

Страстной б-р, д. 9, Москва, 127006
тел.: +7 495 727 11 95, факс: +7 495 784 68 04
<http://www.russianhighways.ru>,
e-mail: info@russianhighways.ru

20.01.2020 № 604-ПЗ

На № _____ от _____

Генеральному директору
ООО «Малое инновационное
предприятие «НИИ Механики и
проблем качества»

И.В. Демьянушко

125319, г. Москва,
Ленинградский просп., д. 64

Уважаемая Ирина Вадимовна!

Рассмотрев материалы, представленные письмами от 16.01.2020 № М/002 и № М/004, продлеваем согласование стандарта организации ООО «МИП «НИИ Механики и проблем качества» СТО 45029946-001-2018 «Методика проведения виртуальных испытаний боковых дорожных удерживающих ограждений» и согласовываем СТО 45029946-002-2019 «Методика проведения виртуальных испытаний дорожных ограждений» (далее – СТО) для добровольного применения на объектах Государственной компании сроком на один год с даты настоящего согласования.

По истечении указанного срока необходимо направить в наш адрес аналитический отчет с результатами мониторинга и оценкой применения методик в соответствии с требованиями согласованных СТО на объектах Государственной компании и прочих объектах.

Контактное лицо: начальник отдела технической политики и инновационных технологий Департамента проектирования, технической политики и инновационных технологий Рюмин Юрий Анатольевич, тел. (495) 727-11-95, доб. 32-36, e-mail: yu.ryumin@russianhighways.ru.

Первый заместитель
председателя правления

И.Г. Астахов



**Общество с ограниченной ответственностью
«Малое инновационное предприятие
«НИИ Механики и проблем качества»**



СТАНДАРТ
ОРГАНИЗАЦИИ

СТО 45029946-
002-2019

**МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ
ДОРОЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ**

Москва 2019

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Малое инновационное предприятие «НИИ Механики и проблем качества» (ООО «МиПК»)

2 ВНЕСЕН ООО «МиПК»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом ООО «МиПК» от «30» октября 2019 г. №16л

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту размещается на официальном сайте ООО «МиПК» www.niimech.ru, в сети Интернет. В случае пересмотра или отмены настоящего стандарта уведомление об этом будет размещено на вышеуказанном сайте

Настоящий стандарт организации запрещается полностью и/или частично воспроизводить, тиражировать и/или распространять другими организациями в своих интересах без согласия ООО «МиПК»

СОДЕРЖАНИЕ

1	Область применения.....	1
2	Нормативные ссылки.....	1
3	Термины и определения	2
4	Основные положения	5
5	Требования к исходным данным.....	6
6.	Требования к сеткам моделей для виртуальных испытаний.....	7
6.1	Общие требования	7
6.2	Требования к оболочечным элементам	8
6.3	Требования к абсолютно жестким телам	9
6.4	Требования к объемным элементам.....	9
7	Требования к материалам.....	10
8	Моделирование транспортных средств	11
9	Общая модель виртуальных испытаний.....	13
10	Доводка и калибровка модели виртуальных испытаний ограждения	14
10.1	Методика устранения численных ошибок	14
10.2	Оценка параметров расчетной модели	15
11	Обработка полученных данных.....	16
12	Требования к проведению сертификационных виртуальных испытаний	17
12.1	Общие требования	17
12.2	Требования к барьерным ограждениям	18
12.3	Требования к тросовым ограждениям	19
12.4	Требования к парашютным ограждениям	20
12.5	Требования к комбинированным боковым ограждениям	21
12.6	Требования к проведению виртуальных испытаний фронтальных ограждений	21

12.7 Требования к проведению виртуальных испытаний ограничивающих и удерживающих пешеходных ограждений	22
Библиография	23

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ДОРОЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

Standard Test Method for Finite Element Analysis (FEA) of Traffic
Barriers

Дата введения — 2019—10—30

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования и общие положения к проведению виртуальных испытаний дорожных ограждений по ГОСТ 33127 (дорожные удерживающие боковые ограждения (БДО), дорожные фронтальные ограждения (ФО), удерживающие пешеходные ограждения (УПО), ограничивающие пешеходные ограждения (ОПО), защитные ограждения (ЗО).

Виртуальные испытания выполняются с целью определения потребительских характеристик дорожных ограждений в соответствии с требованиями ГОСТ 33128, ГОСТ 33129 и ГОСТ Р 58351 для стендовых и натурных испытаний.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий

ГОСТ 33078—2014 Дороги автомобильные общего пользования. Методы измерения сцепления колеса автомобиля с покрытием

ГОСТ 33127—2014 Дороги автомобильные общего пользования.
Ограждения дорожные. Классификация

ГОСТ 33128—2014 Дороги автомобильные общего пользования.
Ограждения дорожные. Технические требования

ГОСТ 33129—2014 Дороги автомобильные общего пользования.
Ограждения дорожные. Методы контроля

ГОСТ Р 58351—2019 Дороги автомобильные общего пользования.
Ограждения дорожные фронтальные, удерживающие боковые
комбинированные и удерживающие пешеходные. Общие технические
требования. Методы испытаний и контроля. Правила применения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте национального органа Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте организации применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1

верификация: Предоставление объективных свидетельств того, что данный объект соответствует установленным требованиям.

