

Московский автомобильно-дорожный  
государственный технический университет (МАДИ)



# Моделирование СИМ и дорожных ситуаций



Гаевский В.В., д.т.н., профессор кафедры Автомобиля, [www.vitval.ru](http://www.vitval.ru)

Москва 2024

# Компактный Транспорт (КоТ)

любой транспорт для перемещения одного или двух человек



Низкоскоростной,  $V_{max} < 14$  км/ч  
снаряженная масса  $< 20$  кг



Среднескоростной,  $V_{max} < 25$  км/ч  
снаряженная масса  $< 30$  кг

Не требуется никаких разрешающих документов для управления



↑ это СИМ

Высокоскоростной,  $V_{max} > 25$  км/ч,  
снаряженная масса  $< 50$  кг



↓  
Права категории М  
для управления  
(при выезде на  
дороги общего  
пользования)

Высокоскоростной,  $V_{max} > 25$  км/ч,  
снаряженная масса  $> 50$  кг



↓  
Это уже мототранспорт  
категорий L1-L7  
Права категории  
А, А1, В1 для управления

## После внесения правок в ПДД:

"Средство индивидуальной мобильности" - транспортное средство, имеющее одно или несколько колес (роликов), предназначенное для индивидуального передвижения человека посредством использования двигателя (двигателей) (электросамокаты, электроскейтборды, гироскутеры, сигвеи, моноколеса и иные аналогичные средства).";

"24.6. Движение лиц, использующих для передвижения средства индивидуальной мобильности, разрешается со скоростью не более 25 км/ч.

## Ограничение массы:

"24.2<sup>1</sup>. Допускается движение лиц в возрасте старше 14 лет, использующих для передвижения средства индивидуальной мобильности:

в пешеходной зоне - в случае, если масса средства индивидуальной мобильности **не превышает 35 кг**;

по тротуару, пешеходной дорожке - в случае, если масса средства индивидуальной мобильности **не превышает 35 кг**,

## Я предлагаю формулировку термина СИМ в следующем виде:

"Средство индивидуальной мобильности" - транспортное средство, максимальная конструктивная скорость которого не превышает 25 км/ч и снаряженной массой не более 35 кг, имеющее одно или несколько колес (роликов), предназначенное для индивидуального передвижения человека посредством использования двигателя (двигателей).

# Термин СИМ – проблемы и неточности



Уже не СИМ,  
но КоТ

Теперь это СИМ  
с разрешенной скоростью не более 25 км/ч!



# Типичные опасности для СИМ



ГОСТ Р 70514-2022 «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ. Технические требования и методы испытаний» (ЭСИМ)

**В ГОСТ Р совершенно не отражены опасности, связанные с неустойчивостью ЭСИМ**

Высокий центр тяжести приводит к высокой вероятности падения вперед при торможении.



Падение при маневре



Падение при резком разгоне

Круглогодичная эксплуатация добавляет еще целый ряд опасных ситуаций, которые надо учитывать: плохая видимость, низкое сцепление с дорогой и т.д.



# Основные проблемы безопасности связанные с СИМ

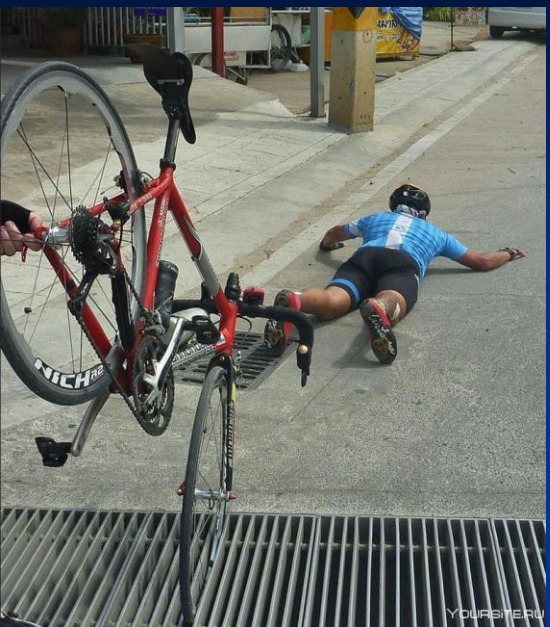


6

## Столкновения, падения

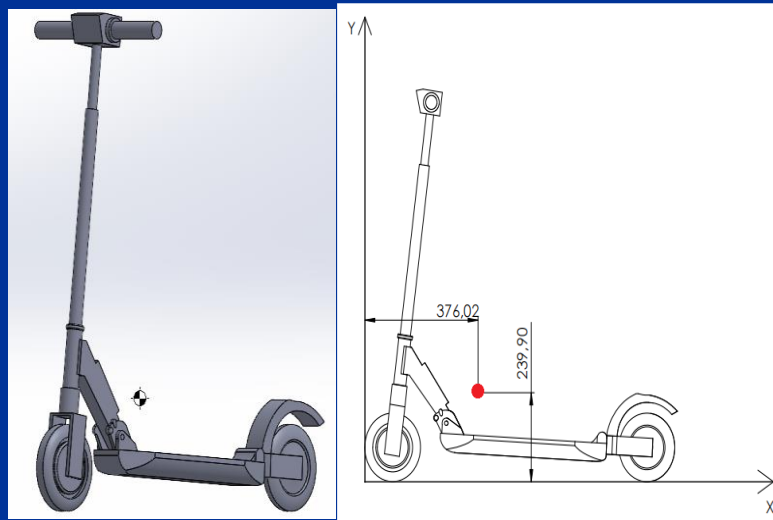
1. Несоответствие скоростей движения с потоками:
  - на дороге – с автомобилями;
  - на велодорожке – с велосипедами;
  - на тротуаре – с пешеходами
2. Плохое дорожное покрытие – малый диаметр колес
3. Высокий центр тяжести (перемещение стоя ) – низкая устойчивость
4. Низкая устойчивость на месте и на малых скоростях
5. Низкая видимость в потоке. **Бесшумность**
6. **Плохие навыки управления и плохое знание ПДД**
7. **Отсутствие инфраструктуры (выделенных полос, ограждений, разведение потоков, съездов/въездов, пересечений)**

