ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ

СТАНДАРТ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПНСТ

(проект, первая редакция)

Стандартизация в Российской Федерации

Дороги автомобильные общего пользования.

ОГРАЖДЕНИЯ ДОРОЖНЫЕ.

Общие требования к виртуальным испытаниям

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его принятия

Москва

Российский институт стандартизации

2026

Предисловие

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

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 418 «Дорожное хозяйство»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от «__» _____ 20__ г. № _____

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (www.gost.ru)

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2026

Настоящий стандарт не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.

Содержание

1 Область применения……

2 Нормативные ссылки……

3 Термины, определения, обозначения и сокращения …..……

4 Основные положения……

5 Требования к ПО КМ……

6 Требования к исходным данным ЦМ ВИ……

7 Требования к ЦМ ВИ……

8 Верификация ЦМ ВИ и контроль реализации исходных данных ……..

9 Валидация ЦМ ВИ……

10 Проведение, обработка и оформление результатов ВИ ……

Приложение А (справочное) Основные требования к различным видам виртуальных испытаний…….

Приложение Б (обязательное) Контрольный перечень проверки реализации исходных данных и постановки задачи в ЦМ ВИ ……

Приложение В (обязательное) Представление результатов контроля численной корректности расчёта ……

Приложение Г (рекомендуемое) Верификация модели автомобиля ……..

Библиография……

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Дороги автомобильные общего пользования. ОГРАЖДЕНИЯ ДОРОЖНЫЕ. Общие требования к виртуальным испытаниям

Public roads. ROAD RESTRAINT SYSTEMS. General requirements for virtual testing

---

Дата введения —

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на виртуальные испытания дорожных ограждений, проводимые путём компьютерного моделирования их взаимодействия с испытательным автомобилем для определения контролируемых показателей.

Настоящий стандарт устанавливает общие требования к подготовке и проведению исследовательских, валидационных и сертификационных виртуальных испытаний, а также к обработке, оценке и оформлению их результатов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 33127 Дороги автомобильные общего пользования. Ограждения дорожные. Классификация

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

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

ГОСТ Р 57412 Компьютерные модели и моделирование. Термины и определения

ГОСТ Р 57700.1 Численное моделирование для разработки и сдачи в эксплуатацию высокотехнологичных промышленных изделий. Сертификация программного обеспечения. Требования

ГОСТ Р 57700.2 Численное моделирование для разработки и сдачи в эксплуатацию высокотехнологичных промышленных изделий. Сертификация программного обеспечения. Общие положения

ГОСТ Р 57700.21 Компьютерное моделирование в процессах разработки, производства и обеспечения эксплуатации изделий. Термины и определения

ГОСТ Р 57700.44 Численное моделирование физических процессов. Термины и определения

ГОСТ Р 58973 Оценка соответствия. Правила к оформлению протоколов испытаний

П р и м е ч а н и е — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте 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, определения, обозначения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 33127, ГОСТ 33128, ГОСТ 33129, ГОСТ Р 57412, ГОСТ Р 57700.21, ГОСТ Р 57700.44, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1

виртуальное испытание дорожного ограждения: Компьютерное моделирование, имитирующее реальные условия наезда автомобиля на испытуемое дорожное ограждение или другого типа ударные воздействия.

[ГОСТ 33128—2024, статья 3.2]

3.1.2

валидационные виртуальные испытания: Испытания, которые проводят с целью валидации цифровых моделей.

[ГОСТ 33129—2024, статья 3.1.3]

3.1.3

сертификационные испытания: Контрольные испытания продукции, проводимые с целью установления соответствия характеристик ее свойств национальным и (или) международным нормативно-техническим документам.

[ГОСТ 16504-81, статья 52]

3.1.4

исследовательские испытания: Испытания, проводимые для изучения определенных характеристик свойств объекта.

[ГОСТ 16504-81, статья 35]

3.1.5

модифицированное ограждение: Ограждение, входящее в выделенное семейство ограждений, отличающееся по параметрам от ограждения, прошедшего натурные испытания.

[ГОСТ 33129—2024, статья 3.1.11]

3.1.6 **методика виртуальных испытаний дорожных ограждений; МВИ:** Документ, устанавливающий совокупность методов, правил и процедур разработки цифровых моделей виртуальных испытаний дорожных ограждений, проверки их корректности и применимости, проведения виртуальных испытаний, обработки и представления их результатов.

3.1.7 **цифровая модель виртуального испытания дорожного ограждения; ЦМ ВИ:** Компьютерная модель, воспроизводящая взаимодействие дорожного ограждения с испытательным автомобилем при заданных условиях наезда и предназначенная для определения контролируемых показателей виртуального испытания.

