

стандарты. Внедряются процедуры взаимодействия с упором на обмен данными и их совместимость, проводится базовый анализ на основе модели: визуализация, поиск коллизий, 2D- и 3D-расчеты.

УРОВЕНЬ № 2 – Продвинутый BIM: по мере внедрения BIM повышается качество взаимодействия, интеграции данных и инженерных расчетов. Стандарты моделирования распространяются на новые типы проектов, внедряется прогрессивная технология управления инженерными данными, интегрированная в коллективный производственный процесс. Больше внимания уделяется совместному использованию информации. Проводятся новые виды расчетов и анализа.

УРОВЕНЬ № 3 – Интегрированный BIM: формируется интегрированная среда для всех специалистов, которая обеспечивает эффективное выполнение проектов, проведение инженерных расчетов и возможность управления эксплуатацией объектов. Высокий уровень управления с упором на качество и удобство эксплуатации. Модели и BIM-стандарты стабильны и могут применяться повсеместно с высокой эффективностью и выгодой. Совместная работа выходит на более высокий уровень, на основе модели предлагаются расширенные сервисы, повышается ее доступность. Открываются возможности более широкого анализа экологичности проекта, его жизненного цикла, организации строительных работ.

### Литература

1. Более эффективное проектирование и строительство с помощью BIM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autodesk.ru/bim>. – Дата доступа: 14.10.2020.

УДК 625.74

### **Теоретические предпосылки оценки эффективности работы удерживающих устройств на автомобильных дорогах общего пользования**

Шишко Н.И., Адашкевич В.И.

*Основной целью, с точки зрения безопасной и эффективной работы удерживающих устройств, являются следующие положения: при наезде в салон автомобиля не должны попадать детали ограждения, а также автомобиль, при наезде на ограждение, не должен опрокидываться через*

*ограждение или разворачиваться после наезда на конструктивные элементы удерживающего устройства, в том числе не должен происходить прорыв ограждения.*

В практике оценки эффективности работы дорожного ограждения существуют следующие критерии и параметры, сочетание показателей которых дает оценку эффективности работы удерживающих устройств [1]:

- Acceleration severity index (ASI) – индекс опасности ускорения: безразмерная величина, скалярная функция времени, выражающая измерение опасности хода автомобиля для человека, находящегося в транспортном средстве;

- Theoretical head impact velocity (THIV) - воздействие ударного ускорения на теоретическую голову: понятие, выработанное для оценки опасности удара для пассажиров транспортных средств, столкнувшихся с дорожными ограничительными системами;

- Post-impact head deceleration (PHD) – замедление скорости движения головы после удара: максимальное значение полученного ускорения, вычисленное из промежутка 10 мс, измеряемое в кратных единицах  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

- Occupant impact velocity (OIV) – скорость пассажиров при ударе;

- Occupant ridedown acceleration (ORA) – ускорение пассажиров после удара;

- Vehicle cockpit deformation index (VCDI) – индекс деформации кабины транспортного средства;

- Vehicle interior deformation index VIDI – индекс внутренней деформации транспортного средства.

Удерживающие устройства должны удовлетворять требованиям по уровню удержания, опасности удара и деформативности удерживающей системы, которые обеспечиваются рациональной конструкцией дорожного ограждения и правильностью его расположения в поперечном сечении автомобильной дороги [3].

При ударных испытаниях существует ряд критериев для транспортных средств, которые включают несколько уровней рабочих характеристик, допускающих выбор системы удержания, подходящих для условий дорожного движения и геометрических характеристик рассматриваемого участка автомобильной дороги [2]. Критерии для транспортных средств приведены в таблице 1.

Уровни удержания защитных барьеров должны удовлетворять требованиям при проведении испытаний в соответствии с критериями для транспортных средств при ударных испытаниях (таблица 2).

Таблица 1. Критерии для транспортных средств при ударных испытаниях

Испытание	Скорость в момент удара, км/ч	Угол удара градусы	Общая масса транспортного средства, кг	Тип транспортного средства
ТВ 11	100	20	900	Легковой автомобиль
ТВ 21	80	8	1300	Легковой автомобиль
ТВ 22	80	15	1300	Легковой автомобиль
ТВ 31	80	20	1500	
ТВ 32	110	20	1500	
ТВ 41	70	8	10000	Автомобиль с моноблочной рамой для перевозки тяжелых грузов (HGV)
ТВ 42	70	15	10000	
ТВ 51	70	20	13000	Автобус
ТВ 61	80	20	16000	Автомобиль с моноблочной рамой для перевозки тяжелых грузов (HGV)
ТВ 71	65	20	30000	
ТВ 81	65	20	38000	Автомобиль с шарнирно-сочлененной рамой для перевозки тяжелых грузов (HGV)

Уровни удержания под малым углом предназначены для использования только для временных защитных устройств. Испытание временных защитных устройств можно также проводить для уровней удержания повышенной степени.

Конструкция удерживающего устройства, успешно прошедшая испытание при данном уровне удержания, признается отвечающей условиям испытания более низкого уровня, за тем исключением, что N1 и N2 не включают T3.