# Типичные опасности для СИМ

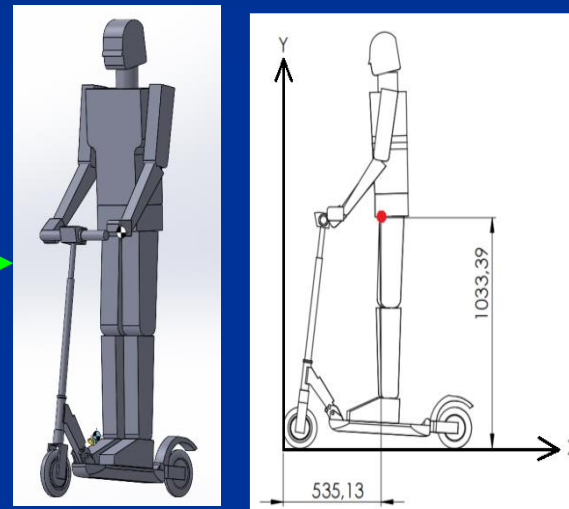
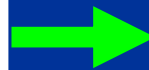




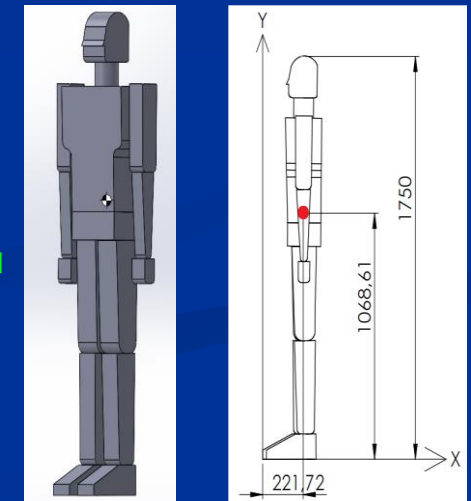
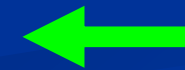
# Пример расположения центра масс у СИМ и человека



Электросамокат  
с расположением ЦМ



Сборочный чертеж  
электросамоката с  
человеком



3D модель  
человека  
с указанием ЦМ





# Теоретически рассчитанная область центров масс при замедлении 5,14 м/с<sup>2</sup>

Возможность опрокидывания по условию сцепления колёс с дорогой

$$\varphi_x \geq \frac{a}{h}$$

1,5	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7
1,4	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8
1,3	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8
1,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9
1,1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
0,9	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
0,8	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4
0,7	0,1	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0	1,1	1,3	1,4	1,6
0,6	0,2	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,2	1,3	1,5	1,7	1,8
0,5	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
0,4	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,3	2,5	2,8
0,3	0,3	0,7	1,0	1,3	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,3	3,7
0,2	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
0,1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1

Критическое замедление для опрокидывания

$$j_{\text{торм. крит}} = \frac{g \cdot a}{h}$$

Стоя:  
 $a - 0,54$   
 $h - 1,03$   
 $\varphi_x - 0,8$   
 $0,8 \geq 0,52$

**Опрокинется**

Сидя:  
 $a - 0,7$   
 $h - 0,77$   
 $\varphi_x - 0,8$   
 $0,8 \geq 0,9$

**Опрокидывание невозможно**

Белая линия – ограничение по габаритам СИМ; Синяя линия – область ограничивающая положение водителя сидя; Красная – опрокидывание; Желтая – высокая вероятность опрокидывания; Зеленая – опрокидывание невозможно;



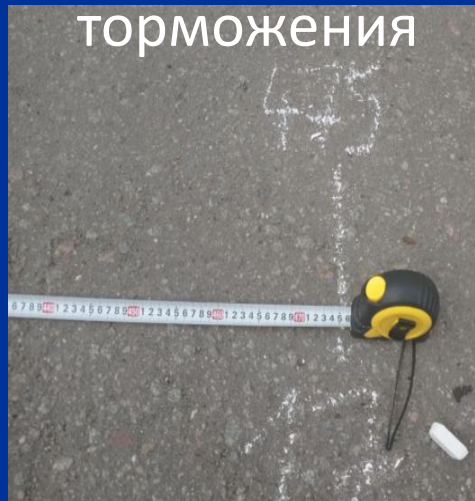
# Экспериментальное нахождение замедления электросамоката



Начало  
торможения



Линия начала  
торможения



Полная остановка  
при скорости 17 км/ч

Замер тормозного пути при скорости 17 км/ч



# Экспериментально рассчитанная область центров масс при замедлении $2,3 \text{ м/с}^2$

2,1	0,05	0,10	0,14	0,19	0,24	0,29	0,33	0,38	0,43	0,48	0,52
2	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55
1,9	0,05	0,11	0,16	0,21	0,26	0,32	0,37	0,42	0,47	0,53	0,58
1,8	0,06	0,11	0,17	0,22	0,28	0,33	0,39	0,44	0,50	0,56	0,61
1,7	0,06	0,12	0,18	0,24	0,29	0,35	0,41	0,47	0,53	0,59	0,65
1,6	0,06	0,13	0,19	0,25	0,31	0,38	0,44	0,50	0,56	0,63	0,69
1,5	0,07	0,13	0,20	0,27	0,33	0,40	0,47	0,53	0,60	0,67	0,73
1,4	0,07	0,14	0,21	0,29	0,36	0,43	0,50	0,57	0,64	0,71	0,79
1,3	0,08	0,15	0,23	0,31	0,38	0,46	0,54	0,62	0,69	0,77	0,85
1,2	0,08	0,17	0,25	0,33	0,42	0,50	0,58	0,67	0,75	0,83	0,92
1,1	0,09	0,18	0,27	0,36	0,45	0,55	0,64	0,73	0,82	0,91	1,00
1	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10
0,9	0,11	0,22	0,33	0,44	0,56	0,67	0,78	0,89	1,00	1,11	1,22
0,8	0,13	0,25	0,38	0,50	0,63	0,75	0,88	1,00	1,13	1,25	1,38
0,7	0,14	0,29	0,43	0,57	0,71	0,86	1,00	1,14	1,29	1,43	1,57
0,6	0,17	0,33	0,50	0,67	0,83	1,00	1,17	1,33	1,50	1,67	1,83
0,5	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20
0,4	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75
0,3	0,33	0,67	1,00	1,33	1,67	2,00	2,33	2,67	3,00	3,33	3,67
0,2	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50
0,1	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00
0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1

