



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Разработка методов эффективного взаимодействия беспроводных сенсорных сетей

Дворников Андрей Алексеевич

Научный руководитель:  
к.т.н., доцент Восков Л.С.

05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникации

## Обзор и анализ литературы:

1. **Телекоммуникационный резерв** в беспроводных сенсорных сетях **увеличивается** на фоне развития сетевых стандартов.
2. **При помощи наложенных сетей возможно** обеспечить прозрачную передачу данных с сохранением адресации.
3. В беспроводных сенсорных сетях **возможно обеспечение качества обслуживания** для предотвращения функционального отказа беспроводной сенсорной сети на фоне передачи данных внешней вычислительной сети.
4. Для восстановления соединений одной беспроводной сенсорной сети за счёт резервов другой беспроводной сенсорной сети с сохранением качества обслуживания **необходимы новые методы.**

## Существующие недостатки:

- 1. Отсутствуют методы** эффективного взаимодействия беспроводных сенсорных сетей, направленные на восстановление соединений одной беспроводной сенсорной сети за счёт резервов другой беспроводной сенсорной сети.
- 2. Не исследовано** влияние передачи данных внешних вычислительных сетей на беспроводные сенсорные сети.

## Цель исследования

- Разработка **методов эффективного взаимодействия беспроводных сенсорных сетей на примере перераспределения резервов одной беспроводной сенсорной сети для восстановления соединений другой беспроводной сенсорной сети:**
  - для передачи данных используются резервы беспроводной сенсорной сети;
  - для предотвращения функционального отказа беспроводной сенсорной сети используется качество обслуживания;
  - прозрачность передачи данных и сохранение адресации достигается за счёт использования наложенной сети.

- **Разработан новый метод** преобразования норм качества обслуживания соединения наложенной сети в нормы качества обслуживания соединения беспроводной сенсорной сети, позволяющий избежать функционального отказа беспроводной сенсорной сети на фоне работы наложенной сети.
- **Разработана новая** графовая **модель** беспроводной сенсорной сети, учитывающая специфические метрики QoS беспроводных сенсорных сетей.
- **Разработан новый метод** поиска пути в графовой модели беспроводной сенсорной сети для соединения наложенной сети с учётом качества обслуживания, позволяющий использовать существующие алгоритмы поиска кратчайшего пути за счёт применения параметрического веса ребра.
- **Получены результаты исследования** предложенных методов на имитационных моделях и экспериментальном оборудовании, позволяющие сделать вывод об их эффективности.

## Этап 1. Структурные преобразования.

$$z_r = f_{sc}(x \in K_o): z_r \in K_w, \text{ где:}$$

$x$  – набор норм QoS наложенной сети;

$z_r$  – набор норм QoS беспроводной сенсорной сети без понижения требований.

## Этап 2. Понижение требований.

$$\begin{cases} G_m = y(t): \mathbb{Z}^+ \rightarrow F_w \\ z = f_d(z_r \in K_w, z_l \in K_w, G_m, s \in V_m, g \in V_m): z \in K_w \cup \{\emptyset\}, \text{ где:} \end{cases}$$

$G_m$  – графовая модель беспроводной сенсорной сети с наборами параметров на узлах и дугах в момент времени  $t$  выполнения функции;

$F_w$  – множество всех возможных состояний беспроводной сенсорной сети;

$z_r$  – набор норм QoS беспроводной сенсорной сети до понижения требований;