[ГОСТ 17025—2019, статья 3.8]

3.2

валидация: Предоставление объективных свидетельств того, что данный объект соответствует установленным требованиям.

[ГОСТ 17025—2019, статья 3.8]

Примечание – Валидация выполняется для определения степени соответствия расчетной модели реальному физическому объекту по определенным параметрам модели.

3.3 численный метод решения уравнений: Метод решения математических задач, когда искомые величины представляются набором чисел.

3.4 метод конечных элементов: Численный метод решения дифференциальных уравнений, являющийся подклассом методов взвешенных невязок. Характерными особенностями метода являются: разбиение области решения на меньшие области (элементы), минимизация невязок по элементу с последующим суммированием результатов по всей области решения с учетом связанности элементов, в качестве весовых функций выступают вариации искомого величин.

3.5 сетка конечных элементов: Совокупность непересекающихся подобластей, в сумме формирующих область решения дифференциального уравнения.

3.6 виртуальные испытания: Математическое моделирование процесса наезда транспортного средства (удара ударным элементом) на дорожное ограждение (элемент дорожного ограждения).

3.7 удерживающее боковое комбинированное ограждение: Устройство, в конструкции которого использовано несколько типов рабочих элементов удерживающих боковых ограждений.

3.8

дорожное фронтальное ограждение: Отдельная конструкция или часть конструкции дорожного ограждения, предназначенная для удержания,

гашения энергии движения автомобиля при ударе как сбоку, так и в торец ограждения под углом, близким к 90°, а также перенаправления его движения.

[ГОСТ 33127—2014, статья 3.6]

3.9

индекс тяжести травмирования: Показатель, характеризующий инерционные перегрузки, действующие на пассажиров транспортных средств, при взаимодействии транспортного средства с ограждением.

[ГОСТ 33129—2014, статья 3.1.6]

3.10

удерживающее пешеходное ограждение: Устройство, предназначенное для удержания пешеходов от падения при их движении по тротуарам, расположенным на мостовых сооружениях или высоких насыпях.

[ГОСТ 33127—2014, статья 3.3]

3.11

ограничивающее пешеходное ограждение: Устройство, предназначенное для упорядочения движения пешеходов.

[ГОСТ 33127—2014, статья 3.4]

3.12

защитное ограждение: Устройство, предназначенное для предотвращения выхода животных на полосу отвода дороги.

[ГОСТ 33127—2014, статья 3.5]

3.13

натурные испытания: Испытания конструкции ограждения, установленного на испытательной площадке с имитацией его расположения в реальных дорожных условиях, при которых силовое воздействие на ограждение осуществляется реальным транспортным средством, разгоняемым для удара в ограждение с требуемой энергией взаимодействия под определенным углом.

[ГОСТ 33129—2014, статья 3.1.3]

3.14

<p>коэффициент сцепления колеса автомобиля с дорожным покрытием (далее - коэффициент сцепления): Показатель, характеризующий сцепные свойства дорожного покрытия, определяющийся как отношение максимального касательного усилия, действующего вдоль дорожного покрытия на площади контакта испытательной установки с дорожным покрытием к нормальной реакции в площади контакта испытательной установки с дорожным покрытием.</p>

[ГОСТ 33078—2014, статья 3.1]

4 Основные положения

4.1 Настоящий стандарт регламентирует методику проведения виртуальных испытаний дорожных ограждений по ГОСТ 33127 (дорожные удерживающие боковые ограждения, дорожные фронтальные ограждения (ФО), удерживающие пешеходные ограждения (УПО), ограничивающие пешеходные ограждения (ОПО), защитные ограждения (ЗО).

4.2 Виртуальные испытания основываются на методе конечных элементов [1-4] и проводятся с целью выявления потребительских характеристик дорожных ограждений или их элементов.

4.3 Для проведения виртуальных испытаний используется готовый программный код LS-DYNA, основанный на методе конечных элементов. LS-DYNA содержит процедуры для анализа высоконелинейных и быстротекущих процессов в задачах механики [5].

4.4 Допускается проведение виртуальных испытаний с использованием других программных продуктов (Abaqus Explicit, Pam Crash, Altair Radioss и др.), при соблюдении требования настоящего стандарта.

