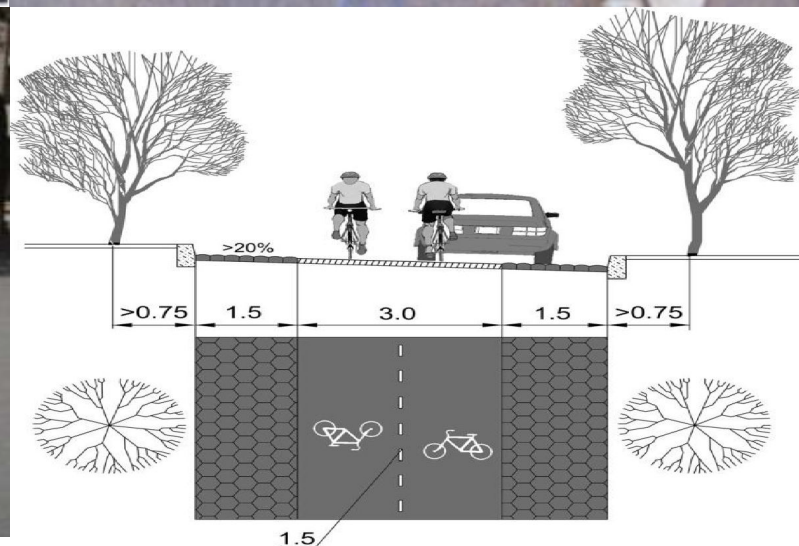


Московский Автомобильно-дорожный Государственный  
Технический Университет (МАДИ)

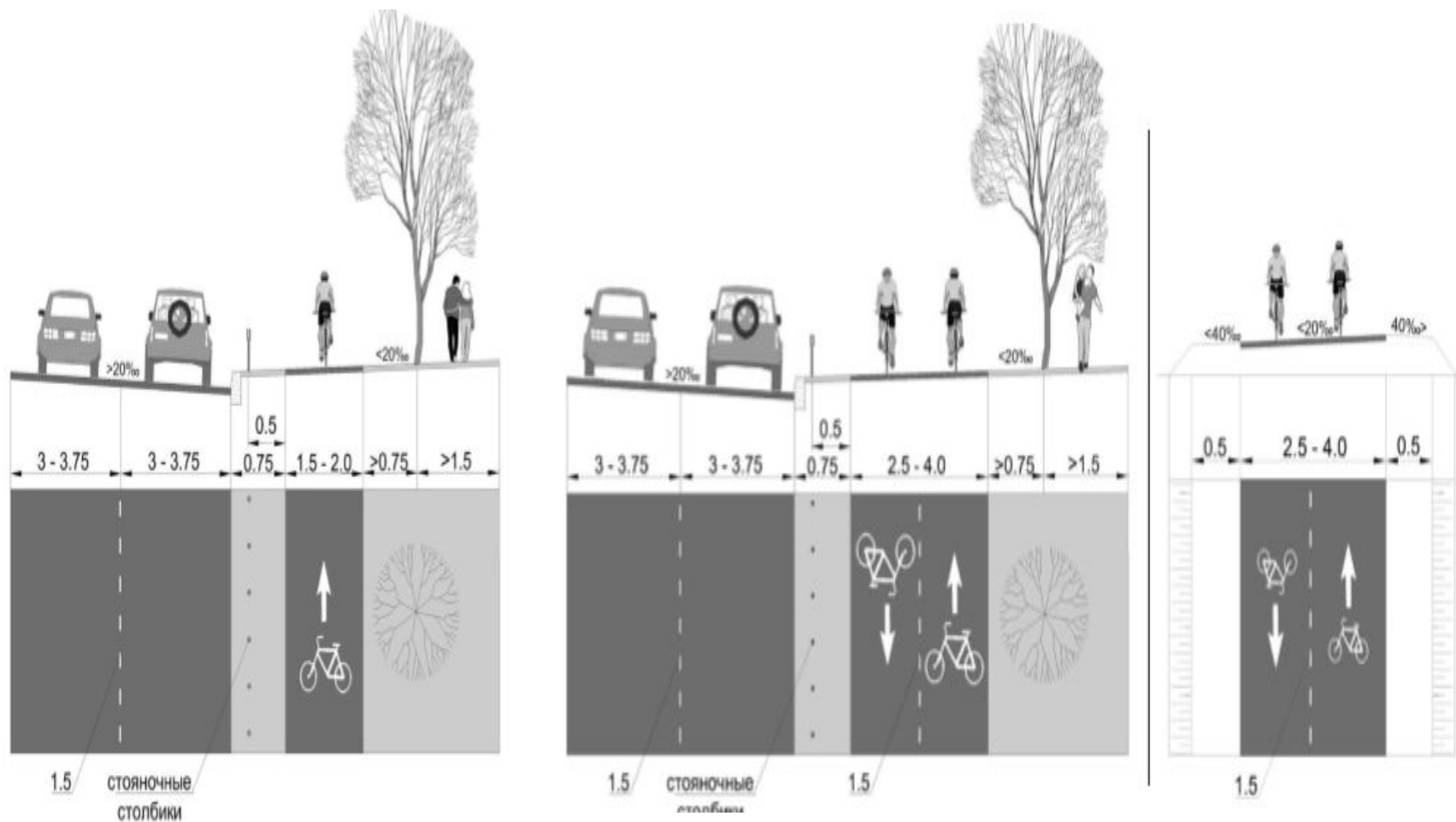
# Оценка эффективности функционирования систем экомобильности в городах

Галышев А. Б.

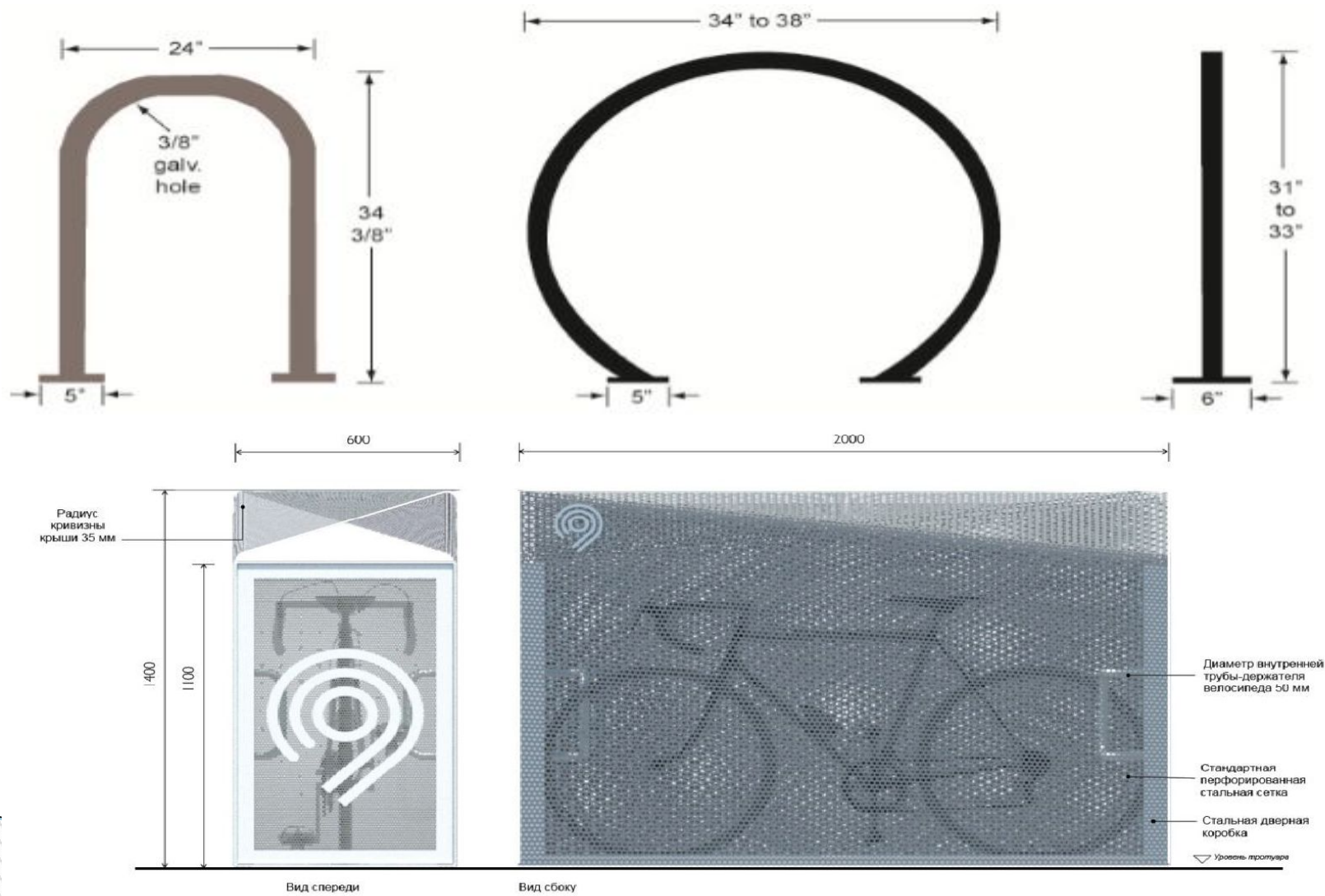
# Примеры организации совместного движения велотранспорта и автотранспорта



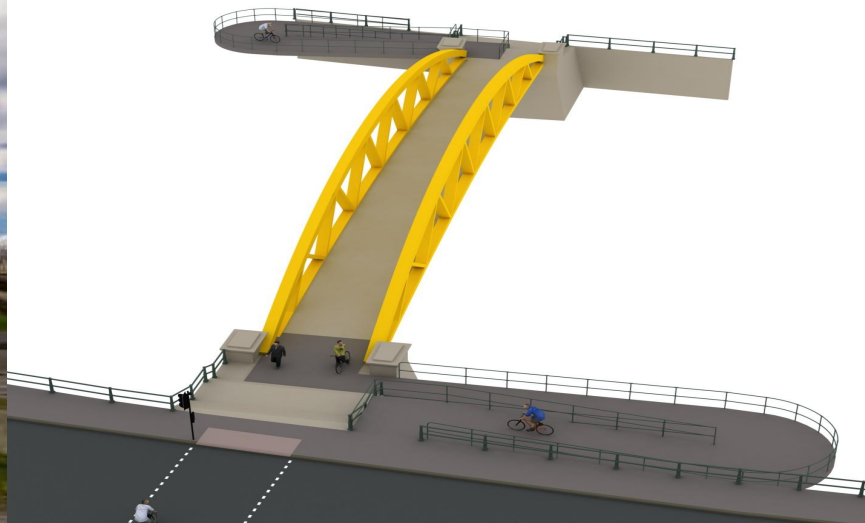
# Примеры организации раздельного движения велотранспорта и автотранспорта