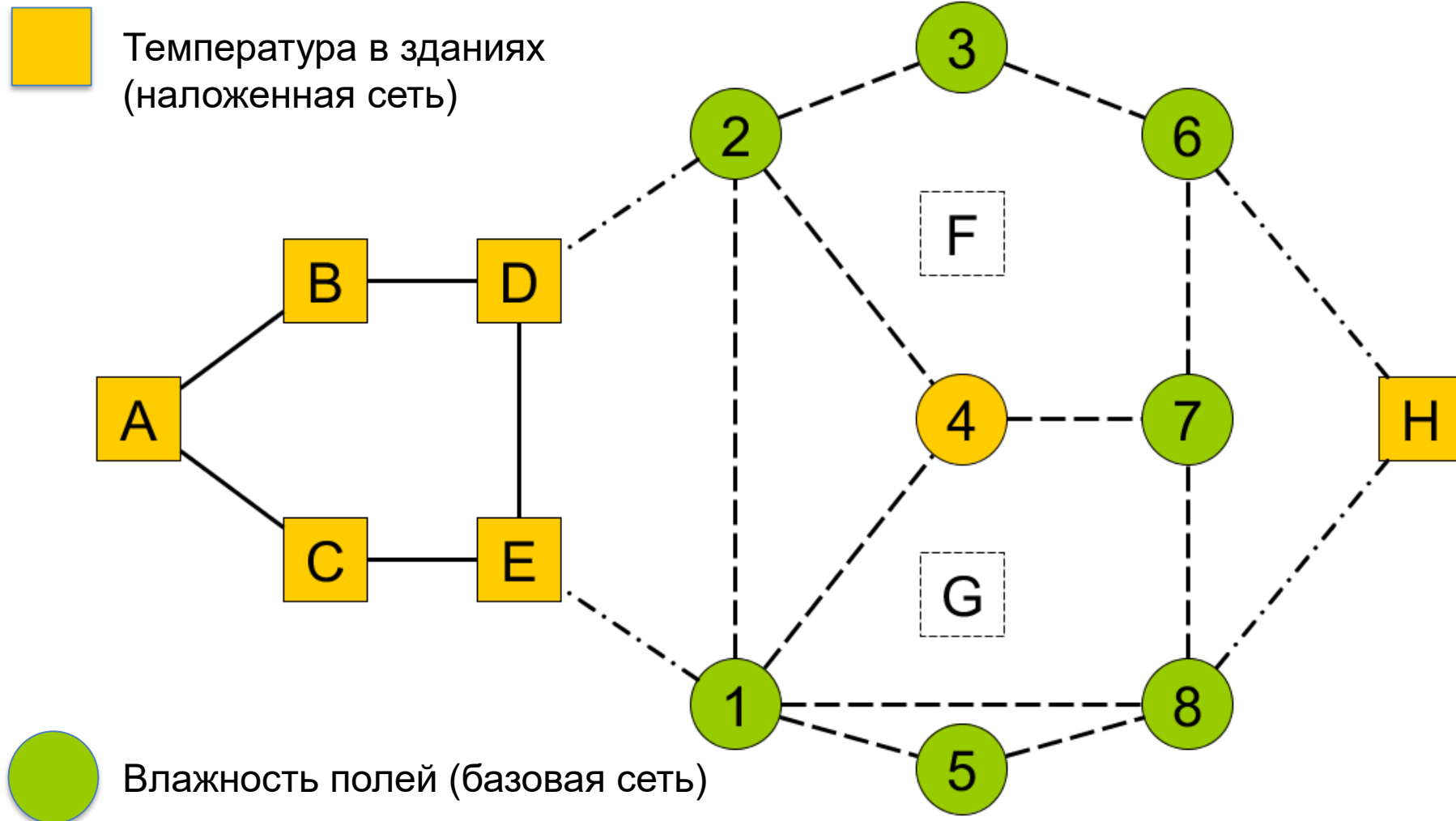
$z_l$  – набор норм QoS наложенной сети;

$s$  – узел-инициатор соединения;

$g$  – узел назначения соединения.

## Этап 3. Согласование требований.

# Цель исследования



## Этап 1. Структурные преобразования.

$$f_{sc}(x) = \begin{cases} \tau' = \text{round}\left(\frac{s_{\max} * 8}{d - d_s}\right) \\ \epsilon' = \text{round}\left(\frac{\epsilon - \epsilon_{\min 1}}{\epsilon_{\max 1} - \epsilon_{\min 1}} * (\epsilon_{\max 2} - \epsilon_{\min 2}) + \epsilon_{\min 2}\right) \\ \delta' = \delta \\ \psi' = \psi \end{cases}$$

$s_{\max}$	763
$d_s$	0,5

$\epsilon_{\min 1}$	100
$\epsilon_{\max 1}$	2000
$\epsilon_{\min 2}$	500
$\epsilon_{\max 2}$	1500

$$Q_0 = \{d = 1 \text{ с}; \{\epsilon = 1250 \text{ МВт} * \text{ч}; \delta = 0,7; \theta = 0,6\}\}$$



$$Q_w = \{\tau' = 12 \text{ кбит/с}; \{\epsilon' = 1105 \text{ МВт} * \text{ч}; \delta' = 0,7; \theta' = 0,6\}\}$$

	$p_o$
$p_n$	0
$p_1$	0,35
$p_2$	0,52
$p_3$	0,73



# Графовая модель

$G_w = (V_w, E_w)$  – ненаправленный граф.

$V_w = \{v_1, v_2, \dots, v_m\} : m \in \mathbb{N}, m > 0$  – множество вершин графа.