4.5 Для проверки точности виртуальных испытаний группы ограждений необходимо отобрать из этой группы репрезентативные марки

ограждений и для них провести натурные и стендовые испытания в соответствии с ГОСТ 33129 и ГОСТ Р 58351. После чего для этих марок проводится валидация моделей.

5 Требования к исходным данным

Для проведения виртуальных испытаний дорожных ограждений необходимы следующие исходные данные:

5.1 Описание геометрии деталей дорожных ограждений и сборочные чертежи или, геометрические модели из систем компьютерного проектирования (CAD).

5.2 Наименование материалов, из которых изготавливаются детали ограждения с указанием механических характеристик.

Если механические характеристики не предоставлены, они определяются с использованием справочной литературы или путем проведения стендовых испытаний в соответствии с нормативными документами.

5.3 Описание крепежных элементов, используемых в дорожных ограждениях при сборке, с указанием усилий или моментов затяжки. При сборке ограждения с использованием нестандартных элементов крепления необходима полная техническая документация по крепежу.

5.4 Требования по установке ограждения на автомобильной дороге или испытательной площадке.

5.5 Протокол натурных испытаний.

6. Требования к сеткам моделей для виртуальных испытаний

6.1 Общие требования

6.1.1 Возможность применения тех или иных допущений о геометрии детали в процессе деформирования должна быть подтверждена одним из трех следующих методов: валидацией (сравнением с экспериментом), сравнением с моделью с меньшим количеством допущений или ссылкой на авторитетный источник.

Наиболее распространенными допущениями при КЭ анализе являются допущения о сохранении формы сечения в процессе деформации (балочные элементы) или толщины (оболочечные элементы) [1-4]. Применение этих допущений должно быть обосновано одним из перечисленных выше способов.

6.1.2 Балочные конечные элементы применяются при моделировании конструкций, один из размеров, которых много больше, чем два другие, а также деформации сечения пренебрежимо малы.

6.1.3 Оболочечные конечные элементы применяются при моделировании конструкций, толщина которых много меньше двух других размеров. Оболочечные элементы описывают плоское напряженное (толстые оболочки) или деформированное состояние.

6.1.4 Твердотельные элементы применяются в случаях, когда размеры конструкции во всех направлениях одного порядка.

6.1.5 Плотность КЭ сетки детали должна быть достаточной, чтобы гладко описать деформированную геометрию. Для проверки плотности сетки детали необходимо выполнить расчет с другой плотностью. Расхождение результатов моделей с разной плотностью сетки по усилиям и перемещениям не должна превышать 3 %.

6.1.6 Число точек интегрирования по толщине элемента должно быть достаточным для описания упругопластического поведения материала. Достаточность определяется сравнением результатов работы моделей с

различным числом точек интегрирования. Расхождение результатов моделей с разной плотностью по параметрам усилий и перемещениям не должно превышать 3 %.

6.1.7 Для моделирования волновых процессов с минимальной дисперсией необходимо использовать КЭ сетки с параметром соотношения сторон близким к 1.

6.1.8 В модели не должно быть внедрений КЭ сеток деталей друг в друга (исключая случаи умышленного внедрения, например, для описания натяга). Если внедрения избежать не удалось, то необходимо проверить напряжения модели перед ударом ТС, чтобы избежать образования пластических шарниров и ослабления конструкции, а также использовать карты игнорирования начальных внедрений.

6.1.9 Не должно быть перекрытия КЭ сеток, ввиду высокой вероятности неустойчивости решения.

6.2 Требования к оболочечным элементам

6.2.1 Плотность КЭ сетки должна быть достаточной, чтобы гладко описать деформированную геометрию.

6.2.2 При использовании модели формы – оболочка, расположение стеки должно быть в нейтральной плоскости листа.

6.2.3 Размер оболочечных элементов для модели балок должен быть не менее 5 мм. При таком размере элементов рекомендуемый шаг по времени не должен превышать $\Delta t = 10^{-6}$ с. При использовании меньших сеток необходимо убедиться в соблюдении условия Кураната-Фридрихса-Леви [1].

6.2.4 В случаях малого закручивания сетки используются оболочечные элементы в формулировке Бельчико-Цая [1]. В противном случае возможно использование элементов Хьюса-Лю [1].

6.2.5 Необходимо использовать реальную толщину оболочки. Не допускается использовать автоматическое обновление толщины оболочек в контактах.

6.2.6 Рекомендуется использовать инвариантную нумерацию узлов для элементов.

6.2.7 Для устранения численных шумов в модели рекомендуется задание малой вязкости оболочечных элементов равной 0,01.

6.2.8 Для деталей, моделируемых с использованием элементов с одной точкой интегрирования, испытывающих действие значительной сдвиговой нагрузки или обладающих грубой сеткой, необходимо задание контроля деформации по виду песочных часов [1].