Стоя:

$a - 0,52$

$h - 1,03$

$\varphi_x - 0,23$

$0,23 \geq 0,52$

**Опрокидывание**

**невозможно**

Сидя:

$a - 0,7$

$h - 0,77$

$\varphi_x - 0,23$

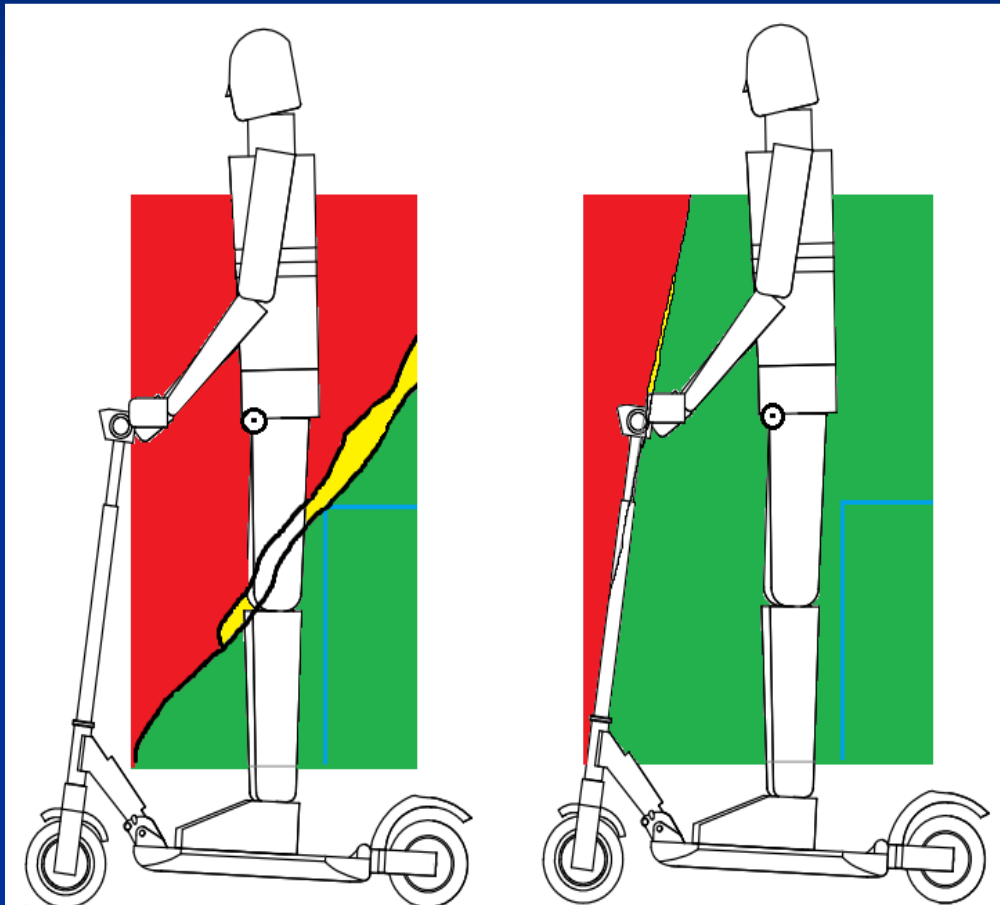
$0,23 \geq 0,9$

**Опрокидывание**

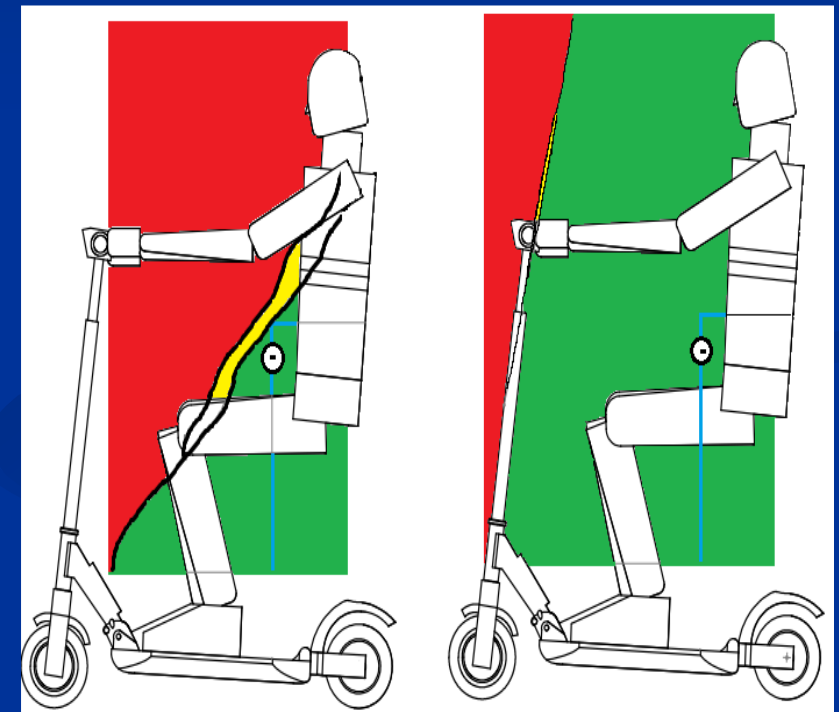
**невозможно**

Белая линия – ограничение по габаритам СИМ; Синяя линия – область ограничивающая положение водителя сидя; Красная – опрокидывание; Желтая – высокая вероятность опрокидывания; Зеленая – опрокидывание невозможно;