$E_w = \{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n\} : n \in \mathbb{N}, n > 0$  – множество рёбер графа.

$$v = (b, e)$$

$b \in \mathbb{Z}^+$  - свободный телекоммуникационный ресурс узла;

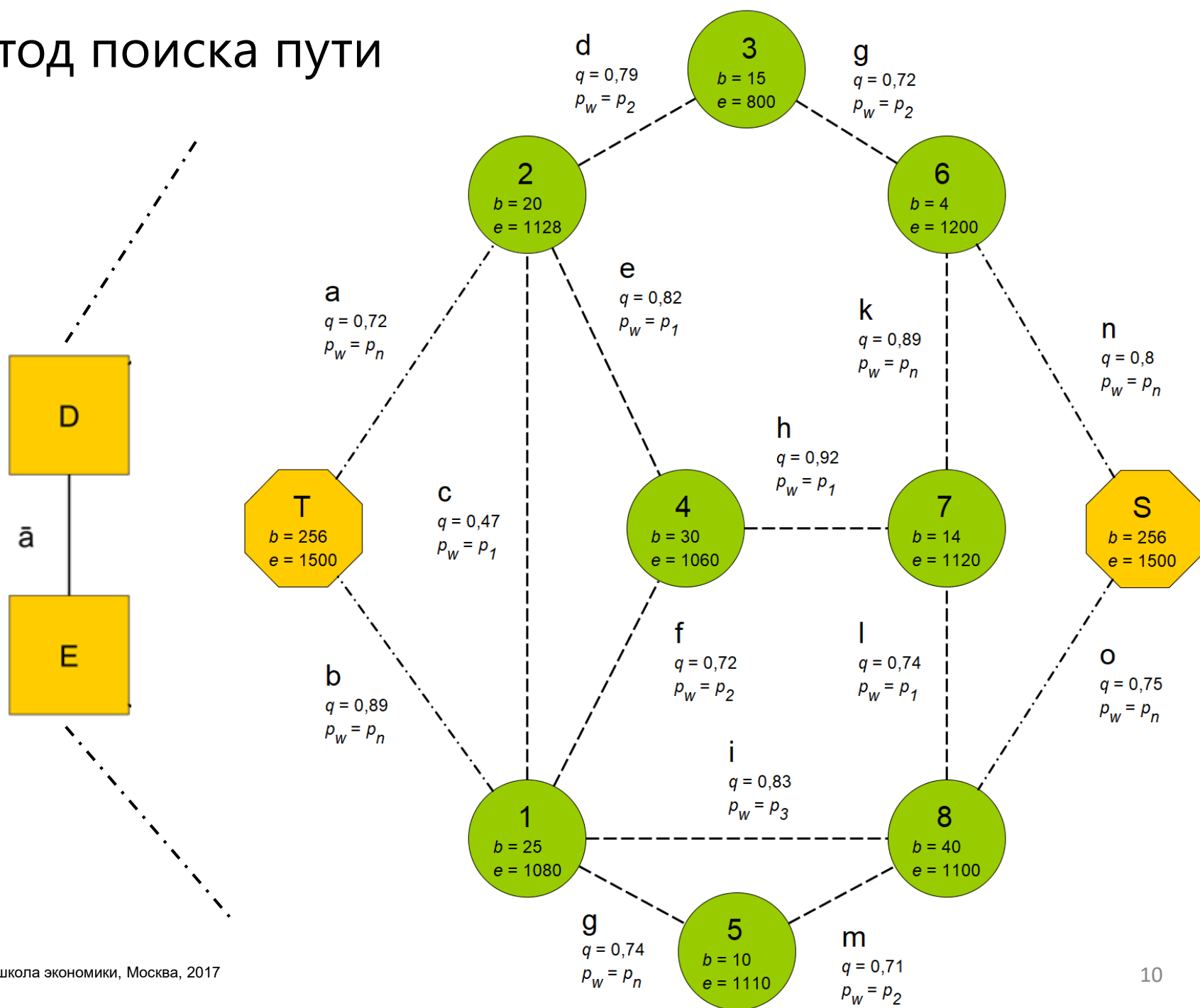
$e \in \mathbb{Z}^+$  - свободный энергетический ресурс узла;

$$\varepsilon = (q, p_w)$$

$q \in \mathbb{R}, q \in \{0, \dots, 1\}$  - относительный уровень сигнала между узлами;

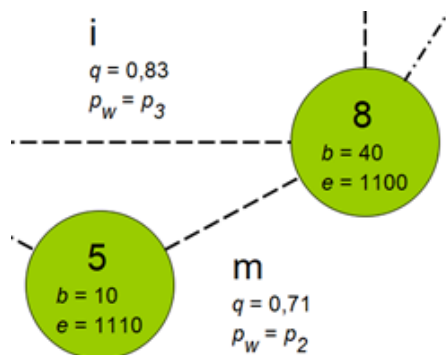
$p_w \subseteq P_w$  - характеристика сетевой службы беспроводной сенсорной сети;

# Метод поиска пути



# Параметрический вес

$$w(u, v) = \text{round}(C_n - k_b \cdot \min(b_u, b_v) - k_e \cdot \min(e_u, e_v) - k_q \cdot q_{(u, v)} + k_\sigma \cdot \zeta(p_{w_{uv}}, p_n)) \rightarrow 505$$