6.2.9 Количество треугольных элементов сетки детали не должно превышать 10 %. В противном случае следует проверить жесткость детали на соответствие жесткости реальной конструкции одним из методов, описанных в п. 6.1.1.

6.3 Требования к абсолютно жестким телам

6.3.1 Сетка недеформируемых тел не значительно влияет на время расчета, поэтому в случае контакта сетку твердых тел необходимо сгущать.

6.3.2 Жесткостные характеристики твердых недеформируемых тел, являются формальными, но влияют на жесткость в контакте (исключая контакты по сегментам), поэтому константы материала должны иметь значения, соответствующие значениям реальных материалов.

6.3.3 Наложение связей на твердое тело желательно делать через уравнения связи для самого тела.

6.4 Требования к объемным элементам

6.4.1 По умолчанию необходимо использовать элементы с постоянным распределением напряжений и одной точкой интегрирования. При использовании элементов с большим количеством точек интегрирования необходимо убедиться в правильной жесткости конструкции одним из методов, описанных в п. 6.1.1.

6.4.2 При значительных сдвиговых усилиях необходимо использовать жесткостной контроль деформаций по виду песочных часов.

6.4.3 При использовании тетраэдрических элементов необходимо проверить жесткость системы одним из методов, описанных в п. 6.1.1.

7 Требования к материалам

7.1 Механические характеристики материалов, применяемых в моделируемом дорожном ограждении должны быть получены путем проведения испытаний на специальных испытательных машинах в соответствии с ГОСТ 1497-84, ГОСТ 12248-2010 и т.д.

7.2 В процессе удара при наезде автомобиля элементы ограждения испытывают значительные пластические деформации вплоть до разрушения, поэтому в качестве модели материала рекомендуется кусочно-линейная модель MAT_024 [1] в комплексе LS-DYNA с заданием полной диаграммы деформирования.

7.3 Для расчета должны быть использованы истинные кривые деформирования материалов. Получение истинных кривых деформирования из условных возможно по формулам (1) – (2) с поправками на физическую модель напряженного и деформированного состояния.

$$\varepsilon_{\text{ист}} = \ln(1 + \varepsilon_{\text{инж}}) \quad (1)$$

$$\sigma_{\text{ист}} = \sigma_{\text{инж}}(1 + \varepsilon_{\text{инж}}) \quad (2)$$

7.4 При учете влияния скорости деформаций на пластическое состояние конструкций дорожных ограждений необходимо использовать вязкопластичную формулировку применительно только к пластическим деформациям.

7.5 Для моделирования бетона рекомендуется использовать материал MAT159_CSCM [1].

7.6 Грунт моделируется с использованием твердотельных восьмиузловых элементов. Диаметр цилиндра грунта должен быть подобран

из условия, чтобы граница грунта не влияла на жесткость системы стойка-грунт.

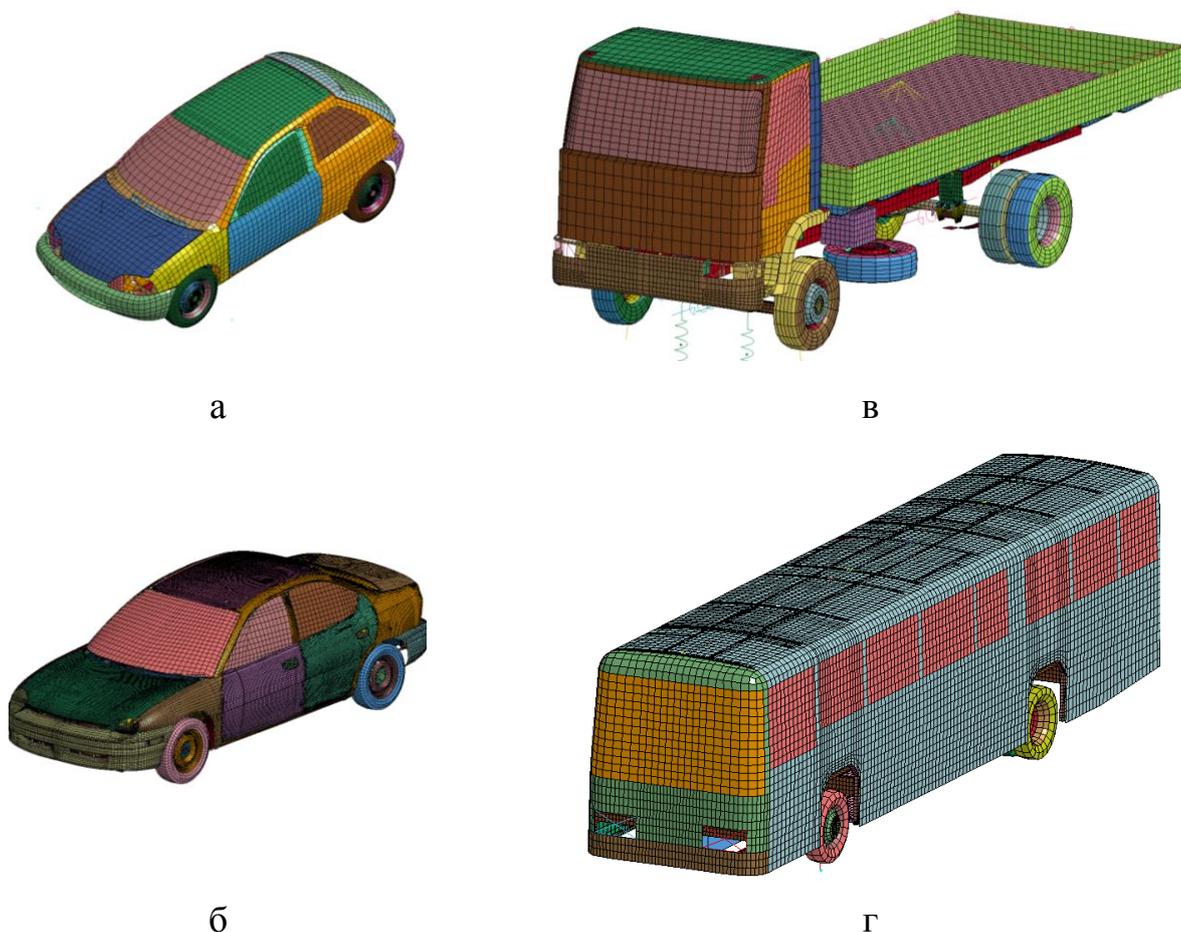
7.7 В качестве материала грунта рекомендуется использовать модель Крейга (MAT_005) [1]. Параметры этой модели требуют задания характеристик грунта: плотность, модуль сдвига, объемный модуль, кривая зависимости давлений от объемных деформаций.