Так как для проведения испытаний удерживающих устройств очень высокой степени удержания и их усовершенствования в различных странах используются значительно отличающиеся друг от друга типы тяжелых грузовых автомобилей, оба испытания ТВ 71 и ТВ 81 включаются в классификацию уровней удержания. Соответственно уровни удержания H4a и H4b не рассматриваются как эквивалентные, между ними нет иерархической связи.

Оценка удерживающей системы для транспортных средств в рамках уровней удержания T3, N2, N1, N2, N3, H4a, H4b требует проведения двух различных испытаний: испытание в соответствии с максимальным уровнем удержания для данной конкретной системы и дополнительно испытание с использованием легкового автомобиля (900 кг) для подтверждения того, что

достижение максимального уровня удержания для более тяжелой группы автомобилей также согласуется с безопасностью для легкового автомобиля.

Индексы оценки опасности соударения транспортного средства с удерживающей конструкцией в отношении пассажиров транспортного средства ASI, THIV и PHD должны удовлетворять требованиям, отвечающим за минимизацию последствий соударения.

Таблица 2. Уровни удержания

Уровни удержания	Испытание на приемку
Удержание под малым углом T1 T2 T3	ТВ 21 ТВ 22 ТВ 41 и ТВ 21
Нормальное удержание N1 N2	ТВ 31 ТВ 32 и ТВ 11
Удержание повышенной степени H1 H2 H3	ТВ 42 и ТВ 11 ТВ 51 и ТВ 11 ТВ 61 и ТВ 11
Очень высокая степень удержания H4a H4b	ТВ 71 и ТВ 11 ТВ 81 и ТВ 11

Технические классы А, В и С определены из совокупности значений индексов (таблица 3).

Таблица 3. Уровни опасности удара

Уровень опасности удара	Значения индекса	
А	$ASI \leq 1,0$	THIV $\leq 33$ км/ч PHD $\leq 20$ g
В	$1,0 < ASI \leq 1,4$	
С	$1,4 < ASI \leq 1,9$	

Уровень опасности удара А предоставляет более значительный уровень безопасности для пассажиров отклонившегося от пути транспортного средства, чем уровень В, а уровень В – чем уровень С (рис.1).

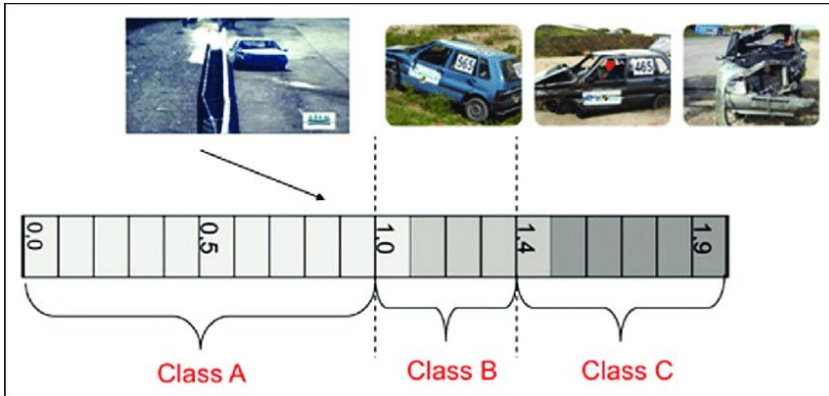


Рис. 1. Уровни опасности удара

Во многом тяжесть последствия от соударения с удерживающим устройством зависит от кинетической энергии удара и теоретического значения средней силы взаимодействия, что определяется массой транспортного средства, скоростью наезда и углом, под которым произошло столкновение с ограждением различной степени удержания.

Кинетическая энергия удара рассчитывается исходя из средней силы из кинематики, а также из условия кинетического баланса.

С точки зрения кинематики при столкновении с удерживающим устройством перпендикулярный барьеру центр тяжести транспортного средства должен отклониться от своего исходного положения, а скорость соударения учитывает угол наезда на удерживающую конструкцию:

$$v_n = v \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

Если смещение и среднее ускорение центра тяжести транспортного средства изменяются в направлении, перпендикулярном барьеру, тогда среднее ускорение в первой фазе соударения принимается:

$$\bar{a}_n = \frac{v_n^2}{2 \cdot s_n} \quad (2)$$

Таким образом, средняя сила, действующая на массу транспортного средства в течении этой фазы соударения равна:

$$\bar{F} = M \bar{a}_n = \frac{M v_n^2}{2 \cdot s_n} \quad (3)$$

Значение средней силы из уравнения энергетического баланса определяется с учетом кинетической энергии транспортного средства в первой фазе соударения:

$$T = \frac{M \cdot V_n^2}{2} \quad (4)$$

В течении первой фазы кинетическая энергия транспортного средства должна быть сбалансирована поперечной силой, воздействующей на центр тяжести транспортного средства:

$$\frac{M \cdot V_n^2}{2} = \bar{F} \cdot S_n \quad (5)$$

Откуда:

$$\bar{F} = \frac{M \cdot V_n^2}{2 \cdot S_n} \quad (6)$$

Средняя сила соударения как функция смещения деформированного удерживающего устройства определяется исходя из величины смещения, на которое перемещается центр масс транспортного средства (рис.2).