	$p_o$
$p_n$	0
$p_1$	0,35
$p_2$	0,52
$p_3$	0,73

Технические характеристики

$b_{max}$	256
$e_{max}$	1500
$q_{max}$	1
$\min(\Sigma)$	0

Моделирование или расчёты

$$C_n = k_b \cdot b_{max} + k_e \cdot e_{max} + k_q \cdot q_{max} - k_\sigma \cdot \min(\zeta(p_{w_{uv}}, p_n))$$

738,32

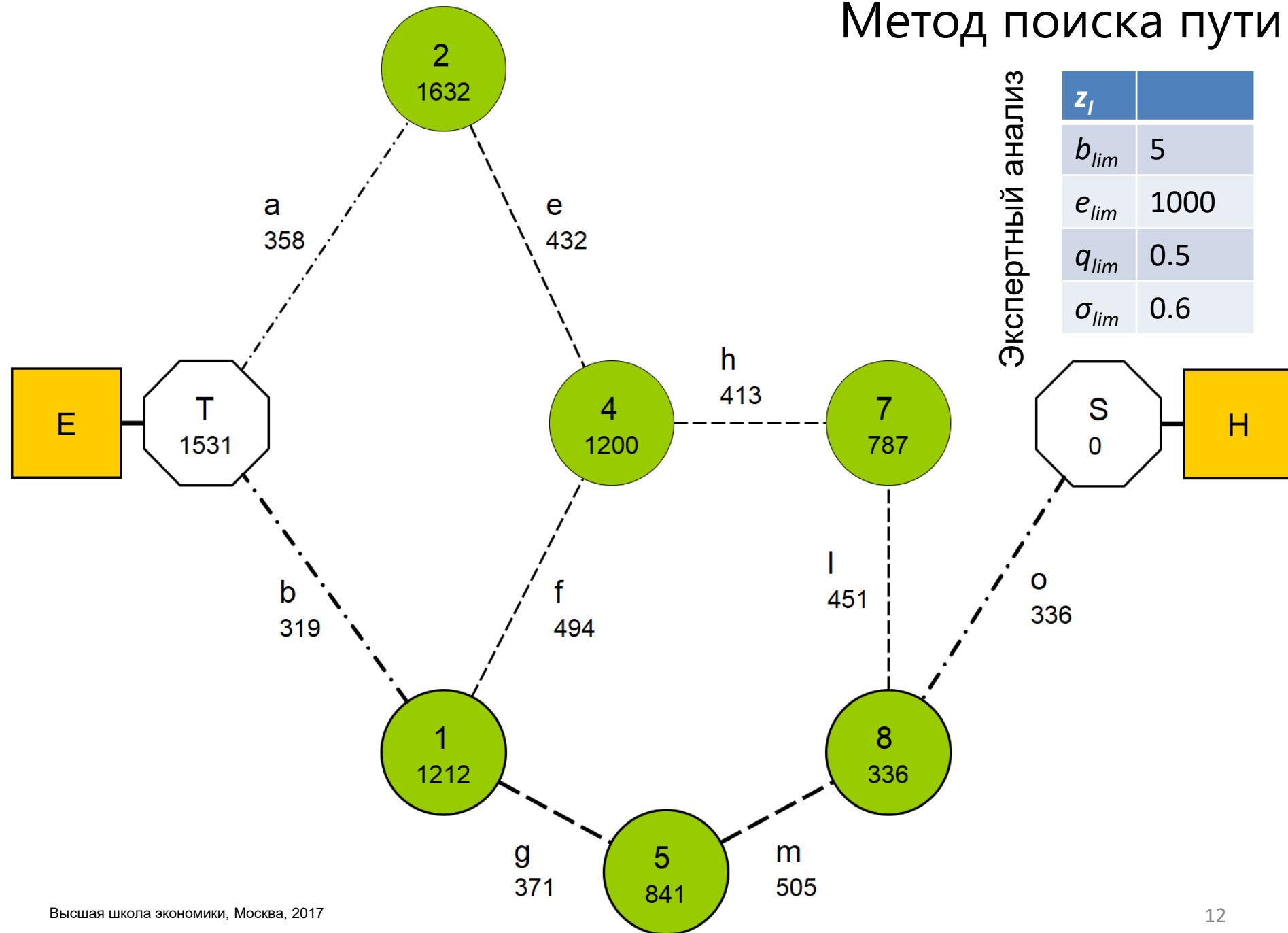
Экспертный анализ

$k_b$	0,97
$k_e$	0,16
$k_q$	250
$k_\sigma$	250

# Метод поиска пути

Экспертный анализ

$z_l$	
$b_{lim}$	5
$e_{lim}$	1000
$q_{lim}$	0.5
$\sigma_{lim}$	0.6



## Этап 2. Понижение требований.

$$Q_w = \{\tau' = 10 \text{ кбит/с}; \{\varepsilon' = 1080 \text{ МВт} \cdot \text{ч}; \delta' = 0,7; \theta' = 0,6\}\}$$