# Наглядное изображение расчетных и теоретических областей центров масс



Положение стоя при  
замедлении 5,14 и 2,30 м/с<sup>2</sup>

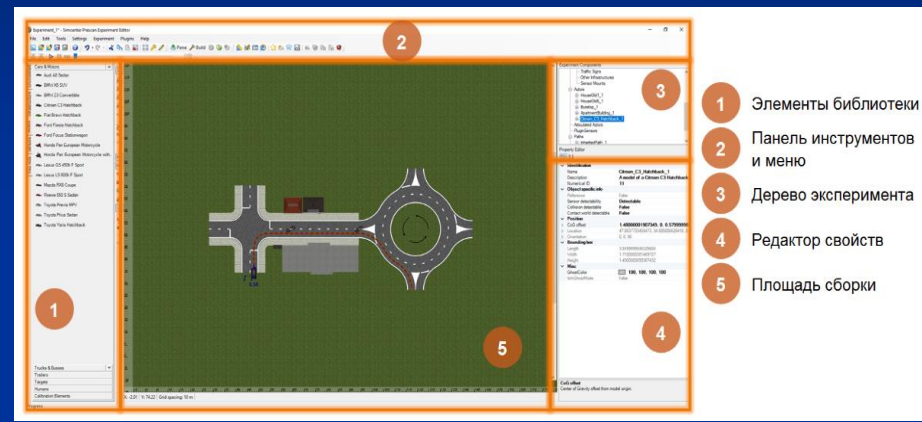


Сидячее положение  
при замедлении 5,14 и 2,30 м/с<sup>2</sup>

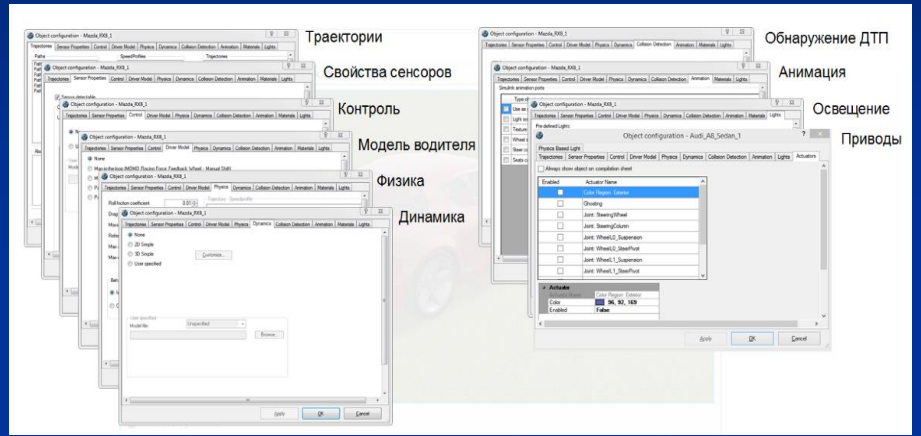
# Программно-аппаратный комплекс (ПАК) на базе ПО Siemens PreScan



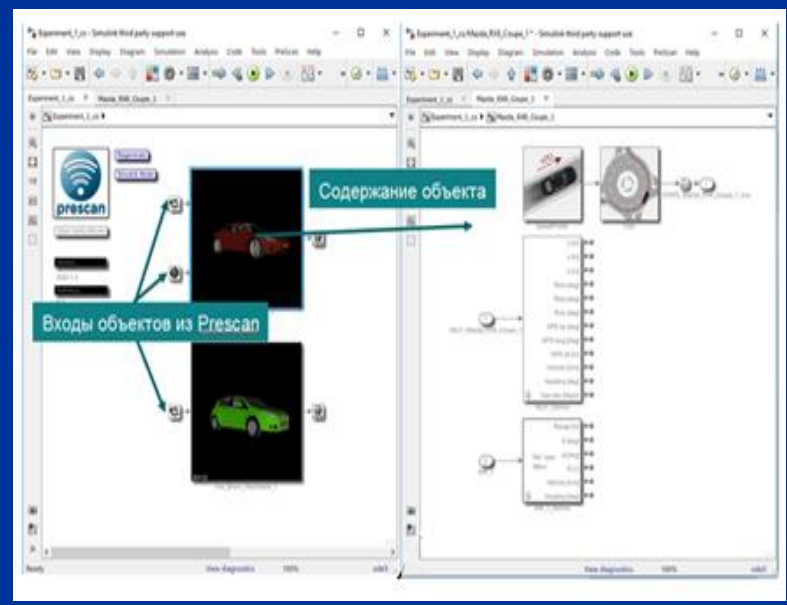
## 1. Конструктор сценариев



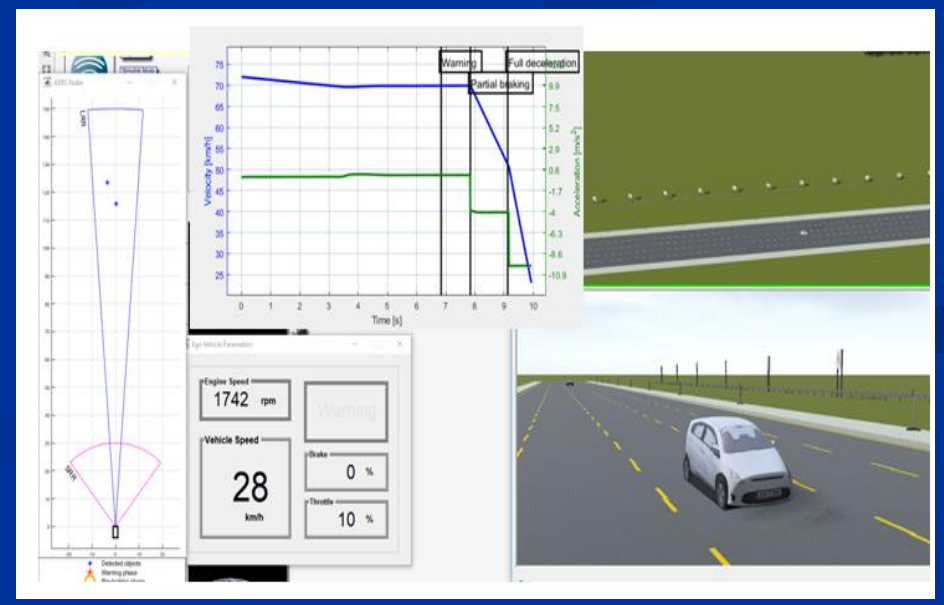
## 2. Моделирование датчиковов



## 3. Создание алгоритмов управления



## 4. Моделирование и анализ результатов





## Методика применения ПАК

На первом этапе должна быть создана база "Библиотека элементов"