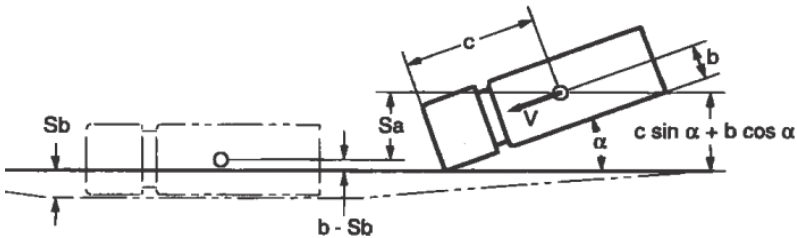


Рис. 2. Смещение центра тяжести (центра масс) при соударении

Расстояние смещения определяется из выражения в зависимости от максимального динамического прогиба стороны удерживающего устройства, обращенной к проезжей части, однако более точно эта величина должна определяться как сумма прогибов барьера и величины смятия транспортного средства:

$$S_n = c \cdot \sin \alpha + b \cdot (\cos \alpha - 1) + S_b \quad (7)$$

Объединяя предыдущие выражения, средняя сила определяется из выражения:

$$\bar{F} = \frac{M \cdot (v \cdot \sin \alpha)^2}{2[c \cdot \sin \alpha + b \cdot (\cos \alpha - 1) + S_b]} \quad (8)$$

Средняя сила определяет величину взаимодействия между транспортным средством и удерживающим устройством во время соударения, данная величина является первичной при оценке общей силы, воздействующей на конструкцию удерживающего устройства, и напрямую влияет на тяжесть последствий при соударении.

Сила соударения, усредненная относительно поперечного смещения центра масс, принимается равной:

$$\bar{F} = \frac{1}{S_n} \int_0^{S_n} F(S) dS \quad (9)$$

В таблице 3 приведены значения кинетической энергии, определенные относительно установленных классов рабочих характеристик удерживающих устройств, а также средние силы соударения, рассчитанные для некоторых значений смещения барьерного ограждения (динамического прогиба).

Таблица 3. Значения кинетической энергии и средней силы для установленных уровней удержания в зависимости от динамического прогиба

Уровень удержания	Кинетическая энергия, кДж	Прогиб поверхности, обращенной к движению, м					
		0,1	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0
		Средняя сила, кН					
T1	6,2	16,8	9,3	5,8	4,2	3,3	2,7
T2	21,5	36,5	24,2	16,7	12,7	10,3	8,6
T3	36,6	46,7	33,8	24,7	19,4	16,0	13,6
N1	43,3	59,2	42,0	30,3	23,7	19,4	16,5
N2	81,9	112,0	79,4	57,2	44,7	36,7	31,1
H1	126,6	93,6	76,6	61,7	51,6	44,4	38,9
H2	287,5	133,0	116,8	100,4	88,1	78,5	70,8
H3	462,1	266,4	227,1	189,8	163,0	142,9	127,1
H4a	572,0	311,3	267,6	225,4	194,7	171,4	153,1
H4b	724,6	269,1	242,1	213,6	191,1	172,8	157,8

## Литература

1. Системы дорожных ограждений. Часть 1. Термины и общие требования к методам испытаний: СТБ EN 1317-1-2009. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 68 с.
2. Системы дорожных ограждений. Часть 2. Барьеры безопасности. Классификация по рабочим характеристикам, приемка по ударным испытаниям и методы испытаний: СТБ EN 1317-2-2009. – Минск: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 30 с.
3. Effect of various W-beam guardrail post spacings and rail heights on safety performance. First Published November 11, 2015 Mode of access: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1687814015615544>. – Date of access: 15.10.2020.

УДК 625.73

## Перспективные схемы устройства вертикального дренирования слабых грунтов

Шишко Н.И., Гатальский Р.К.

Белорусский национальный технический университет

*Современные подходы к проектированию транспортных объектов, а также перспективные технологии возведения с использованием широкого спектра дорожно-строительной техники различного назначения позволяют использовать в качестве строительной площадки или основания практически любые имеющиеся геолого-гидрологические условия, в том числе площади с залеганием слабых грунтов.*

Транспортное строительство в силу своих особенностей: значительная линейная протяженность объектов, зачастую сталкивается с задачами учета различных часто изменяющихся геолого-гидрологических условий на строительной площадке объекта. Залегание слабых грунтов, имеющих прочность на сдвиг в условиях природного залегания менее 0,075 МПа или модуль осадки более 50 мм/м при нагрузке 0,25 МПа, может оказывать существенное влияние на сроки строительства. К слабым грунтам относят торф и заторфованные грунты, илы, сапропели, глинистые грунты с коэффициентом консистенции более 0,5, а также техногенные отложения.

Земляное полотно автомобильных дорог и транспортных объектов на слабых грунтах следует проектировать в комплексе с дорожной одеждой с