## Этап 3. Согласование требований.

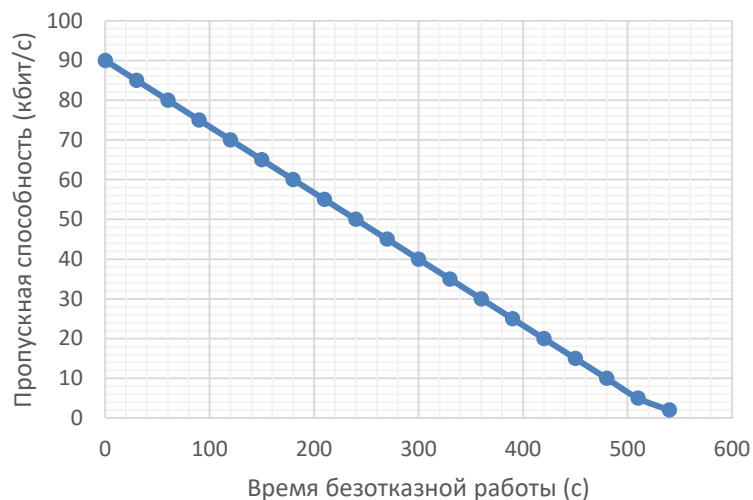
$$f_{sc}^{-1}(x) = \begin{cases} d = \frac{s_{max} * 8}{\tau'} + d_s \\ \varepsilon = \text{round}\left(\frac{\varepsilon' - \varepsilon_{min2}}{\varepsilon_{max2} - \varepsilon_{min2}} * (\varepsilon_{max1} - \varepsilon_{min1}) + \varepsilon_{min1}\right) \\ \delta = \delta' \\ \psi = \psi' \end{cases}$$

$$Q_o = \{d = 1 \text{ с}; \{\varepsilon = 1250 \text{ МВт} \cdot \text{ч}; \delta = 0,7; \theta = 0,6\}\}$$

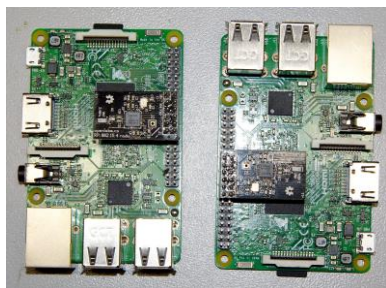


$$Q_o = \{d = 1,1 \text{ с}; \{\varepsilon = 1202 \text{ МВт} \cdot \text{ч}; \delta = 0,7; \theta = 0,6\}\}$$