# Типовые размеры велопарковок кратковременного и долговременного хранения



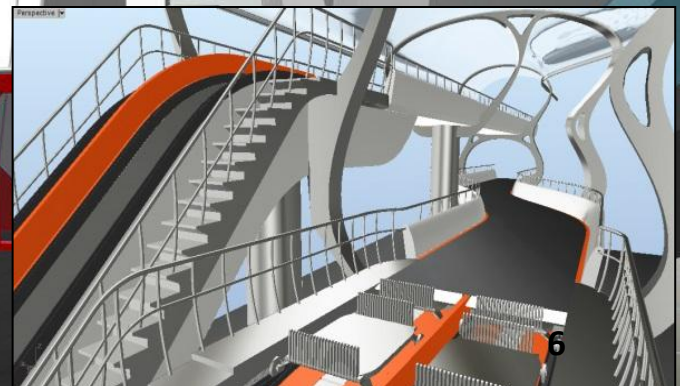
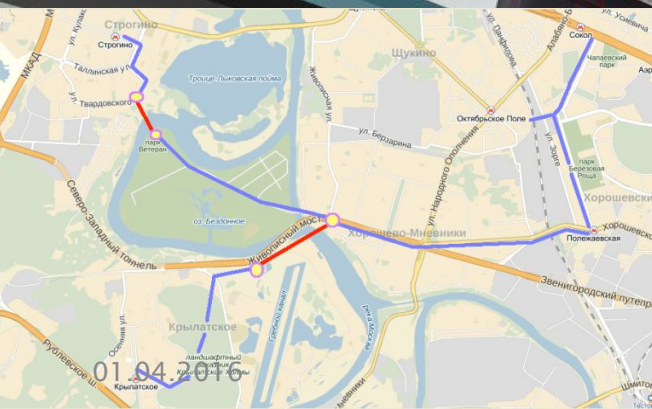
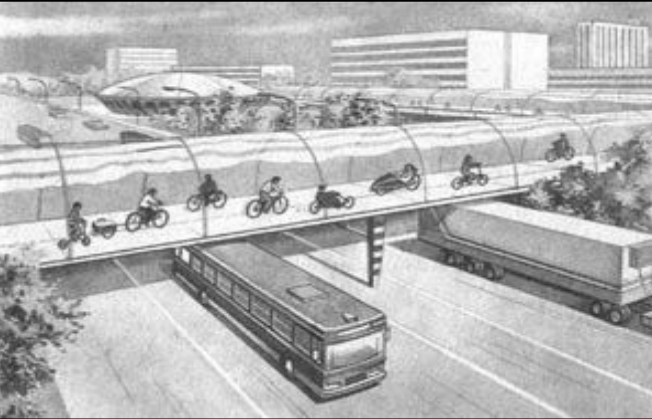
# Веломосты, велоэстакады, велотоннели



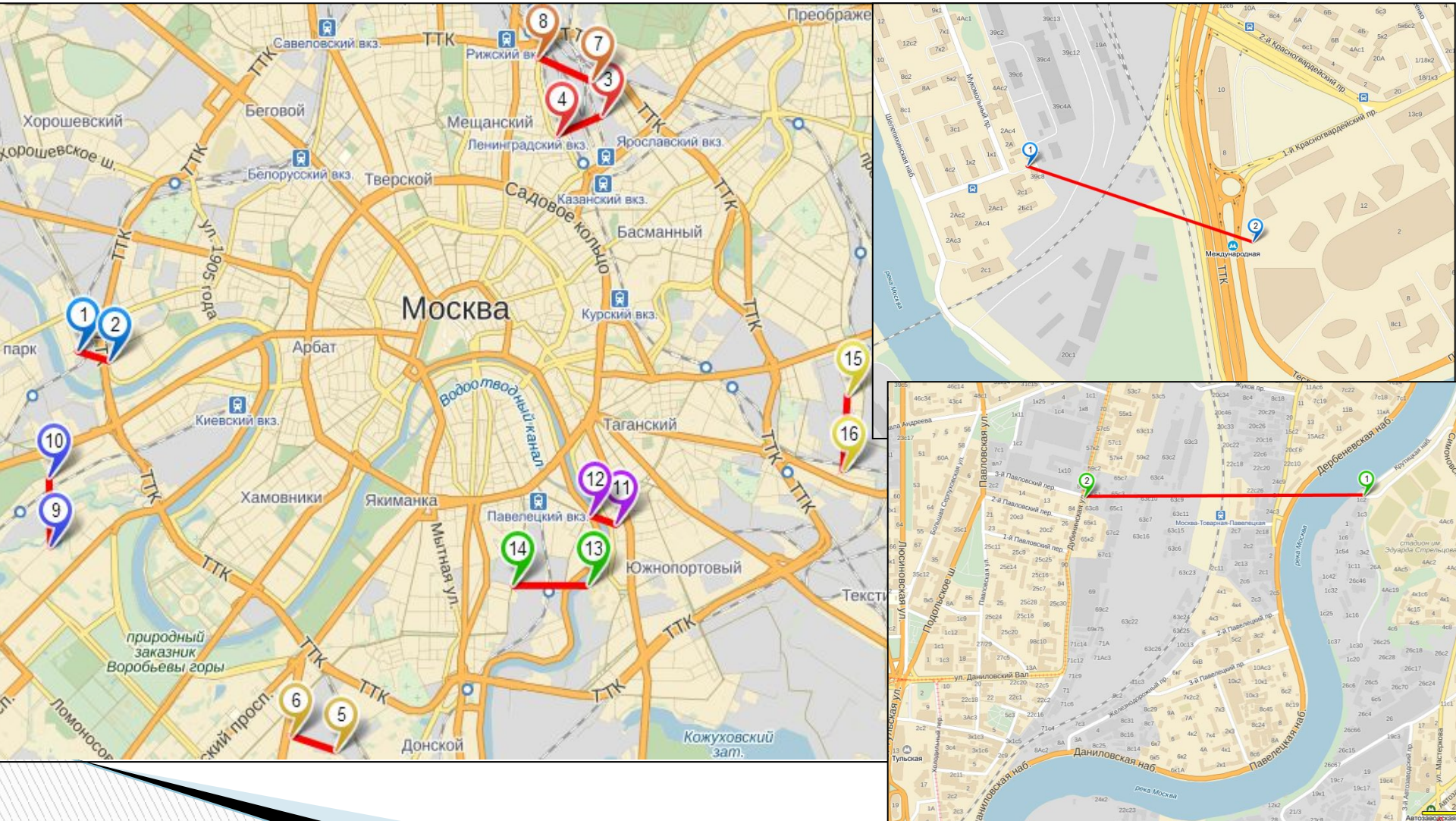
04.02.2015

# Пересечение преград на велосети - велополитен МАДИ (патент RU 141650 U1 и другие)

Велоэстакада сооружается над застройкой, ЖД путями, автомагистралями, водными преградами, обеспечивая **связность велосипедных путей**



# Схема некоторых велосипедных маршрутов с использованием велоэстакад



# Сравнительная оценка интегральных показателей оценки эффективности ВТИ

Показатель оценки	Преимущества	Недостатки
Критерий мобильности велосипедиста (КМВ)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Высокий уровень достоверности полученных результатов.</li> <li>2. Учтены как экологические, так и экономические показатели эффективности</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обилие данных, необходимых для проведения оценки.</li> <li>2. Обязательное наличие сравнительно развитой ВТИ.</li> </ol>
Индекс «Bike Score»	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Высокая точность расчетов.</li> <li>2. Возможность оценки как единичного веломаршрута, так и ВТС в целом.</li> <li>3. Возможность оценить перспективу развития ВТИ.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Высокая достоверность исходных данных.</li> <li>2. Оценки весомости объектов притяжения носят субъективный характер.</li> <li>3. Трудность использования в крупном городе.</li> </ol>
Критерий BLOS	Возможность с большой точностью оценить состояние отдельных элементов ВТИ.	Трудно использовать для оценки состояния ВТС в целом.
Велосипедный индекс совместимости (BCI)	Возможность с большой точностью оценить состояние отдельных элементов ВТИ.	Трудно использовать для оценки состояния ВТС в целом.
Метод BNAT	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Возможность с большой точностью оценить состояние отдельных элементов ВТИ.</li> <li>2. Возможность проектировать отдельные элементы ВТС согласно предпочтениям самих велосипедистов.</li> </ol>	Трудность использования в условиях недружественной для велосипедистов УДС.
Комплексный критерий экологической эффективности Рэф	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Возможность оценить эффективность как единичного веломаршрута, так и ВТС в целом.</li> <li>2. Возможность оценить эффективность ВТС по большому числу различных показателей.</li> <li>3. Возможность оценить эффективность ВТС на перспективу.</li> </ol>	Обилие данных, необходимых для проведения оценки и высокие требования к их достоверности.



# Блок-схема методики оценки эффективности и показателей экологической безопасности ВТС

Оценка эффективности велотранспортной сети по комплексному критерию

Показатель эффективности  $S_1$   
(Потеря времени на перемещение)

- Оценка эффективности единичного веломаршрута;
- Расчет величины  $\Delta t_{cp}$

Показатель эффективности  $S_2$   
(Снижение выбросов ЗВ АТС)

- Расчет объема ВТР;
- Расчет критерия  $\Delta(L \cdot N)$ ;
- ПК COPERT 4

Показатель эффективности  $S_3$   
(снижение расхода топлива АТС)

- Расчет объема ВТР;
- Расчет критерия  $\Delta(L \cdot N)$ ;
- ПК COPERT 4

Показатель эффективности  $S_4$   
(Снижение акустической нагрузки АТС на ОС)

- Экспериментальная оценка ШХТП до и после внедрения предлагаемых мероприятий;

Показатель эффективности и  $S_5$   
(Улучшение состояния здоровья населения)

- Расчет объема ВТР;
- ПК HEAT

Показатель эффективности и  $S_6$   
(Улучшение состояния дорожной безопасности)

- Расчет объема ВТР;
- ПК HEAT

Расчет критерия эффективности ВТС  $P_{эф}$  в зависимости от величины велотранспортной работы

# Снижение затрат времени перемещения за счет использования велотранспорта, $S_1$

- Оценка эффективности одиночного маршрута по времени преодоления маршрута

$$\Delta t = \sum_{n=1}^n (t_{In} - t_{FV}) = \sum_{n=1}^n (t_{In} - (\frac{3,6 \cdot L}{v} + \sum_{i=0}^m \tau_i \cdot c_i)) \longrightarrow \max$$