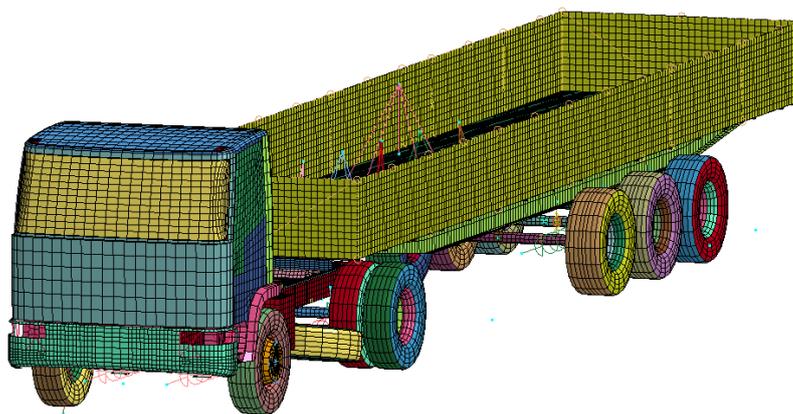
8 Моделирование транспортных средств

8.1 Выбор типов механических транспортных средств по ГОСТ Р 52051 для применения при виртуальных испытаниях осуществляется в соответствии с режимом испытаний по таблице 1 ГОСТ 33129 и ГОСТ Р 58351.

8.2 Масса и характеристики транспортного средства при виртуальных испытаниях определяются по ГОСТ 33129 и ГОСТ Р 58351.

8.3 Типовые КЭ модели ТС приведены на рисунке 1.





д

а – хэтчбек; б – седан; в – грузовик; г – автобус; д – автопоезд

Рисунок 1 – Типовые КЭ модели транспортных средств

8.4 Моделями транспортных средств, являются деформируемые механические транспортные средства с жесткостями несущих элементов, соответствующими жесткостям реальной конструкции.

8.5 Допускается применение других типов ТС, отличных от рисунка 1 при условии их валидации.

8.6 Значение сил трения в паре шина-дорожное покрытие принимается на основе экспериментальных данных. В случае отсутствия такой информации рекомендуется применять коэффициенты сцепления по таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Значения коэффициента сцепления в зависимости от состояния и вида дорожного покрытия

Вид дорожного покрытия	Состояние покрытия	Коэффициент сцепления
Асфальт, бетон	сухой	0,70
	мокрый	0,50
	грязный	0,30
Укатанный снег	без ледяной корки	0,23
	без ледяной корки, после россыпи песка	0,34

8.7 При проведении стендовых ударных испытаний необходимо использование тележки по ГОСТ 33129. Вид КЭ модели ударной тележки приведен на рисунке 2.