На втором этапе формируется каталог сценариев

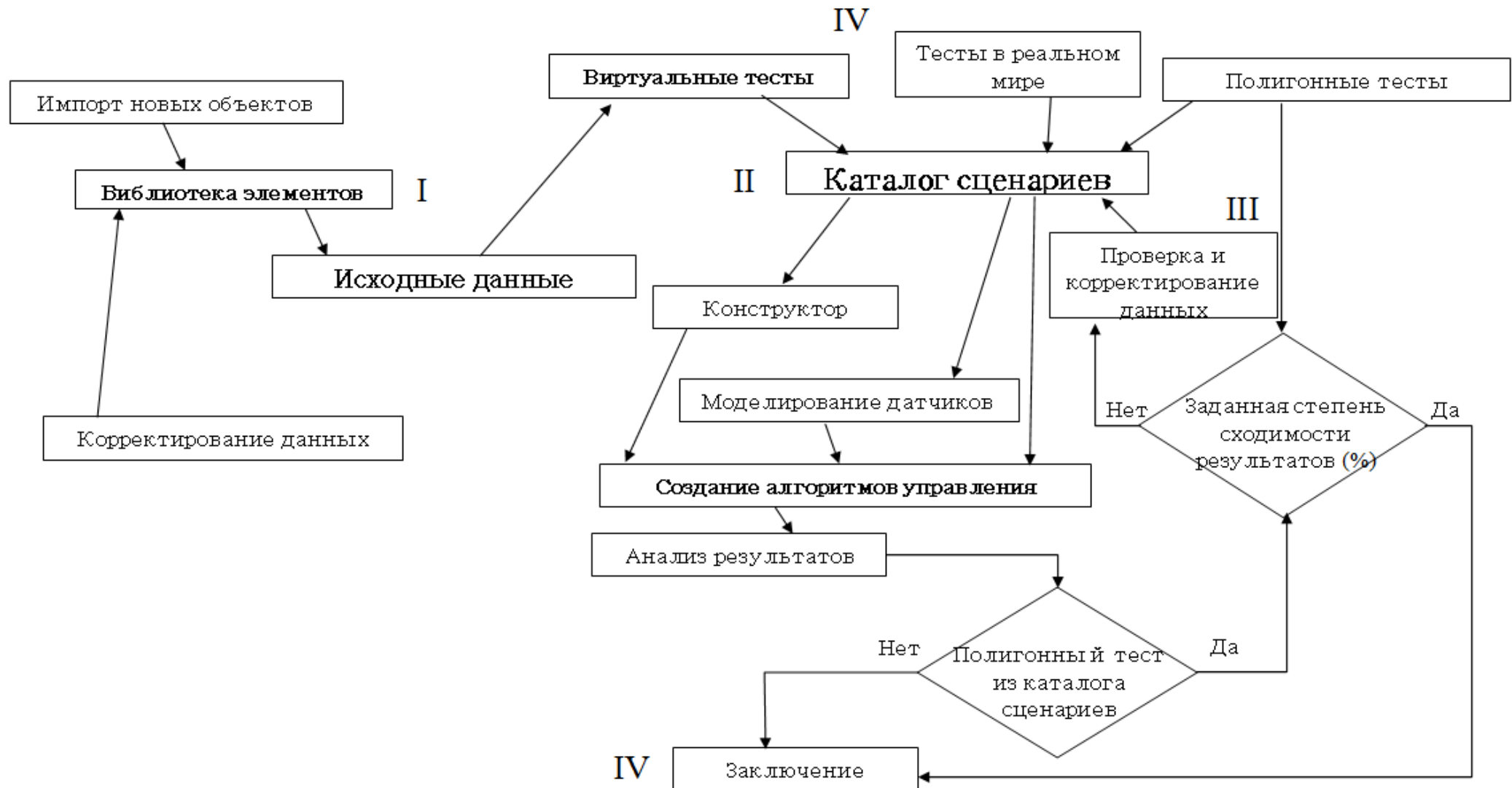
На третьем этапе осуществляется проверка на адекватность и при необходимости корректировка загруженных ранее исходных данных.

На четвертом этапе после того как убедились в адекватности ФМ конкретного ТС можно приступать к выполнению сценариев из реального мира и дополнительных виртуальных сценариев с высокой степенью вероятности в том, что результаты этих виртуальных испытаний будут аналогичны таким же проведенным в реальных условиях.

Примеры сценария на разных этапах его развития

Функциональный сценарий	Логический сценарий	Конкретный сценарий
Базовые дорожные условия: трехполосная дорога, криволинейная, ограничение скорости 100 км/ч согласно дорожным знакам	Базовые дорожные условия: Ширина полосы 2,3-3,5 м Радиус кривизны 0,6-0,9 км Положение дорожного знака 0-200 м	Базовые дорожные условия: Ширина полосы 3,2 м Радиус кривизны 0,7 км Положение дорожного знака 150 м
Стационарные объекты: -	Стационарные объекты: -	Стационарные объекты: припаркованный автомобиль Reno logan
Подвижные объекты: исследуемый автомобиль (Эго); пробка; взаимодействие: исследуемый автомобиль приближается к разделительной линии, пробка движется медленно	Подвижные объекты: Окончание пробки 10-200 м; Скорость пробки 0-30 км/ч Дистанция Эго до пробки 50- 300 м Скорость Эго 80-130 км/ч	Подвижные объекты: Окончание пробки 40 м; Скорость пробки 30 км/ч Дистанция Эго до пробки 200 м Скорость Эго 100 км/ч
Окружающая среда: Лето, дождь	Окружающая среда: Температура 10-40 °C Размер капли 0,03—0,05 мл	Окружающая среда: Температура 20 °C Размер капли 0,035 мл
Уровень абстракции		