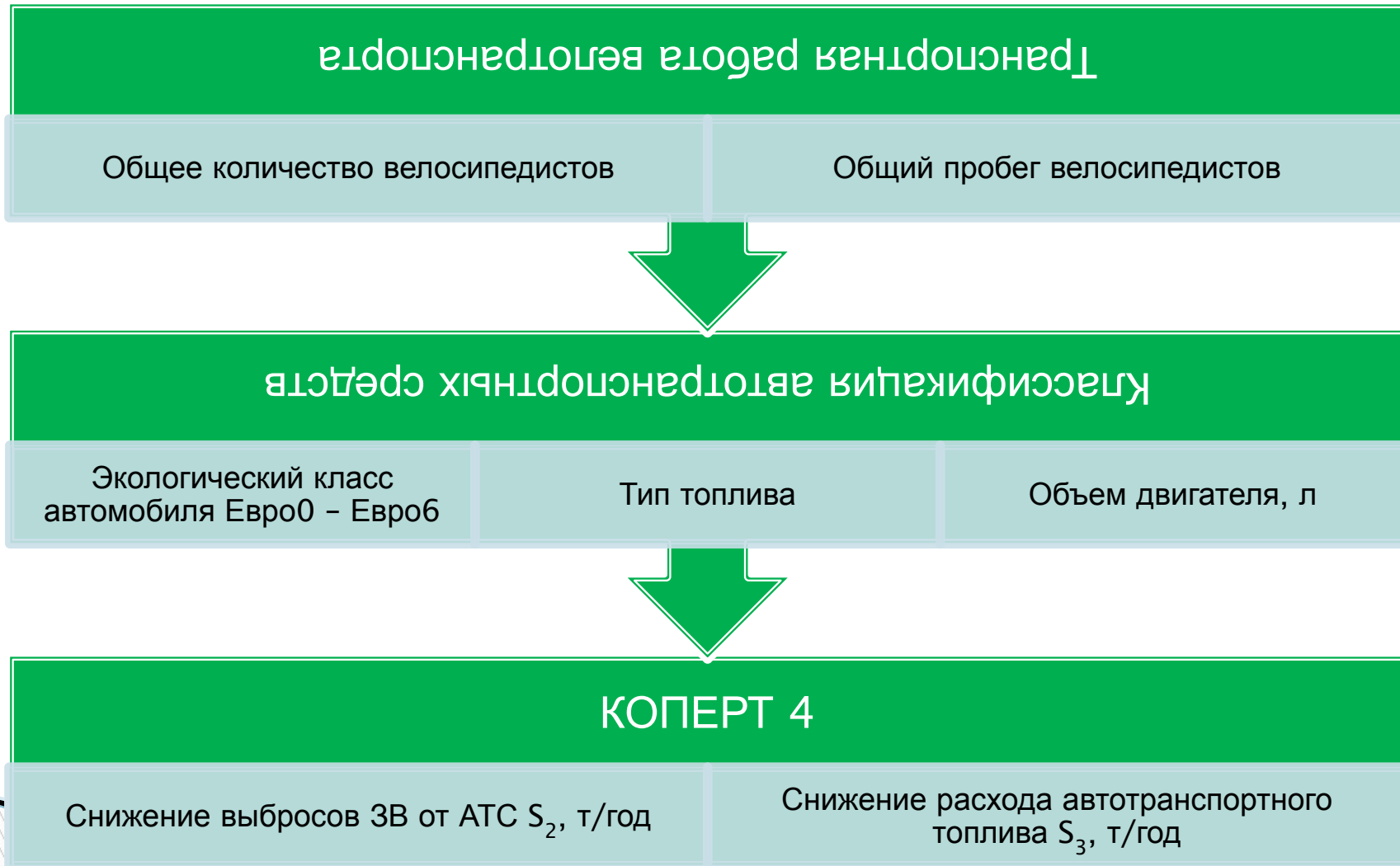
где  $\Delta t$  - экономия времени велосипедом по сравнению с  $i$ -м видом транспорта;  $t_{In}$  - время преодоления маршрута при помощи  $i$ -го вида транспорта;  $t_{FV}$  - фактическое время, затрачиваемое велосипедистом на преодоление маршрута, с;  $v$  - средняя скорость велосипедистов, м/с;  $L$  - длина маршрута, м;  $\tau_i$  - удельная норма потери времени велосипедистом на преодоление  $i$ -го препятствия;  $c_i$  - расчётная характеристика  $i$ -го препятствия на веломаршруте;  $m$  - количество препятствий на веломаршруте.

Общая величина сэкономленного пользователями ВТС путевого времени  $TS_t$  (ч./год) рассчитывается по формуле

$$TS_t = PTSR \cdot K_9 \cdot W_{y\partial}(T) \cdot L_{BTC} / 8760$$

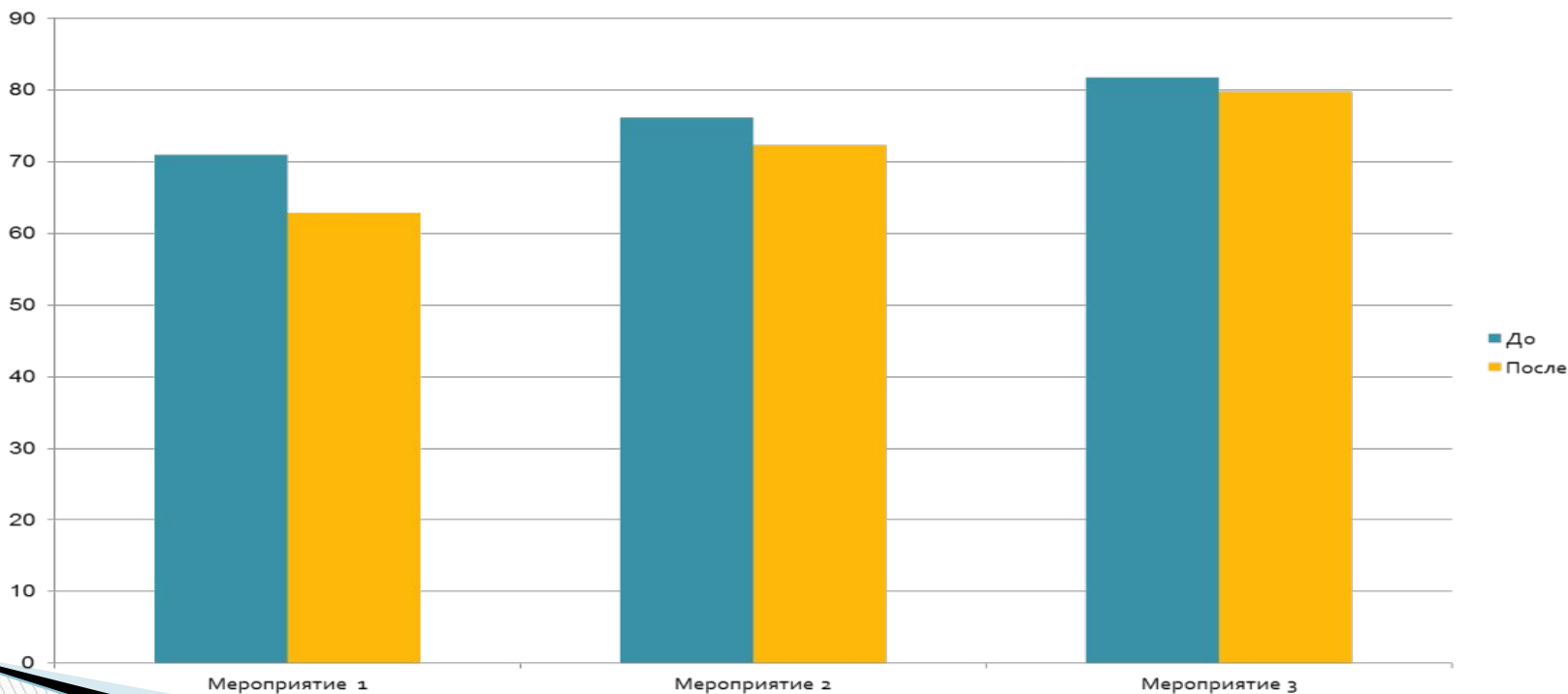
где  $PTSR$  - удельная экономия времени пользователями ВТС в расчете на единицу транспортной работы, выполненной велосипедным транспортом за год, час/VELO-км;  $K_9$  - коэффициент пространственно-планировочной эффективности, ВТС;  $W_{y\partial}(T)$  - удельный объём транспортной работы, выполняемой за время  $T$  на 1 км ВТС, пасс.км;  $L_{BTC}$  - протяженность ВТС, км.

# Оценка снижения выбросов ЗВ $S_2$ и потребления топлива $S_3$ автотранспортом за счет развития велосипедного движения в городах



## Оценка потенциального акустического эффекта от внедрения мероприятий по развитию велосипедного движения ( $S_4$ )

Наименование мероприятия	Название улицы	Интенсивность движения автотранспорта, авт./час	Эквивалентный уровень шума, дБ(А)
Перепланировка типичной городской улицы в велопешеходную зону	Большой Афанасьевский переулок	372	71,0
	Арбат	-	62,9
Ограничение скорости движения АТС на городской улице до 30 км/ч с организацией совмещённого автомобильно-велосипедного движения	Красноармейская улица	1032	76,1
	Калошин переулок	612	72,3
Устройство велосипедной дорожки (или велополосы) вместо крайней правой полосы проезжей части на улицах с различным количеством полос проезжей части.	Новый Арбат	6456	81,8
	Садовое кольцо (Смоленская площадь)	8805	79,8



# Оценка риска смерти людей от гиподинамии $S_5$ из-за отсутствия велосипедного движения в городах

Количество поездок в день  
 $X$   
Расстояние, проделанное за 1 поездку

Данные, введенные пользователем для исследуемого района

$\times$

Количество дней в год, когда совершались поездки на велосипедах  
 $X$   
Средняя скорость

Параметры, специфичные для данного района (значения по умолчанию, которые можно изменять)

=

Расстояние, преодоленное на велосипеде за год в исследуемом районе

Относительный риск смерти среди людей, использующих велосипед в качестве транспортного средства

$$1 - \left( \frac{\text{расстояние, преодоленное на велосипеде в исследуемом районе}}{\text{Расстояние, преодоленное на велосипеде в базовом районе}} * (1 - RR) \right)$$

# Оценка уровня безопасности велотранспортной инфраструктуры S<sub>6</sub>

Матрица степеней опасности для велосипедистов на прямолинейном участке сети (данные МАДИ)

Матрица степеней опасности для велосипедистов на перекрёстках (данные МАДИ)