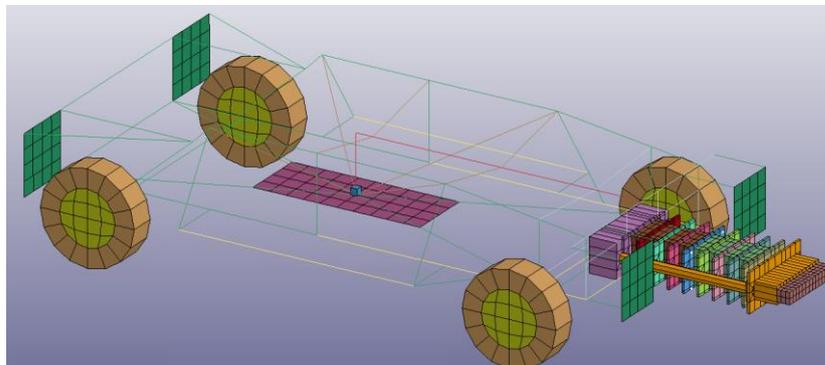


Рисунок 2 – КЭ модель ударной тележки

9 Общая модель виртуальных испытаний

9.1 Общая расчетная модель получается путем объединения общей модели ограждения и транспортного средства.

9.2 Режимы испытаний для боковых ограждений принимаются в соответствии с ГОСТ 33129.

9.3 Режимы испытания для дорожных фронтальных, удерживающих пешеходных ограждений принимаются в соответствии с требованиями ГОСТ Р 58351.

9.4 Режимы испытания для ограничивающих пешеходных и защитных ограждений принимаются в соответствии с требованиями СТО изготовителя ограждения.

9.5 Пример общей расчетной модели приведен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Пример общей расчетной модели ограждения

10 Доводка и калибровка модели виртуальных испытаний ограждения

После создания общей модели и начала расчета могут быть получены следующие результаты:

- завершение работы модели по причине численной ошибки, необходима доработка модели;
- успешное завершение расчета без ошибок, необходимо проведение валидации модели.

10.1 Методика устранения численных ошибок

Типичным и численными ошибками являются: превышение скорости допустимого диапазона, отрицательный объем элемента, превышение массой допустимого диапазона.

10.1.1 Измельчение шага по времени.

Если начальный шаг по времени удовлетворяет условию Куранта [1] и в дальнейшем становится недостаточно малым, необходимо изменить

масштабный коэффициент шага по времени или изменить непосредственно шаг по времени.

10.1.2 При наблюдении в модели сильной деформации по типу песочных часов, необходимо ограничить эту деформацию.

Необходимо использовать ограничение по жесткости типа Фланаган-Белычко [1]. Если недостает разрешения точек интегрирования для описания напряженного состояния конструкции возможно использование полно интегрируемых элементов с контролем вращательных деформаций типа песочных часов.

10.1.3 Если относительная скорость между двумя деталями высока, необходимо уменьшить интервал сортировки блоков контакта и увеличить глубину поиска контактов. В случае, если имеется множество взаимодействий по граням – использовать сегментный поиск контактов.

10.1.4 Если численная ошибка влияет только на малое время в конце расчета возможно использование файлов полного рестарта для устранения этой ошибки и расчета с момента возникновения ошибки.

10.1.5 При возникновении численной ошибки из-за искажения элемента необходимо использовать процедуры автоматического удаления этого элемента. При удалении необходимо проверить влияние процедуры на жесткость в контакте.

10.2 Оценка параметров расчетной модели

Для оценки правильности расчетной модели необходимо:

10.2.1 Проведение анализа результатов модели с точки зрения физической адекватности (к примеру, не должно быть проникновения одной детали в другую).

10.2.2 Проверка баланса энергий с выводом графиков:

- общей энергии;
- внутренней энергии;
- контактной энергии;

- энергии деформации по типу песочных часов.

10.2.3 Модель считается прошедшей верификацию, если удовлетворяет следующим требованиям:

- изменение общей энергии должно быть в районе 1,0, если не происходит подвод энергии в систему;
- энергия деформации по типу песочных часов не должна превышать 10 % от общей энергии системы;
- контактная энергия должна быть близка к нулю если в системе отсутствует трение;
- если силы трения присутствуют, контактная энергия должна быть положительна и иметь разумные значения;
- добавочная масса в системе не должна отличаться от физической массы более чем на 1 %.

11 Обработка полученных данных

11.1 После проведения расчетов должны быть определены основные потребительские характеристики ограждения.

11.2 Потребительские характеристики ограждения определяются по ГОСТ 33129 и ГОСТ Р 58351.