# Методика применения ПАК



# Оценка работоспособности алгоритмов действия систем помощи движению по полосе (LDW)

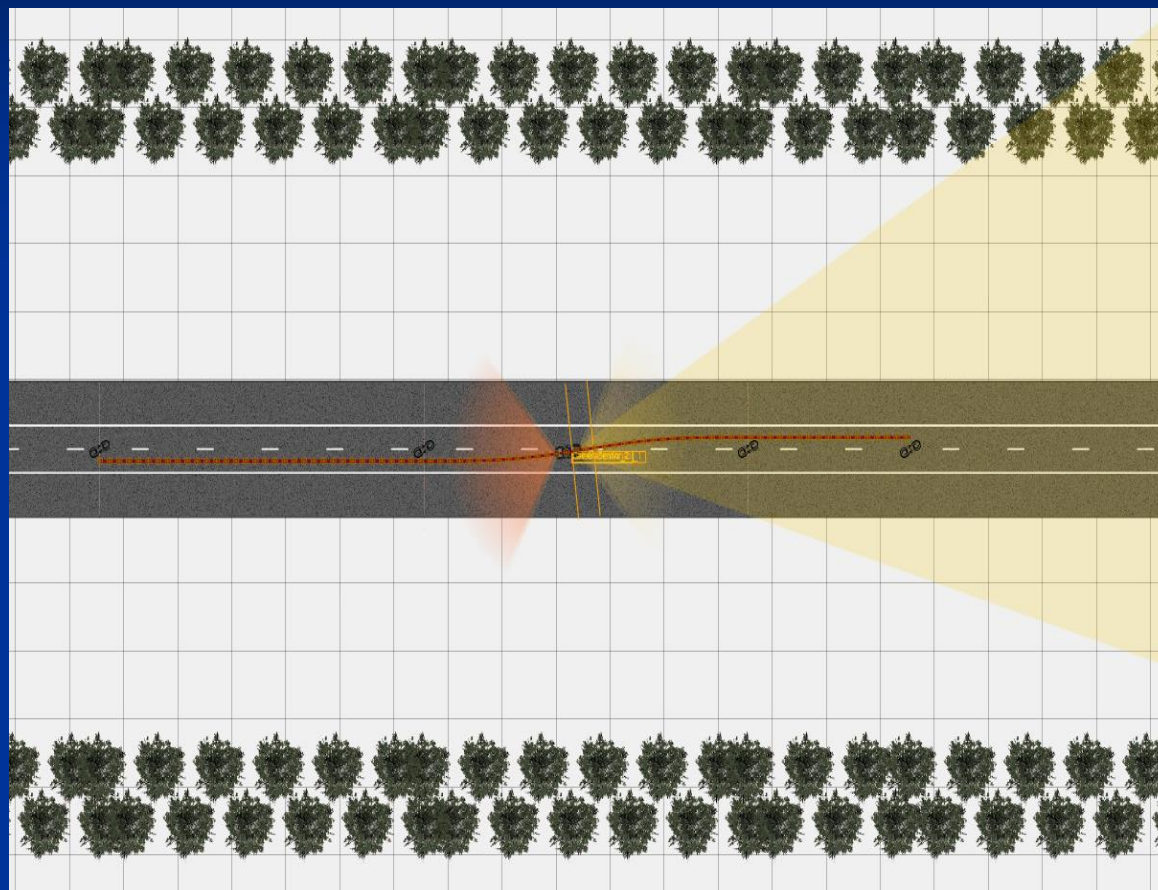


Схема испытательного маневра для тестирования системы Lane departure warning (LDW) в программном комплексе для испытаний ADAS компании Siemens PreScan (по стандарту ISO 17361:2007)

$V_x=20$  м/с (72 км/ч)