Тип вело дорожки	Интенсивность движения, авт./ч						Скорост ь движен ия, км/ч
	<300	300...600	600...900	900...1200	1200...1500	>1500	
1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	≤30
2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	
4	0,15	0,15	0,2	0,2	0,25	0,3	
5	0,2	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	
6	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	
1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	30...40
2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	
4	0,2	0,2	0,25	0,25	0,3	0,35	
5	0,25	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	
6	0,3	0,4	0,5	0,5	0,55	0,55	
1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	40...50
2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	
4	0,25	0,25	0,3	0,35	0,4	0,4	
5	0,3	0,35	0,35	0,4	0,45	0,5	
6	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	
1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	50...60
2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
3	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	
4	0,3	0,35	0,35	0,4	0,45	0,5	
5	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	
6	0,35	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	

Тип велодорожки	Интенсивность движения, авт./ч						Тип пересечения
	<300	300...600	600...900	900...1200	1200...1500	>1500	
1							Круговое
2							
3							
4	0,4	0,45	0,45	0,5	0,55	0,6	
5	0,45	0,5	0,5	0,55	0,6	0,65	
6	0,45	0,45	0,5	0,6	0,65	0,7	
1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,3	0,3	Примыкание с дворовых территорий
2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,3	0,3	
3	0,25	0,25	0,25	0,25	0,3	0,3	
4	0,4	0,4	0,45	0,55	0,6	0,65	
5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,65	0,7	
6	0,4	0,4	0,55	0,65	0,7	0,75	
1	0,3	0,35	0,4	0,5	0,6	0,65	Т-образное
2	0,3	0,35	0,4	0,5	0,6	0,65	
3	0,3	0,35	0,4	0,5	0,6	0,65	
4	0,5	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	
5	0,55	0,5	0,55	0,6	0,65	0,75	
6	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	
1	0,35	0,4	0,5	0,55	0,6	0,7	Крестообразное
2	0,35	0,4	0,5	0,55	0,6	0,7	
3	0,35	0,4	0,5	0,55	0,6	0,7	
4	0,55	0,6	0,6	0,65	0,7	0,75	
5	0,6	0,65	0,65	0,7	0,75	0,8	
6	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	

Существуют 4 качественные ступени безопасности дорожного движения (от А до D):  
 (А) – безопасный (зеленый);  
 (В) – мало опасный (желтый);  
 (С) – опасный (оранжевый);  
 (D) – очень опасный (красный).

Для оценки опасности веломаршрутов выделены 4 диапазона степеней опасности:  
 - зелёный – безопасный ( $\sigma=0...0,2$ );  
 - жёлтый – малоопасный ( $\sigma=0,2...0,5$ );  
 - оранжевый – опасный ( $\sigma=0,5...0,7$ );  
 - красный – очень опасный ( $\sigma\geq 0,7$ ).

# Предлагаемая схема велотранспортной сети г. Москвы



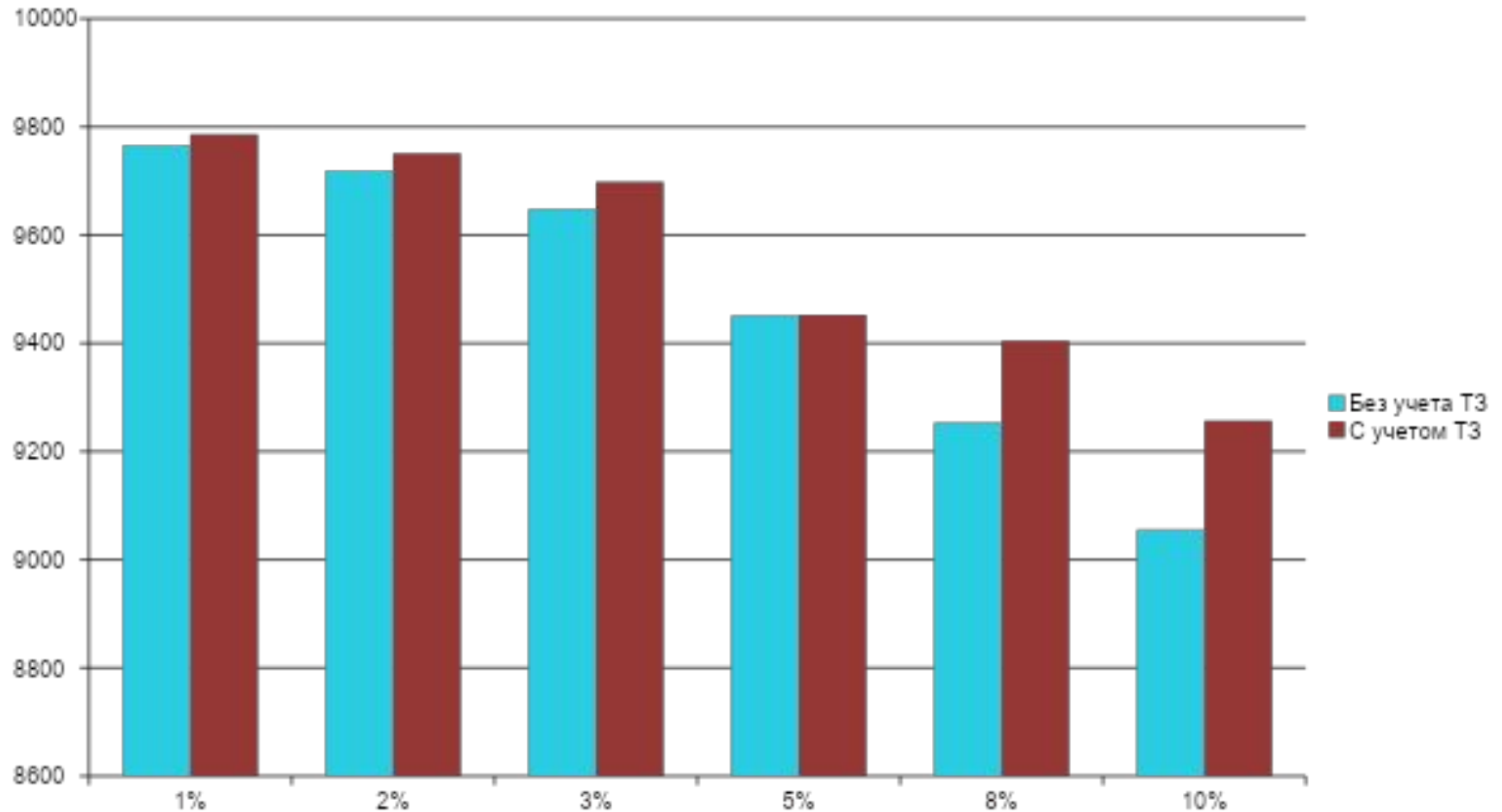
Общая протяженность  
ВТС: 600 км;

Средняя дальность  
поездки велосипедиста:  
10 км/сут;

Средняя плотность ВТС:  
0,46 км/кв. км;

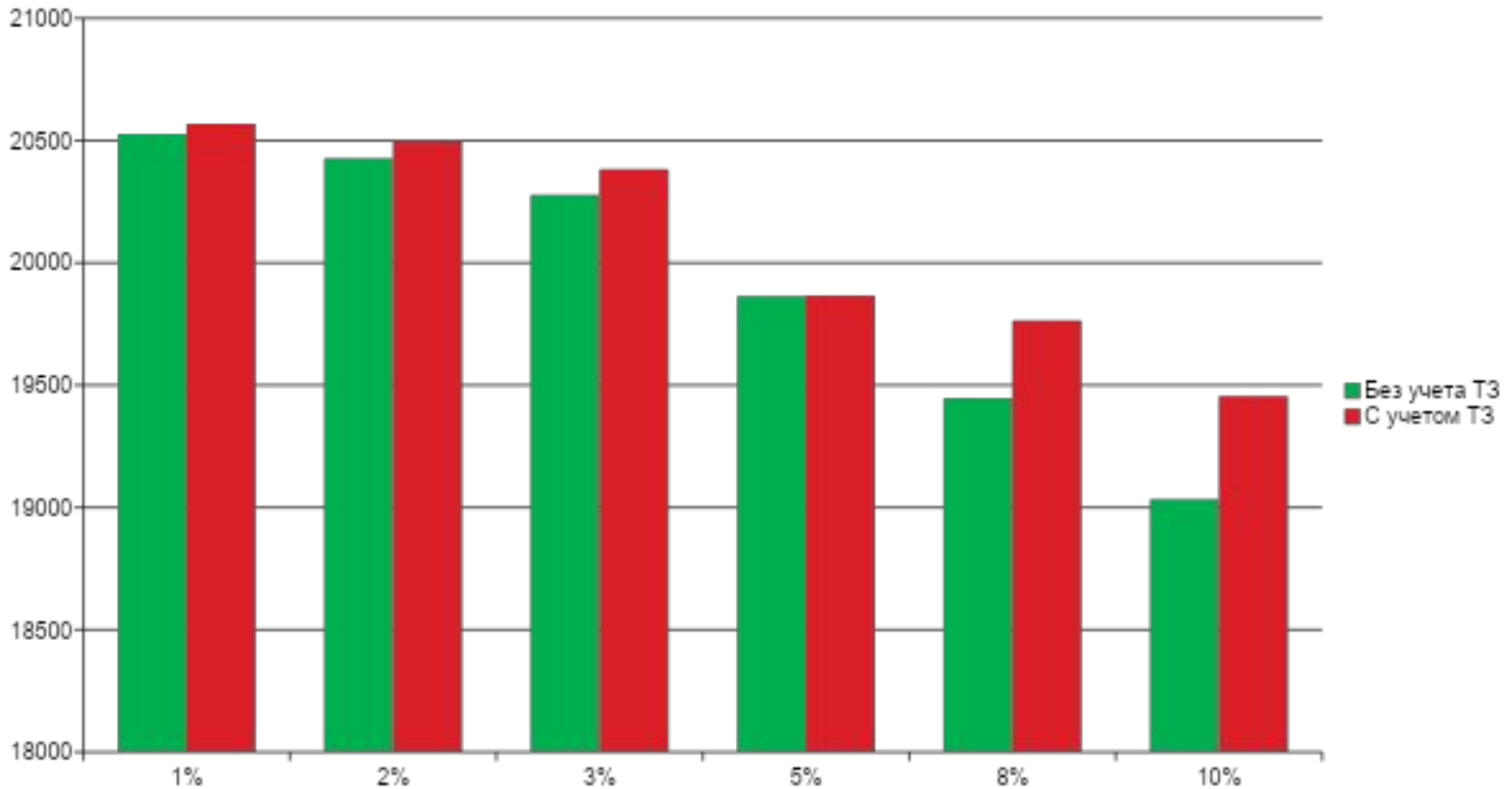
Расчетный объем  
велотранспортной  
работы: 941,8 млн вел.  
• км/год;