11.3 По результатам расчетов должен быть составлен протокол виртуальных испытаний, который должен содержать следующую информацию:

- наименование документа;
- наименование и адрес ИЛЭОД;
- место осуществления лабораторной деятельности;
- уникальную идентификацию, для того чтобы все его составляющие воспринимались как часть общего отчета, и четкую идентификацию конца отчета;
- наименование и контактные данные заказчика;
- идентификацию применяемого метода;

- описание, однозначную идентификацию и при необходимости состояние образца;

- дату получения образца (ов) для испытаний и дату отбора образца (ов), когда это имеет важное значение для достоверности и применения результатов (в применении к виртуальным испытаниям датой получения образцов и дата отбора образца является дата получения конструкторской документации на испытываемый объект;

- дату осуществления лабораторной деятельности (проведения виртуального испытания);

- дату выдачи отчета;

- ссылку на план и метод отбора образцов, использованные ИЛЭОД или другими органами, если это важно для достоверности или применения результатов;

- заявление о том, что результаты относятся только к объектам, прошедшим испытания;

- результаты, где это применимо, с единицами измерения;

- дополнения, отклонения или исключения из метода.

- Примечание – Включение заявления о том, что отчет не должен быть воспроизведен не в полном объеме без разрешения ИЛЭОД, может обеспечить уверенность в том, что части отчета не интерпретируются вне контекста.

12 Требования к проведению сертификационных виртуальных испытаний

12.1 Общие требования

12.1.1 Модели и методы компьютерного симуляционного анализа, основанные на использовании программных комплексов, учитывающих нелинейную динамику процессов соударения и деформирования соударяющихся объектов (типа программного комплекса инженерного анализа LS-Dyna), должны быть протестированы для конкретной задачи

путем сравнения с результатами стендовых статических и ударных испытаний элементов ограждений и (или) натуральных испытаний, с допустимой погрешностью в результатах до 10 % по потребительским характеристикам ограждения.

12.1.2 При несоответствии протокола натуральных испытаний или режимов испытания требованиям ГОСТ 33129 и ГОСТ 58351, валидация модели должна быть проведена с условиями, указанными в протоколе натуральных испытаний ограждения.

12.1.3 После получения КЭ модели ограждения со сходимостью результатов с натурными испытаниями не менее 90 % в составляющие моделей вносятся необходимые изменения и определяются потребительские характеристики модифицированной марки ограждения.

12.1.4 При отсутствии валидации, результаты виртуальных испытаний ограждения являются предварительными, могут рассматриваться при сравнительном анализе и должны быть подтверждены натурными испытаниями.

12.2 Требования к барьерным ограждениям

12.2.1 При сертификации продукции допускается определять потребительские характеристики барьерного ограждения при следующих изменениях, внесенных в конструкцию, по сравнению с испытанным (при натуральных испытаниях) ранее:

- изменение механических характеристик материалов не более чем на ± 30 %;
- незначительных изменениях узлов крепления деталей;
- изменении шага стоек ограждений не более, чем на 1,0 м;
- изменение геометрических характеристик сечения элемента не более чем ± 30 %;
- изменение подгруппы ограждения с ДО на ДД, с МО на МД и наоборот;

- изменение высоты ограждения не более чем ± 30 %.

12.2.2 Определение потребительских характеристик ограждения виртуальными испытаниями допускается, если количество изменений по пункту 12.2.1 не более 2.

Если в конструкцию ограждения внесены изменения одновременно по трем позициям из перечисленных в п.12.2.1, определение потребительских характеристик ограждения виртуальными испытаниями допускается, если изменение площади сечения стойки ограждения не более ± 30 % при неизменности конфигурации профиля.

12.2.3 Не допускается определение потребительских характеристик ограждения виртуальными испытаниями, если в новой конструкции ограждения изменяется тип консоли или тип балки.

12.2.4 Допускается определять потребительские характеристики ограждения при увеличении уровня удерживающей способности ограждения на не более чем 1 уровень при выполнении условий по п.12.2.1, которые приводят к усилению конструкций (например, при увеличении площади поперечного сечения балки на 30 % или уменьшении шага стоек на 1,0 м).

12.3 Требования к тросовым ограждениям

12.3.1 При сертификации продукции допускается определять потребительские характеристики тросового ограждения при следующих изменениях, внесенных в конструкцию, по сравнению с испытанным (при натуральных испытаниях) ранее:

- изменении изгибных, крутильных и демпфирующих характеристик троса не более чем на ± 30 %.
- при изменении жесткости троса на растяжение более чем на ± 30 %.
- изменение геометрических характеристик сечения не более чем ± 30 %;

- изменение механических характеристик материалов стойки не более чем на ± 30 %;

- изменение высоты ограждения не более чем ± 30 %;

- изменении шага стоек ограждений не более, чем на 1,0 м;

12.3.2 Определение потребительских характеристик ограждения виртуальными испытаниями допускается, если количество изменений по пункту 12.3.1 не более 2.

Если конструкцию ограждения внесены изменения одновременно по трем позициям из перечисленных в п.12.2.1 определение потребительских характеристик ограждения виртуальными испытаниями допускается, если изменение площади сечение стойки ограждения не более ± 30 % при неизменности конфигурации профиля.

