задач для сценария В



Процент заблокированных задач для сценария С



**Спасибо за внимание!**