## Эффект от сокращения времени передвижения при эксплуатации ВТС, год/год ( $S_i$ )



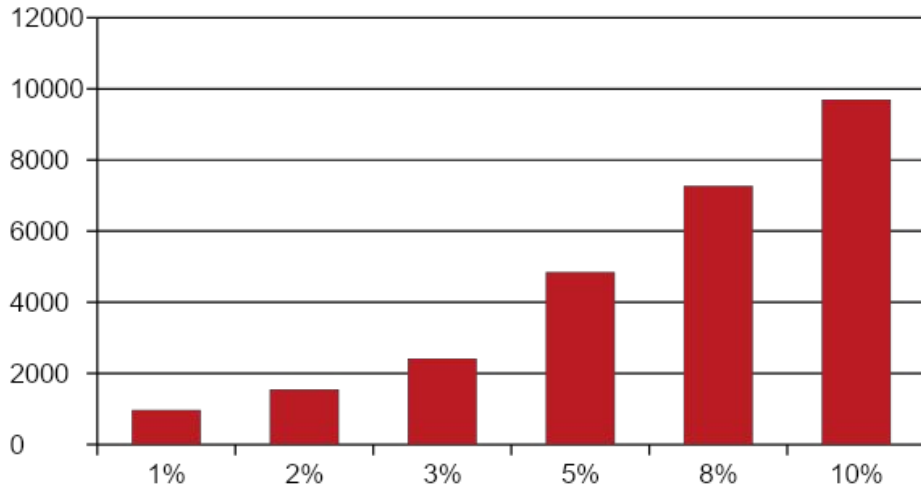


## Эффект от сокращения времени передвижения при эксплуатации ВТС, млн руб/год ( $S_1$ )

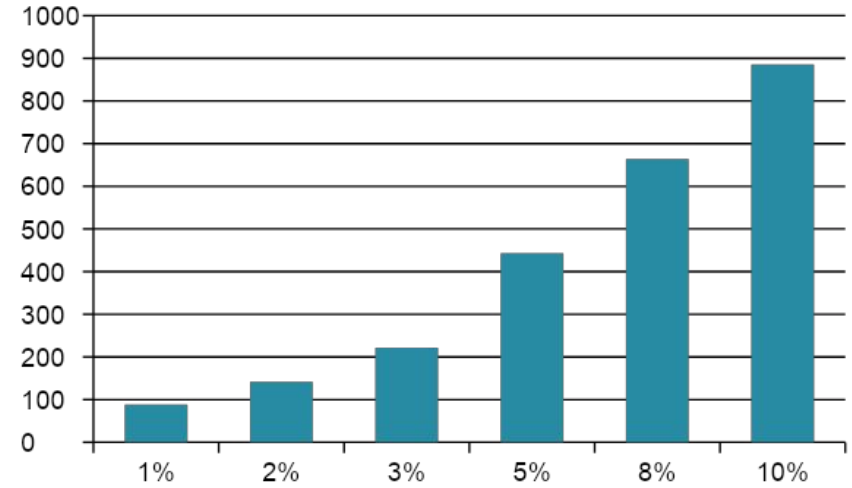


# Зависимость валовых выбросов ЗВ от АТС от доли транспортной работы, переключаемой с легковых ТС на велотранспорт, т/год (1) (S<sub>2</sub>)

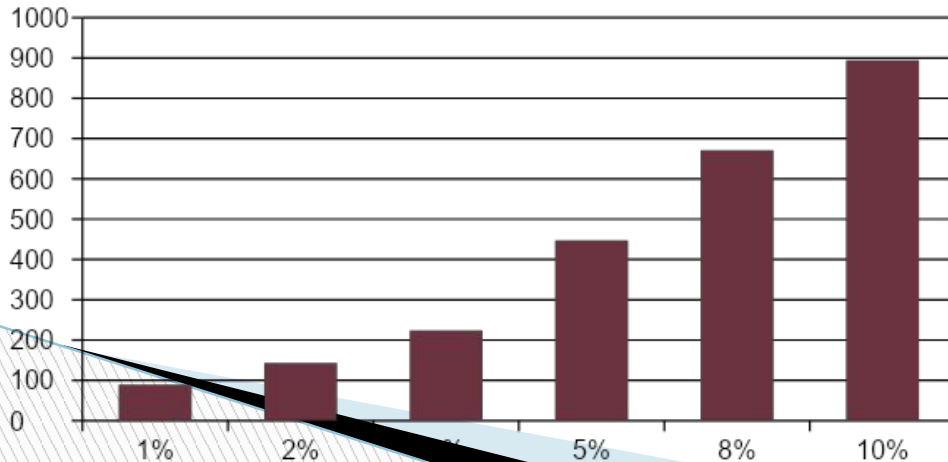
CO



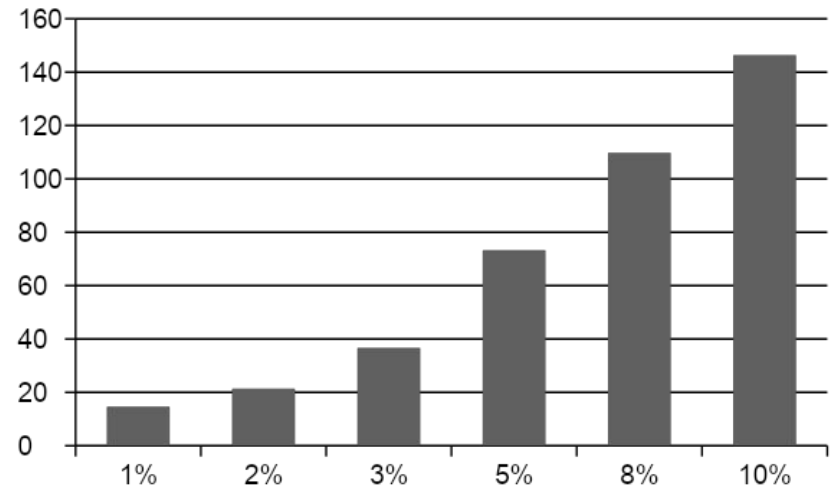
CH



NOx

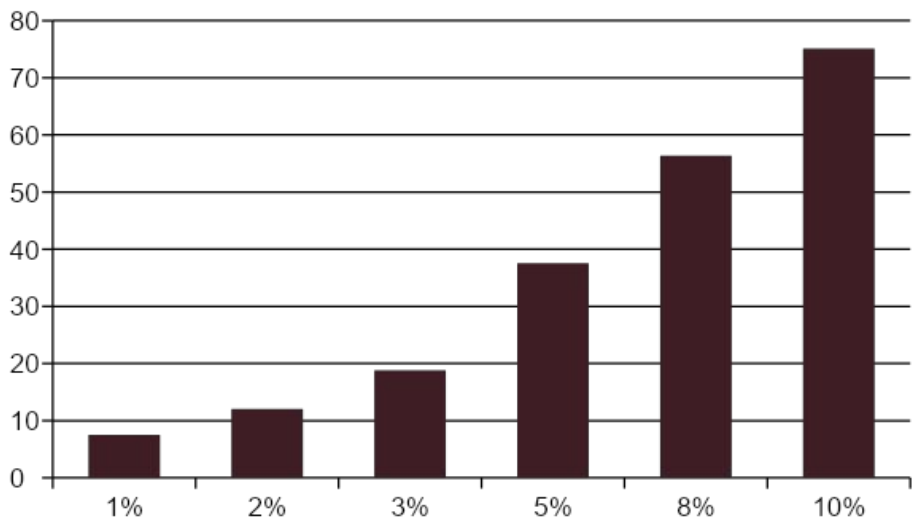


PM

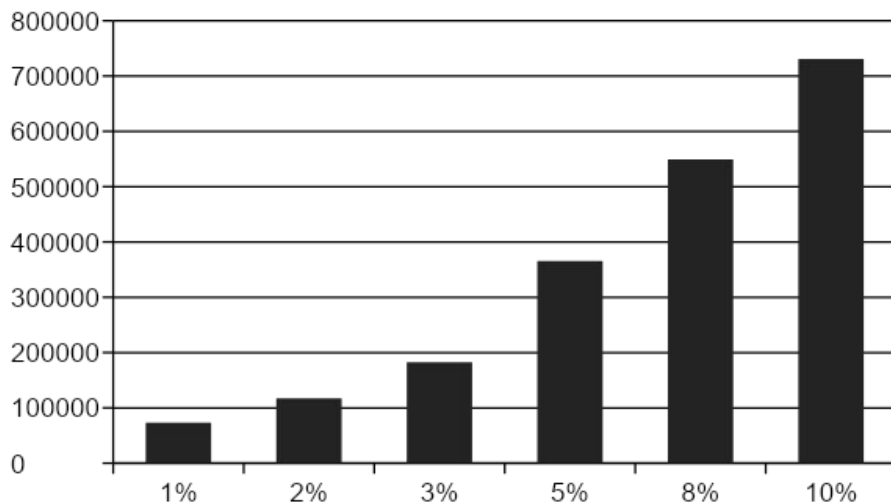


# Зависимость валовых выбросов ЗВ от АТС от доли транспортной работы, переключаемой с легковых ТС на велотранспорт, т/год (2) (S<sub>2</sub>)