12.3.3 Не допускается определение потребительских характеристик ограждения виртуальными испытаниями, если повышается уровень удерживающей способности или изменяется тип стоек с открытого на закрытый или наоборот.

12.4 Требования к парапетным ограждениям

12.4.1 При сертификации продукции допускается определять потребительские характеристики парапетного ограждения при следующих изменениях, внесенных в конструкцию, по сравнению с испытанным (при натуральных испытаниях) ранее:

- изменении длины блока $\pm 4,0$ м при сохранении ее поперечного профиля;

- изменении механических характеристик материалов блока не более чем на ± 30 %;

- изменение геометрический характеристик поперечного сечения блока не более чем ± 30 %;

- изменении узла крепления блока к основанию;

- изменение подгруппы ограждения с ДО на ДД, с МО на МД и наоборот.

12.4.2 Определение потребительских характеристик ограждения виртуальными испытаниями допускается, если количество изменений по пункту 12.3.1 не более 2.

12.4.3 Не допускается определение потребительских характеристик ограждения виртуальными испытаниями, если в конструкции ограждения изменяется тип замкового элемента или повышается уровень удерживающей способности ограждения.

12.5 Требования к комбинированным боковым ограждениям

Возможность применения виртуальных испытаний определяется соблюдением требований п.12.2-12.4 для отдельно взятого ограждения в составе комбинированного бокового ограждения.

12.6 Требования к проведению виртуальных испытаний фронтальных ограждений

12.6.1 При сертификации продукции допускается определять потребительские характеристики фронтального ограждения при следующих изменениях, внесенных в конструкцию, по сравнению с испытанным (при натурных испытаниях) ранее:

- изменение подгруппы ограждения при условии сохранения конструкции системы крепления направляющего элемента;
- изменение формы передней части ограждения;
- изменение формы ограждения в плане, при условии сохранения конструкции энергопоглощающих элементов (например, увеличение ширины ограждения, или изменение с параллельного типа на трапецеидальную);

- изменение конструкции заднего упора фронтального ограждения (например, для устройства переходного участка между фронтальным ограждением и боковым удерживающим ограждением);

- понижение класса скорости ограждения, при условии сохранения общей конструкции ограждения (например, изменение количества или длины энергопоглощающего элемента).

12.6.2 Определение потребительских характеристик ограждения виртуальными испытаниями допускается, если количество изменений по пункту 12.6.2 не более 2.

12.7 Требования к проведению виртуальных испытаний ограничивающих и удерживающих пешеходных ограждений

12.7.1 Возможность применения виртуальных испытаний определяется требованиями ГОСТ 33128, ГОСТ 33129 и п.12.7.2.

12.7.2 При сертификации продукции допускается определять потребительские характеристики ограничивающих и удерживающих ограждений при следующих изменениях, внесенных в новую конструкцию, по сравнению с испытанным (при натурных испытаниях) ранее:

- изменение конструктивных элементов ограждения, размещаемые между стойками, поручнем и нижней перекладиной с целью уменьшения размеров пустот;

- изменение геометрических характеристик сечения стойки, или нижней перекладины ограждения не более чем $\pm 30\%$.

12.7.3 Определение потребительских характеристик ограждения виртуальными испытаниями допускается, если количество изменений по пункту 12.7.2 не более 1.

Библиография

[1] John O. Hallquist– LS-DYNA THEORY Manual, Livermore Software Technology Corporation (LSTC)-2006

[2] Zienkiewicz, O. C., and Taylor, R. L., The Finite Element Method: The Basis, Vol. 1, 5th ed., Butterworth-Heinemann, 2000

[3] Zienkiewicz, O. C., and Taylor, R. L., The Finite Element Method: Solid Mechanics, Vol. 2, 5th ed., Butterworth-Heinemann, 2000

[4] Ted Belytschko, Wing Kam Liu, Briam Moran, Khalil I. Elkhodary., Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures, 2th ed., Wiley, 2014

[5] Г.И. Глушков – Расчет сооружений, заглубленных в грунт, М.: Стройиздат, 1977, - 295 с.

УДК 625.748.32

ОКС 93.080.30

ОКП 52 1000

Ключевые слова: ограждение дорожное, режимы испытаний, индекс тяжести травмирования, валидация модели, верификация модели, метод конечных элементов, сетка конечных элементов

Руководитель организации-разработчика:

Генеральный директор,

д.т.н. _____

И.В. Демьянушко

Руководитель разработки:

Зам. генерального директора _____

Б.Т. Тавшавадзе

Разработчики:

Заведующий ИЛЭДО,

к.т.н. _____

С.С. Петросян

Инженер _____

И.А. Карпов

Инженер _____

А.А. Мухаметова

Менеджер по качеству _____

А.В. Аверина