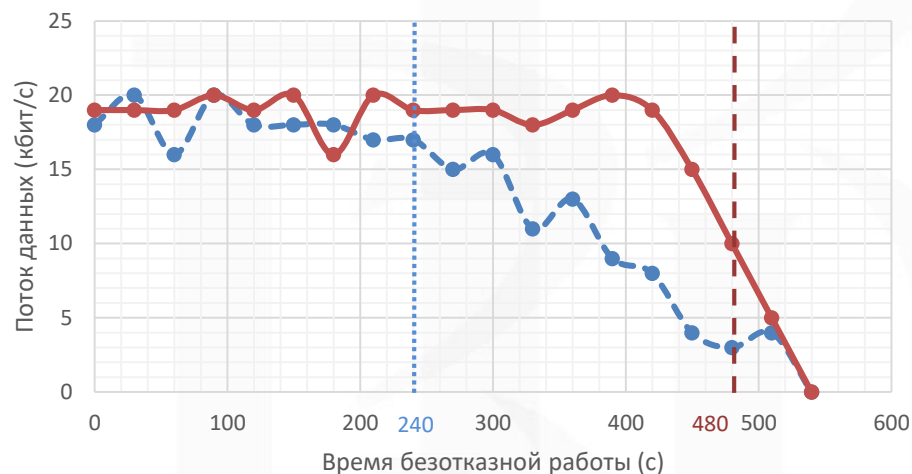
# Реализация метода преобразования норм



— Канал связи



## Служба беспроводной сенсорной сети



— Без использования метода

— С использованием метода

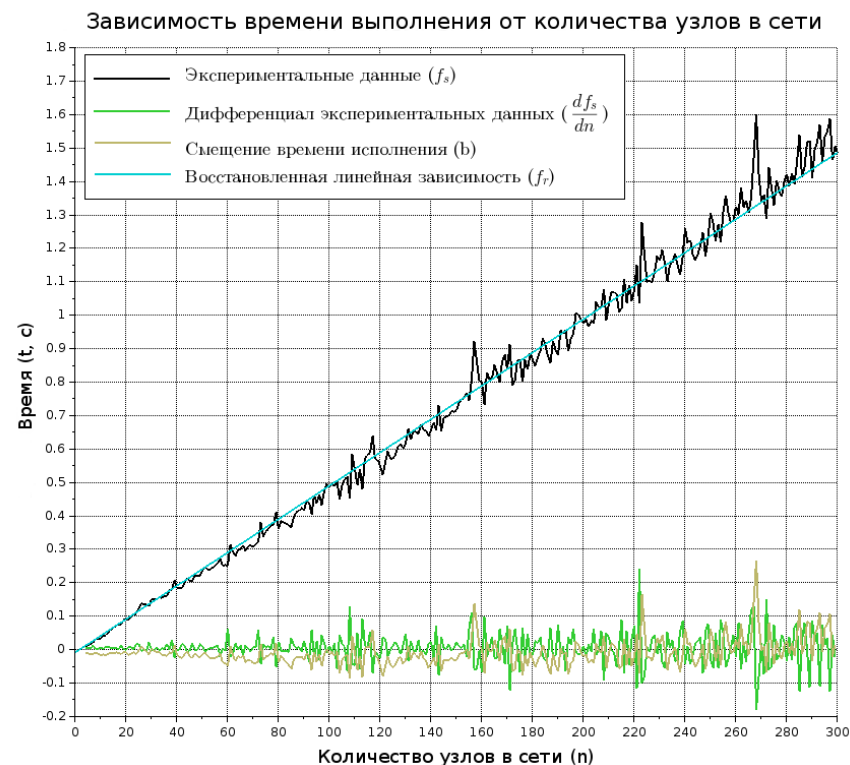
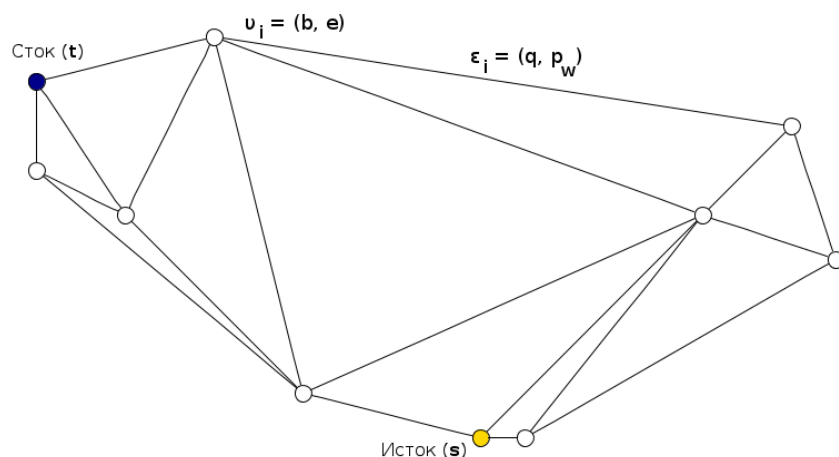
- Raspberry Pi 3
- Raspberry Pi 802.15.4 Radio

**Применение метода исключает функциональный отказ беспроводной сенсорной сети на фоне работы наложенной сети.**

# Реализация метода поиска пути

Метод реализован в имитационной модели, построенной в среде SciLab с применением графовой библиотеки metanet.