Ширина полосы движения: 3,5 м

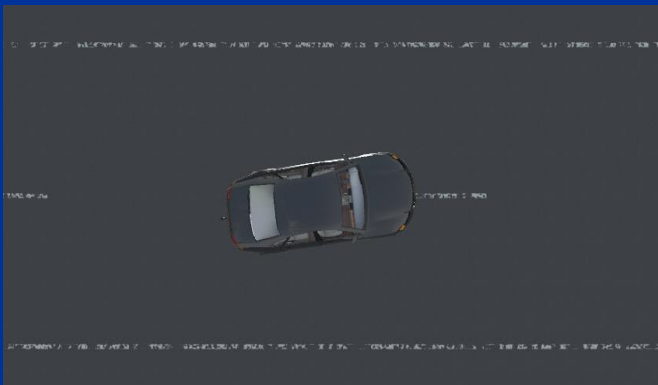
$V_y=1,17$  м/с



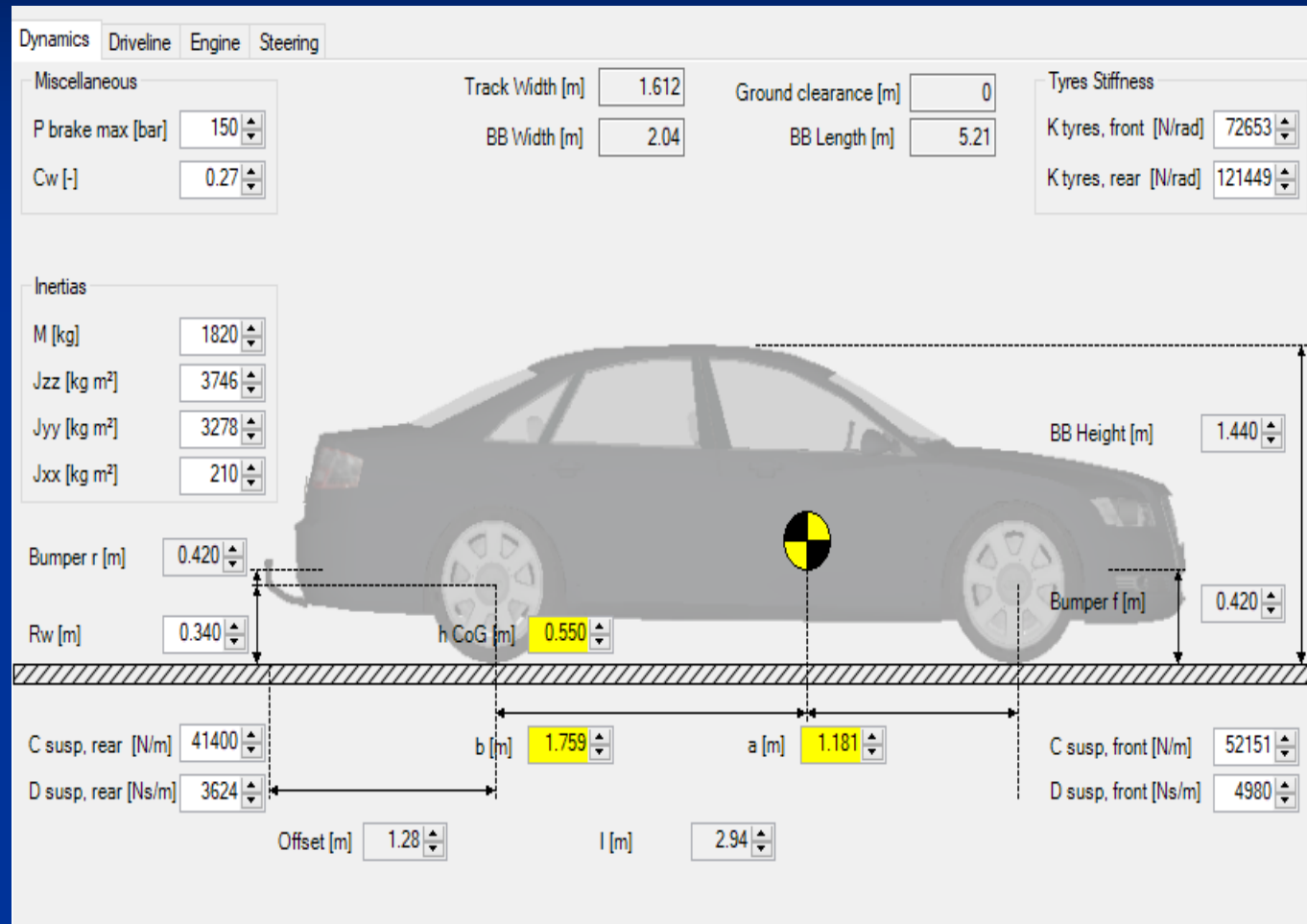


# Условия виртуальных испытаний

- изношенная разметка (износ от 0 до 90 %);
- в дождь (интенсивность слабая, средняя, сильная);
- в снегопад (интенсивность слабая, средняя, сильная; с занесением разметки и без);
- в темное время суток без искусственного освещения (на автомобиле включен ближний свет фар);
- в туман различной видимости;
- загрязненная дорожная разметка



# Объект испытаний - Audi A8

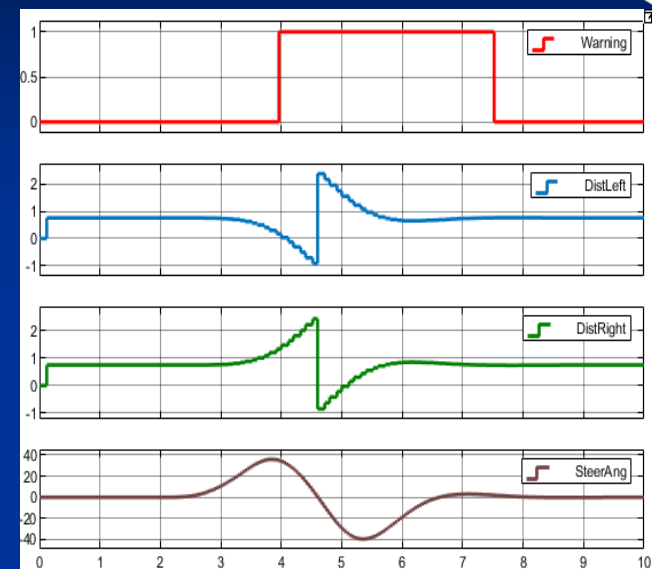


Орган технического зрения для функционирования систем LDW и LKA: монохромная оптическая видеокамера (размер матрицы 1/2" (6.4мм×4.8мм)).  
Разрешение видеокамеры 500×375 пикселей с частотой обновления 50 Гц

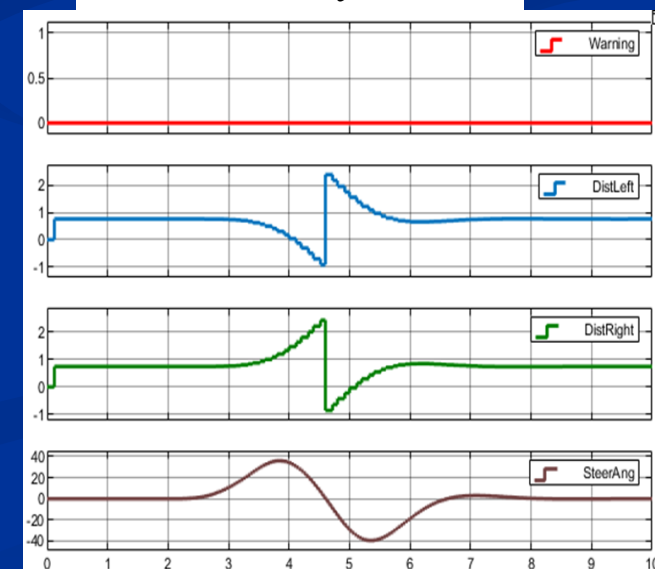
# Результаты моделирования (испытания системы LDW)