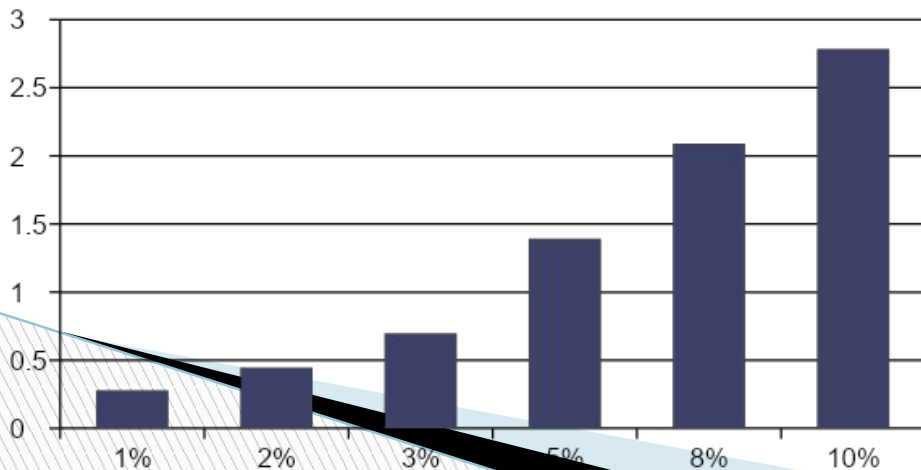
NH<sub>3</sub>



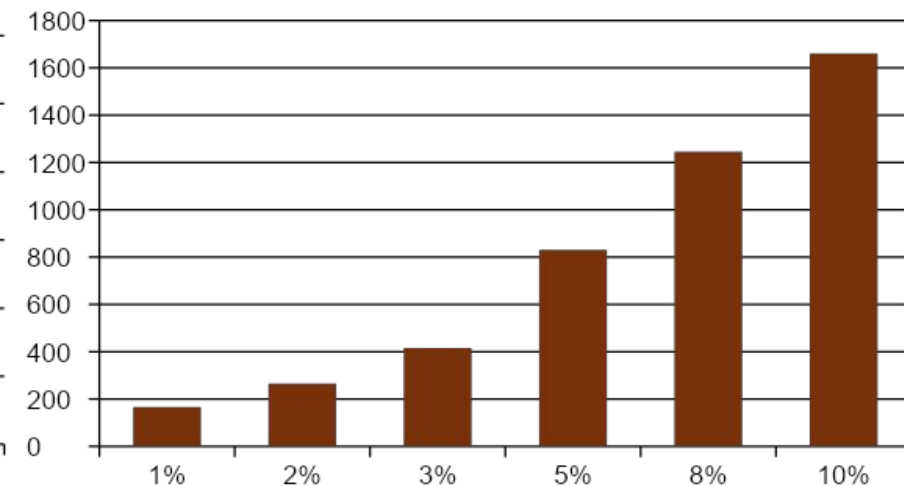
CO<sub>2</sub>



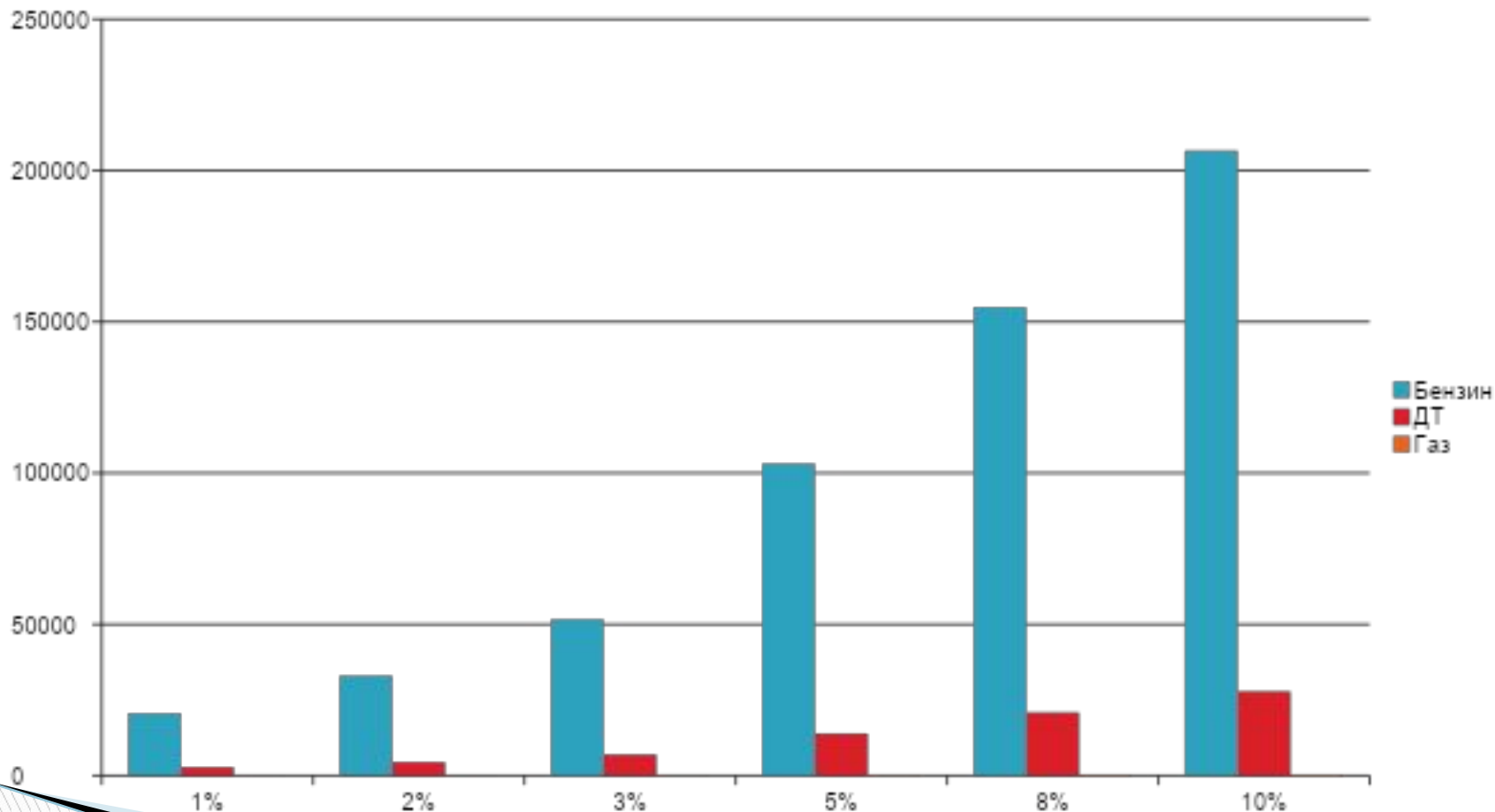
SO<sub>2</sub>



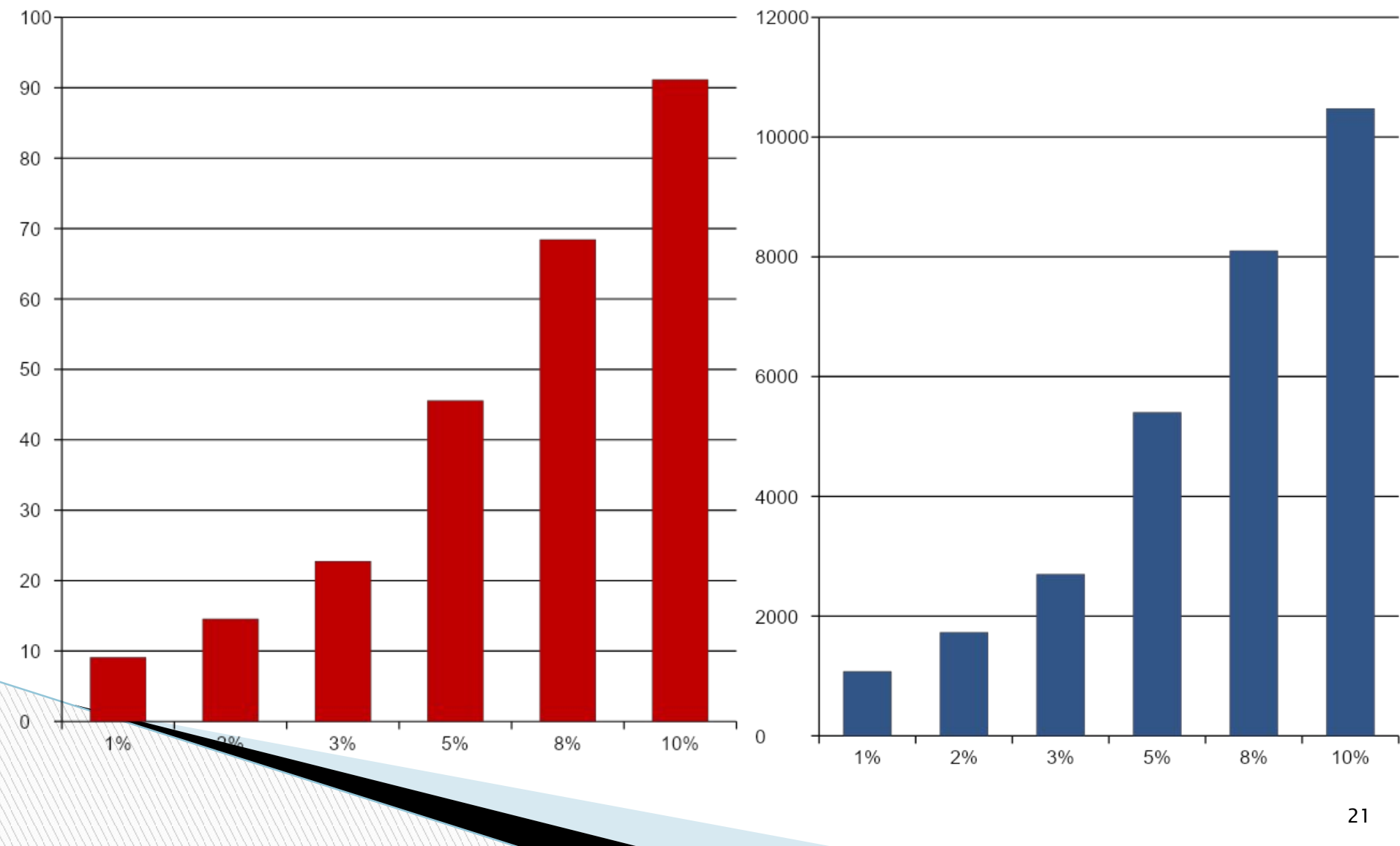
Тяжелые металлы



# Динамика снижения потребления транспортного топлива, т/год ( $S_3$ )



# Эффект от снижения выбросов ЗВ автотранспортом и потребления автотранспортного топлива, млн руб/год



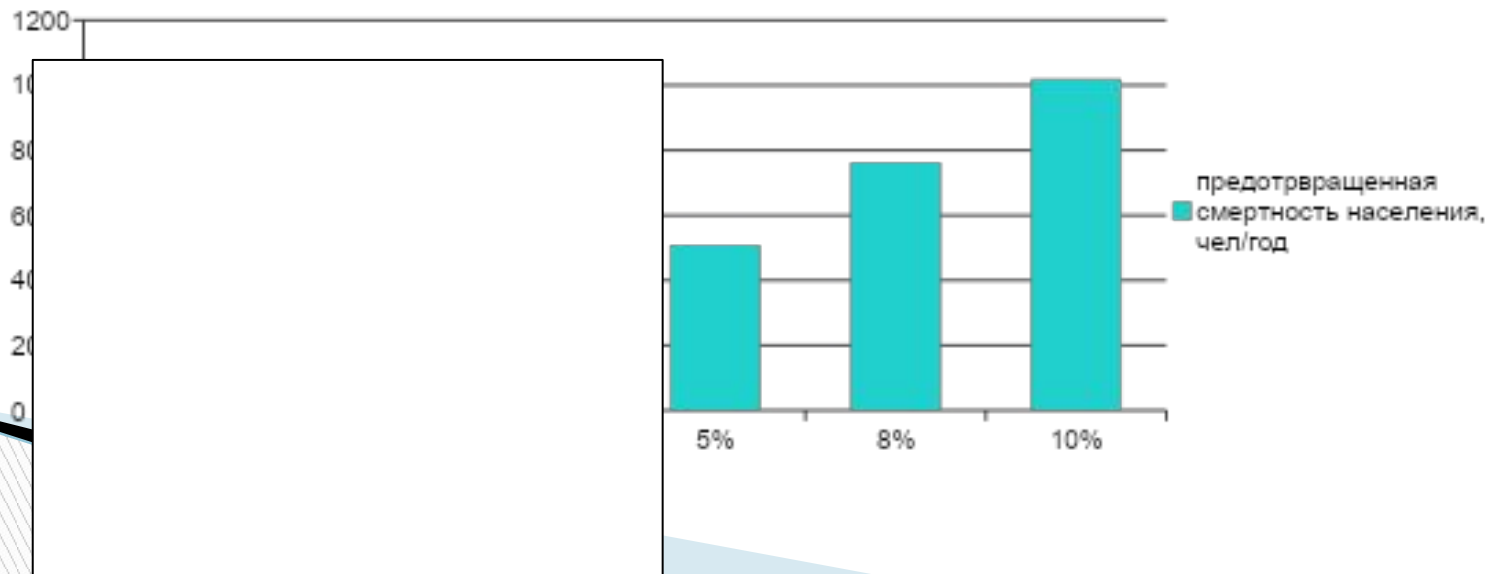
# Эффект от снижения уровня заболеваемости и смертности населения, чел/год