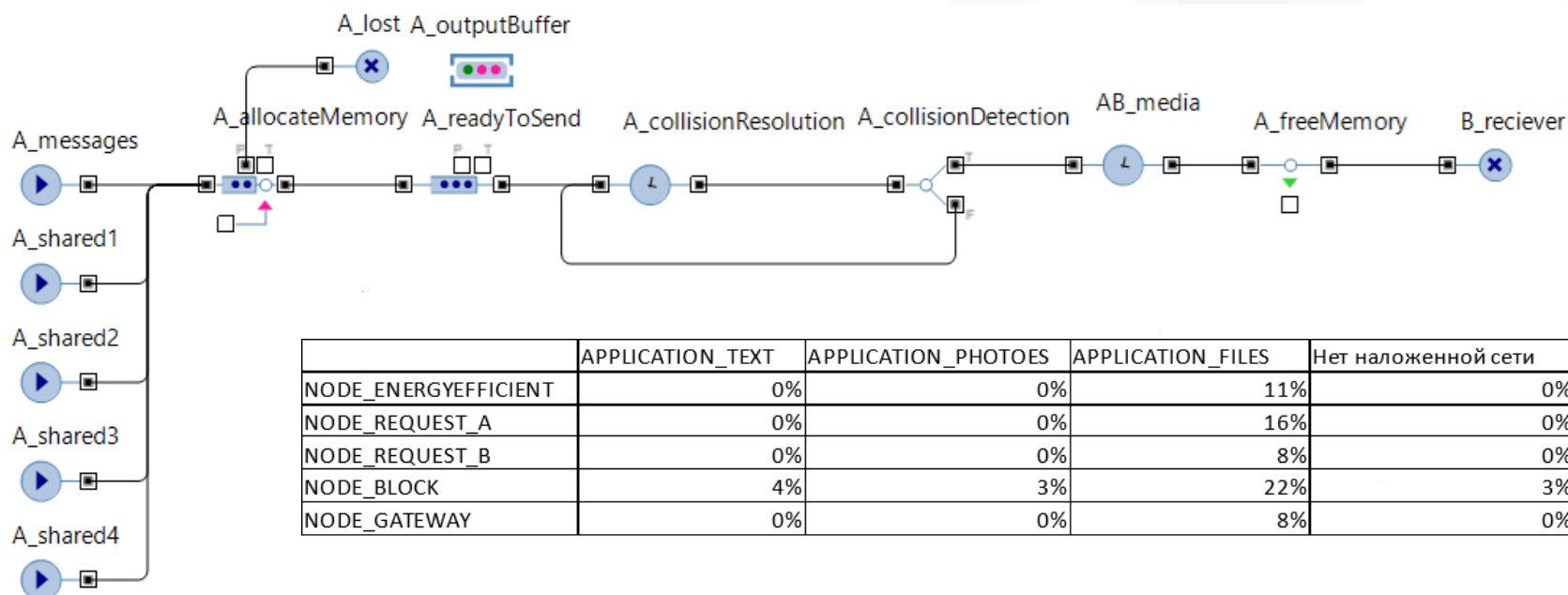
**Подтверждён линейных характер алгоритма в составе метода поиска пути.**



**\* Результаты моделирования для Intel Core i7 2600S @ 2.80GHz**

# Исследование совместимости служб

Построена имитационная модель канала связи для изучения совместимости служб наложенной сети и беспроводной сенсорной сети.



**Экспериментально подтверждено наличие потерь** при наложении потоков данных соединения наложенной сети и соединения беспроводной сенсорной сети некоторых служб.



1. **Предложен метод** преобразования норм качества обслуживания соединения наложенной сети в нормы качества обслуживания соединения беспроводной сенсорной сети, позволяющий избежать функционального отказа беспроводной сенсорной сети на фоне работы наложенной сети
2. **Построена графовая модель** беспроводной сенсорной сети, учитывающая специфические метрики QoS беспроводных сенсорных сетей.
3. **Предложен метод** поиска пути для соединения наложенной сети в графовой модели беспроводной сенсорной сети, позволяющий использовать существующие алгоритмы поиска кратчайшего пути за счёт применения параметрического веса ребра.
4. Метод преобразования норм **реализован** на программно-аппаратном комплексе IEEE 802.15.4, что позволило показать его положительное влияние на время безотказной работы.
5. Метода поиска пути **реализован** на имитационной модели, подтвердившей линейную временную сложность его алгоритма.



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Спасибо за внимание!

101000, Россия, Москва, Мясницкая ул., д. 20

Тел.: (495) 621-7983, факс: (495) 628-7931

[www.hse.ru](http://www.hse.ru)

# Метод преобразования норм

$$Q_{o_i} = (d_i, \{\epsilon_i, \delta_i, \psi_i\}), i = \overline{1 .. n}$$

**$d$**  - минимальная задержка пакетов в соединении, необходимая приложениям класса (с).

**$\epsilon$**  - минимальный энергетический ресурс на узлах, через которые проходит соединение (мВт\*ч).

$$Q_{w_j} = (\tau_j', \{\epsilon_j', \delta_j', \psi_j'\}), j = \overline{1 .. m}$$

**$\tau'$**  - минимальная пропускная способность соединения, необходимая приложениям класса (кбит/с).

**$\epsilon'$**  - минимальный энергетический ресурс на узлах, через которые проходит соединение (мВт\*ч).

	Наложенная сеть	Базовая сеть
$d$	[ 1 ... 4 ]	
$\tau$		[ 1 ... 128 ]
$\epsilon$	[ 100 ... 2000 ]	[ 500 ...1500 ]

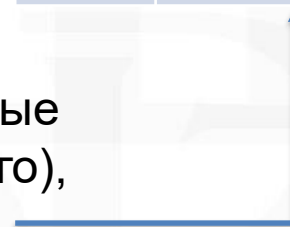
# Метод преобразования норм

$$Q_{o_i} = (d_i, \{\epsilon_i, \delta_i, \psi_i\}), i = \overline{1..n} \quad Q_{w_j} = (\tau_j', \{\epsilon_j', \delta_j', \psi_j'\}), j = \overline{1..m}$$