№ п/п	Износ разметки, %	Метеорологические условия	Состояние дорожного полотна	Освещение	Результат
1.	0	Без осадков	Сухой асф.	День	П+
2.	50	Без осадков	Сухой асф.	День	П+
3.	80	Без осадков	Сухой асф.	День	П+
4.	90	Без осадков	Сухой асф.	День	О
5.	50	Легк. дождь	Мокр. асф.	День	П-
6.	50	Дождь	Мокр. асф.	День	П-
7.	50	Сильн. дождь	Мокр. асф.	День	П-
8.	50	Дождь	Мокр. асф.	День	П-
9.	40	Дождь	Мокр. асф.	День	П-
10.	30	Дождь	Мокр. асф.	День	П+
11.	80	Сильн. дождь	Мокр. асф.	День	О
12.	80	Легк. дождь	Мокр. асф.	День	П-
13.	0	Снегопад	Мокр. асф.	День	П+
14.	0	Снегопад	Снежное	День	П+
15.	0	Сильн. снег.	Снежное	День	П+
16.	50	Снегопад	Мокр. асф.	День	П+
17.	50	Снегопад	Снежное	День	П-
18.	50	Легкий снег.	Снежное	День	П+
19.	80	Легкий снег.	Снежное	День	П+
20.	80	Снегопад	Снежное	День	О
21.	80	Туман (100*)	Сухой асф.	День	П+
22.	50	Туман (50)	Сухой асф.	День	П+
23.	50	Туман (20)	Сухой асф.	День	П-
24.	50	Туман (30)	Сухой асф.	День	П+
25.	50; Загрязн.	Без осадков	Сухой асф.	День	П-
26.	0	Без осадков	Сухой асф.	Ночь+БС	П+
27.	50	Без осадков	Сухой асф.	Ночь+БС	П+
28.	80	Без осадков	Сухой асф.	Ночь+БС	П-
29.	70	Без осадков	Сухой асф.	Ночь+БС	П+
30.	50	Снегопад	Сухой асф.	Ночь+БС	П-



Идеальные условия



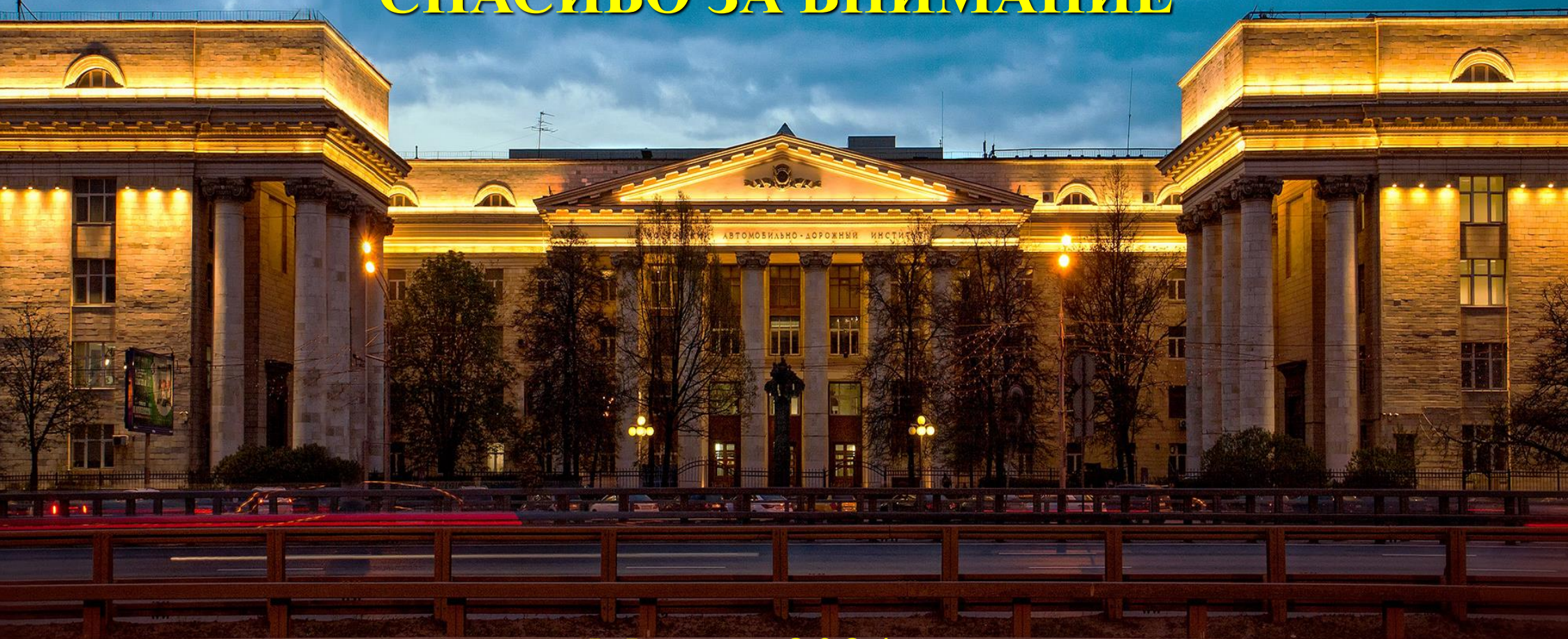
Износ разметки 40 %, дождь

1. Оценка эффективности действия систем помощи движению по полосе показывает, что наименее эффективно подобные системы работают в дождь при изношенной дорожной разметке. При допустимом износе дорожной разметки в 50 % наличие дождя любой интенсивности приводит к несрабатыванию предупреждающего сигнала системы LDW.
2. Эффективность действия систем помощи движению по полосе снижена в снегопад и при сильном тумане.
3. В методики экспериментальной оценки эффективности действия систем помощи движению по полосе целесообразно включать испытательные сценарии на дороге с изношенной или загрязненной разметкой

Московский автомобильно-дорожный  
государственный технический университет (МАДИ)



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ**



**Москва 2024**

Гаевский В.В., МАДИ, [www.vitval.ru](http://www.vitval.ru), [vit-life@rambler.ru](mailto:vitalife@rambler.ru)