Исходные данные для расчета:

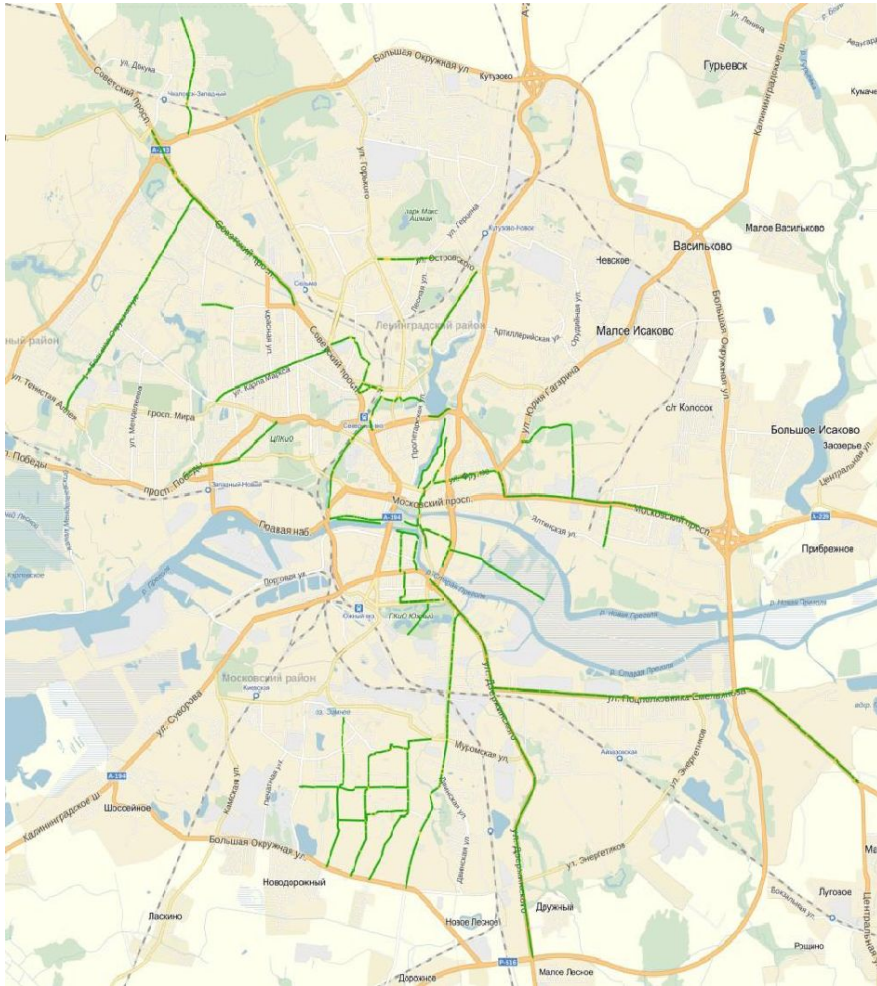
Относительный риск смерти велосипедиста  $RR = 0,72$ ; численность населения Москвы трудоспособного возраста  $P = 7$  млн. чел.; приблизительный уровень смертности населения в Москве на 1 января 2013 г. составил 980 чел. на 100000 населения в год. Таким образом, ежегодно в Москве умирает не менее 6860 человек, ведущих пассивный образ жизни.

Велосипедный транспорт активно используется примерно 6 месяцев (180 дней) в год. Среднее расстояние, преодолеваемое 1 велосипедистом в год 1800 км/год. Данный уровень велосипедизации ведет к снижению уровня смертности населения на 15%. Тогда при увеличении доли активных велосипедистов с 1 до 10% будет предотвращено от 100 до 1018 смертей от гиподинамии.

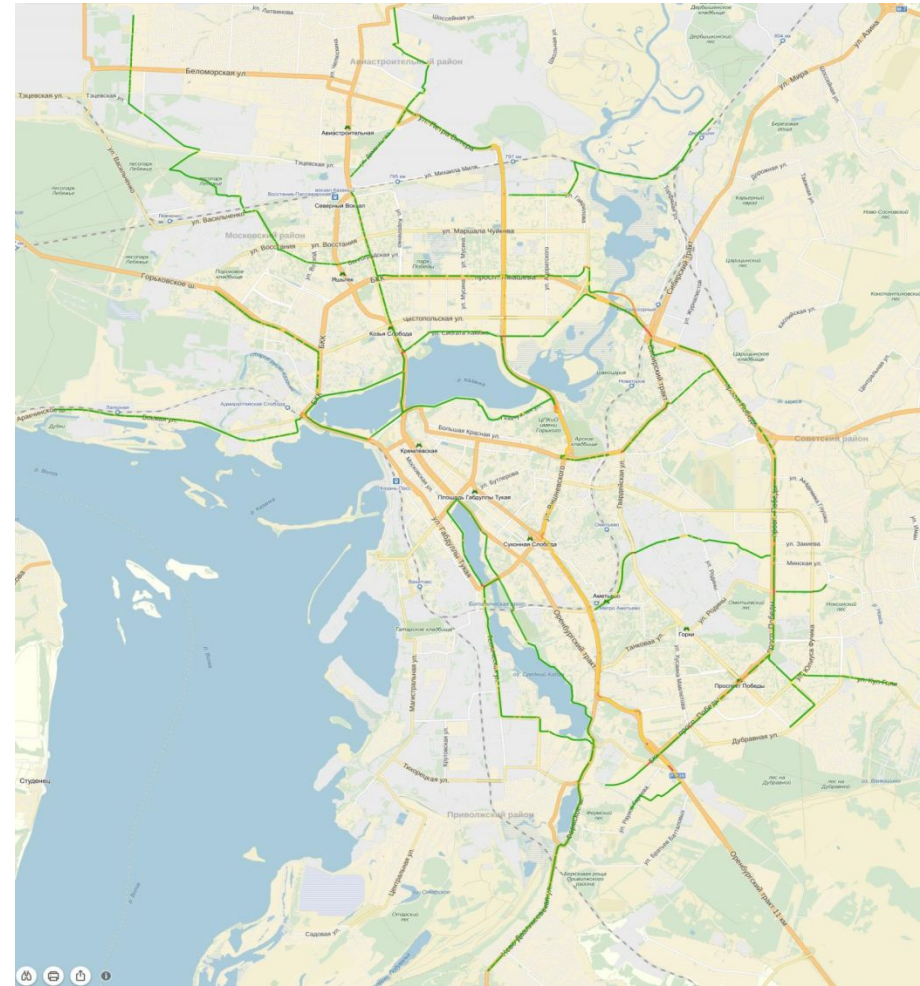
предотвращенная смертность населения, чел/год



# Результаты оценки безопасности велосипедной инфраструктуры г.г. Казани и Калининграда



Расчёты показали, что из 72,101 км перспективных маршрутов г. Калининграда 66,183 км будут безопасными, 4,534 км – малоопасными и 1,384 км – опасными.



Расчёты показали, что из 116,725 км перспективных маршрутов г. Казани 90,857 км будут безопасными, 19,605 км – малоопасными и 4,907 км – опасными и 1,356 км – очень опасными.

# Расчет комплексного критерия экологической эффективности

- Оценка эффективности велотранспортной сети по комплексному критерию

$$P_{эф} = \frac{S_1 \cdot \alpha_1 \dots S_n \cdot \alpha_n}{\alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n} \longrightarrow \max$$

где  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  – коэффициенты значимости  $i$ -го показателя снижения воздействия на ОС, достигаемого за счет развития велосипедного движения;  $S_{1,2,\dots,n}$  – относительные значения показателей эффективности:

**$S_1$  - снижение затрат времени перемещения за счет использования велосипеда;**

**$S_2$  - снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу;**

**$S_3$  - снижение величины потребления моторного топлива;**

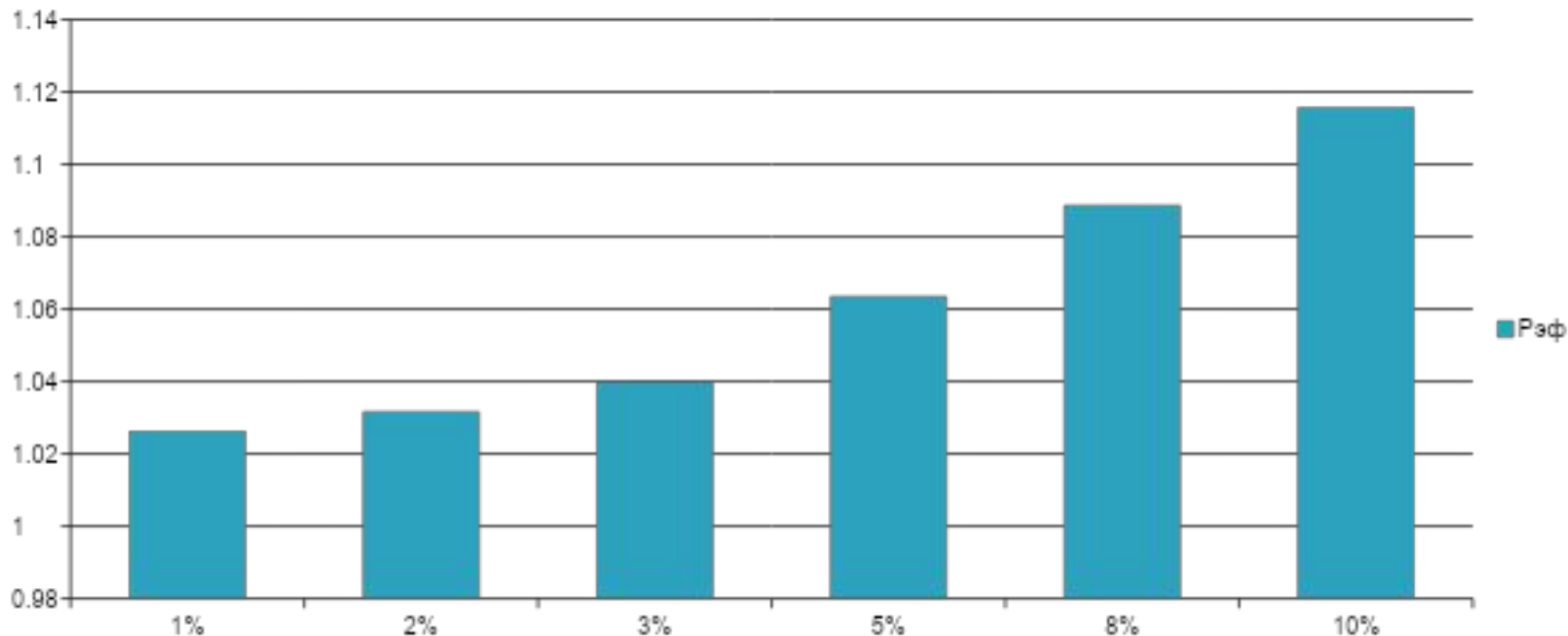
**$S_4$  - снижение уровня транспортного шума;**

**$S_5$  – снижение риска смертности людей от гиподинамии;**

**$S_6$  – снижение риска смертности людей от гиподинамии.**

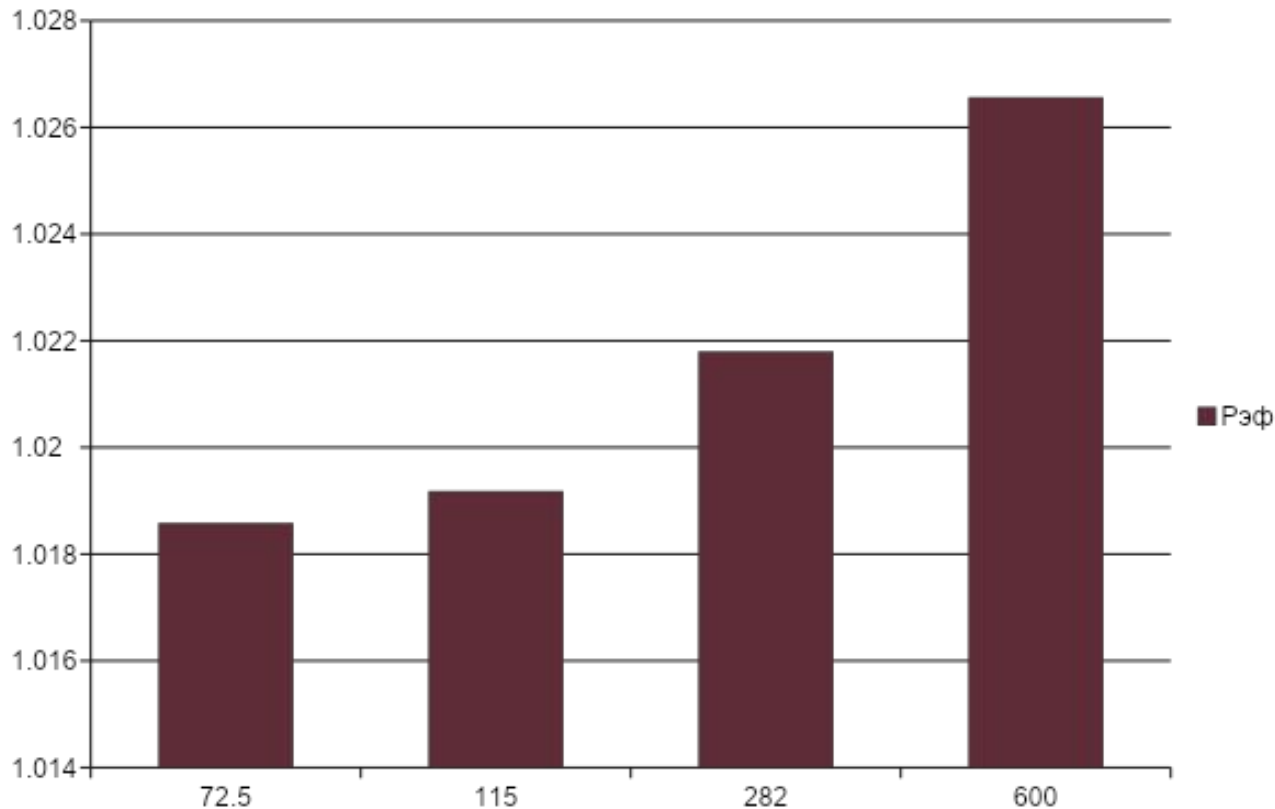


## Сравнительная оценка значений критерия $P_{эф}$ при разных уровнях развития велосипедного движения в крупном городе (в зависимости от величины велотранспортной работы)



Абсолютная величина  $P_{эф}$  меняется с 1,025 при снижении автотранспортной работы на 1% (при реализации предлагаемой ВТС) до 1,115 при снижении автотранспортной работы на 10% (показатели развитых стран). Следовательно, создание ВТС в крупном городе относится к числу высокоэффективных природоохранных мероприятий.

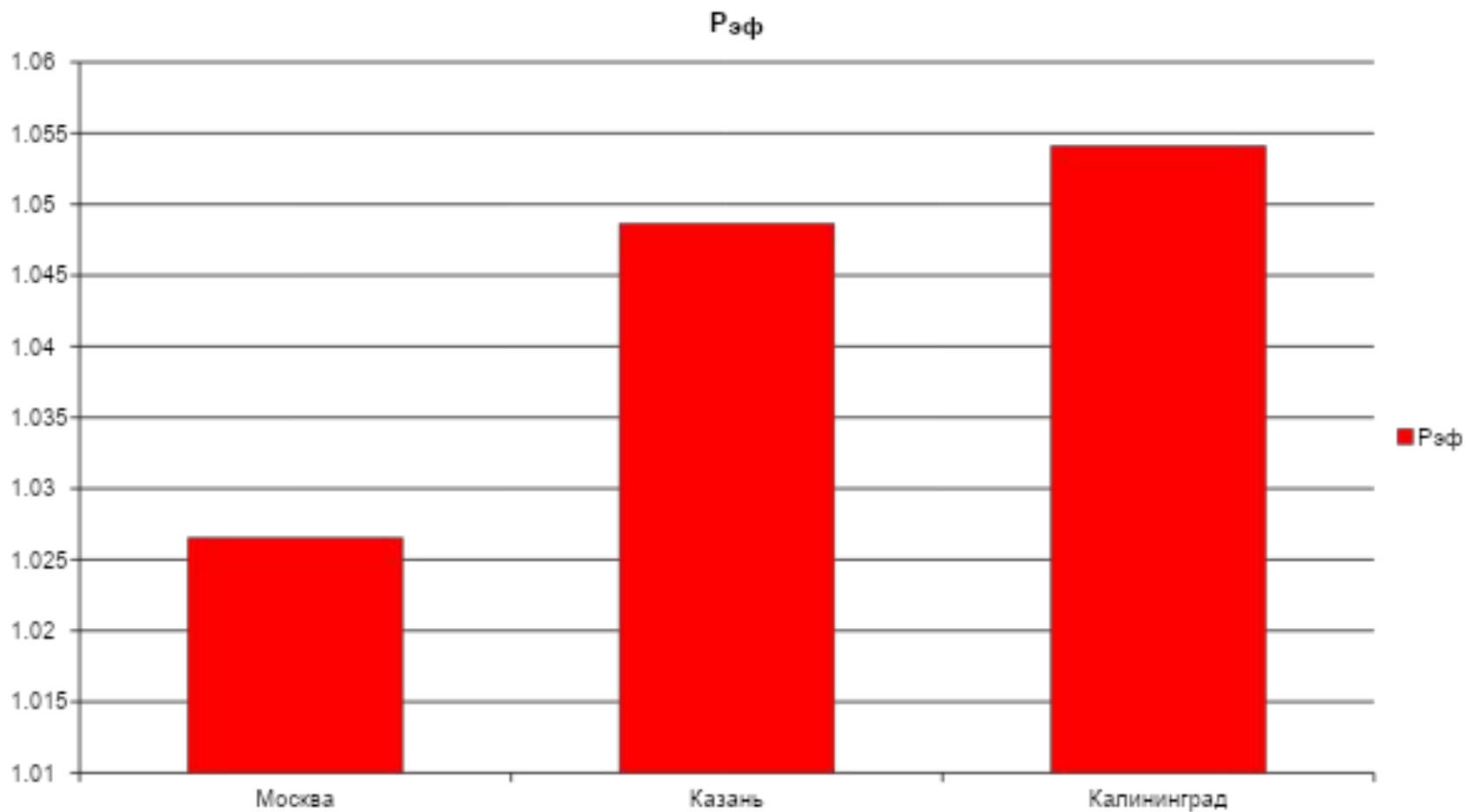
## Сравнительная оценка значений критерия $R_{эф}$ при разных уровнях развития велосипедного движения в крупном городе (в зависимости от протяженности ВТС)



Для расчета предлагаются следующие варианты ВТС:

- схема, предложенная для г. Москвы в соответствии с госпрограммой “Развитие транспортной системы на 2012-2016 годы” (72,5 км);
- схема МАДИ, 2014 г. (115 км);
- схема, предлагаемая департаментом транспорта г. Москвы, 2014 г. (282 км);
- оптимальная схема, разработанная в рамках данного исследования (600 км);

## Сравнительная оценка значений критерия $P_{эф}$ для ВТС разных городов



# Выводы

Таким образом, методика оценки эффективности системы экомобильности позволяет:

- 1. На основании оценки величины потенциального велотранспортного спроса выбрать наиболее приемлемый вариант ВТС;
- 2. Приблизительно определить величину велотранспортного спроса, возникающего при реализации определенного проекта ВТС;
- 3. Оценить эффект от развития велосипедного движения по комплексному критерию экологической эффективности Рэф.
- 4. Оценить эколого-экономическую эффективность создаваемой ВТС.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**