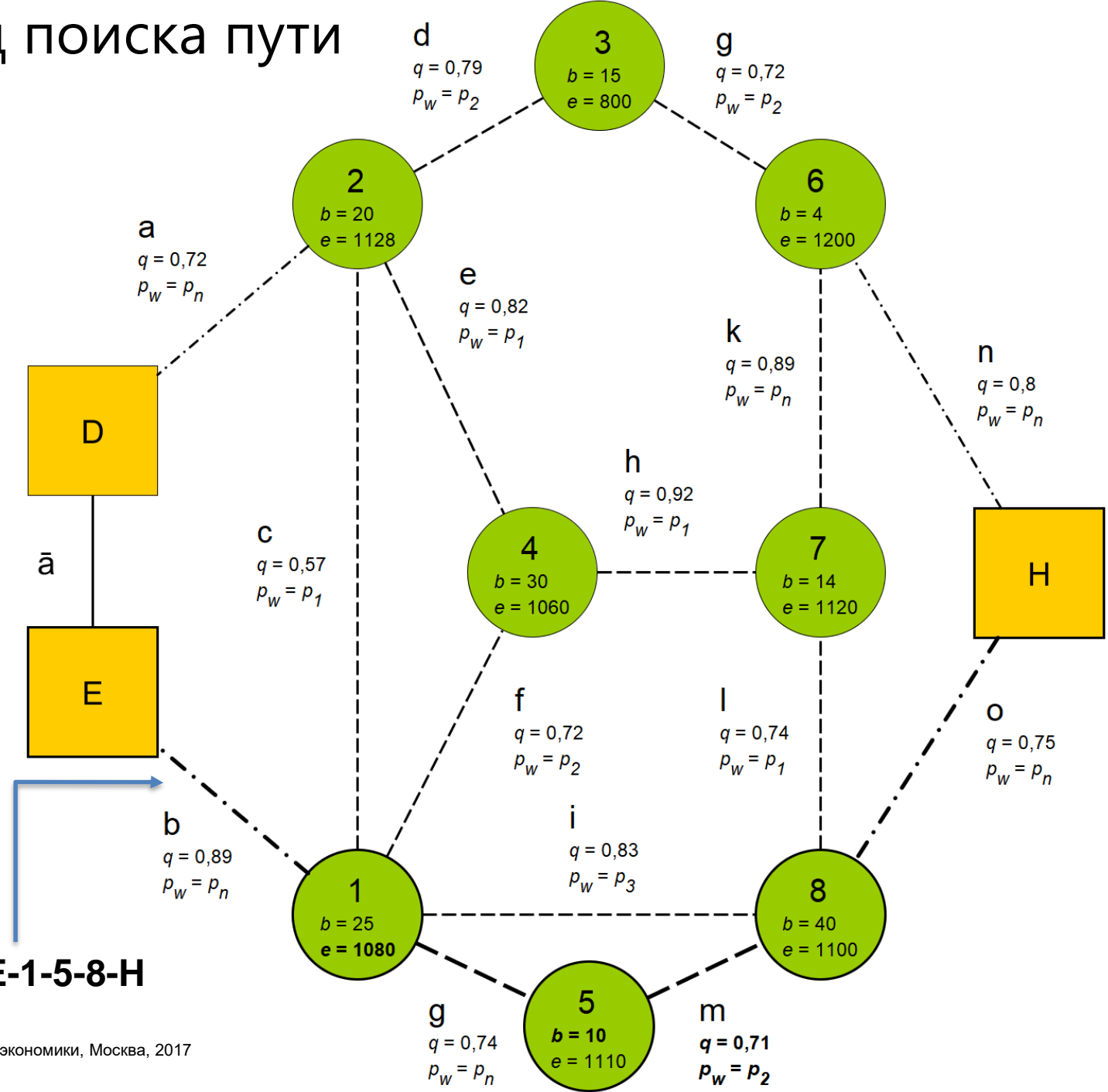
**$\delta$  и  $\delta'$**  - минимальный относительный уровень сигнала между узлами в соединении, где значение 1 показывает наилучший уровень сигнала (сигнал проходит канал связи без изменений), а 0 — наихудший уровень сигнала (сигнал не достигает узла назначения).

**$\psi$  и  $\psi'$**  - максимальная доля потерянных пакетов, вызванная наложением соединения беспроводной сенсорной сети сбора данных о температуре (наложенная сеть) и соединения беспроводной сенсорной сети сбора данных о влажности полей (базовая сеть), где значение 1 показывает максимальные потери (пакеты в соединении не доходят до следующего), а 0 — отсутствие потерь (все пакеты в соединении доходят до следующего узла).

	$p_{o1}$	...	$p_{om}$
$p_{w1}$			
...			
$p_{wn}$			



# Метод поиска пути



Путь: E-1-5-8-H