Примечание — ЦМ ВИ включает модели дорожного ограждения, испытательного

автомобиля, основания и поверхности движения автомобиля, условия их взаимодействия, а также начальные и граничные условия.

3.1.8

программное обеспечение компьютерного моделирования: Вид программного обеспечения, в состав которого входят программы, выполняющие при компьютерном моделировании расчет компьютерных моделей, задание исходных данных, обработку результатов, а также другие вспомогательные программы.

[ГОСТ Р 57700.44—2024, статья 9]

3.1.9

верификация компьютерной модели (контроль корректности): Совокупность действий с моделью, результатом которых является подтверждение соответствия компьютерной реализации модели ее исходной математической или информационной модели.

[ГОСТ Р 57700.41—2024, статья 2.3]

3.1.10

оценка адекватности [валидация] компьютерной модели: Процесс подтверждения соответствия компьютерной модели объекту моделирования по обоснованному перечню характеристик.

[ГОСТ Р 57412-2025, статья 7]

3.1.11 **контролируемый показатель:** Характеристика дорожного ограждения, испытательного автомобиля или их взаимодействия, подлежащая определению и оценке по результатам виртуального испытания.

3.1.12 **виртуальное средство регистрации величин:** Элемент ЦМ ВИ, предназначенный для регистрации расчётных величин в заданной точке или области модели при установленных параметрах регистрации, обеспечивающих определение контролируемых показателей.

3.2 Обозначения и сокращения

В настоящем стандарте применены сокращения по ГОСТ 33127, ГОСТ 33128, ГОСТ 33129, а также следующие обозначения и сокращения:

ВИ — виртуальное испытание;

КЭ — конечный элемент;

ПО КМ — программное обеспечение компьютерного моделирования;

МВИ — методика виртуальных испытаний дорожных ограждений;

ЦМ — цифровая модель;

ЦМ ВИ — цифровая модель виртуального испытания дорожного ограждения.

4 Основные положения

4.1 Назначение и виды виртуальных испытаний

4.1.1 Виртуальные испытания применяют при исследовании, разработке и совершенствовании конструкций дорожных ограждений, валидации ЦМ ВИ, а также для определения и оценки контролируемых показателей, в том числе предусмотренных ГОСТ 33128 и ГОСТ 33129.

4.1.2 В зависимости от цели виртуальные испытания подразделяют на:

– исследовательские;

– валидационные;

– сертификационные.

4.1.3 Исследовательские виртуальные испытания проводят для изучения характеристик и особенностей работы дорожных ограждений, в том числе при разработке и совершенствовании их конструкций. Состав исходных данных, степень детализации ЦМ ВИ и необходимость её валидации устанавливают с учётом цели испытания и предполагаемого использования результатов.

4.1.4 Валидационные виртуальные испытания проводят для валидации ЦМ ВИ на основе документированных фактических данных конкретного натурного испытания с воспроизведением его объекта, параметров и условий проведения.

4.1.5 Сертификационные виртуальные испытания модифицированного ограждения проводят при соблюдении условий применения виртуальных испытаний, установленных ГОСТ 33128, на основе ЦМ ВИ, валидированной по результатам натурного испытания ограждения.

4.1.6 Результаты сертификационных виртуальных испытаний используют при подтверждении соответствия требованиям [1] в случаях и при соблюдении условий, установленных ГОСТ 33128, с выполнением требований ГОСТ 33129.

4.1.7 Сертификационные виртуальные испытания модифицированного ограждения в целях подтверждения соответствия требованиям [1] проводят испытательные лаборатории (центры), аккредитованные в национальной системе аккредитации, область аккредитации которых включает соответствующие методы

виртуальных испытаний дорожных ограждений.

4.1.8 Требования к составу исходных данных, объёму верификации ЦМ ВИ, необходимости её валидации, форме оформления и условиям использования результатов для каждого вида виртуального испытания приведены в приложении А.

4.2 Последовательность проведения виртуальных испытаний

4.2.1 Виртуальное испытание проводят на основании технического задания, заявки или иного документа, устанавливающего цель, вид, объект и условия проведения виртуального испытания.

4.2.2 Для проведения валидационного виртуального испытания должны быть представлены документированные результаты конкретного натурного испытания и сведения о его объекте, параметрах и условиях, необходимые для валидации ЦМ ВИ.

4.2.3 Работы по подготовке и проведению виртуального испытания выполняют с учётом его вида и последовательности, установленной ГОСТ 33129, и включают следующие этапы:

– устанавливают цель и вид виртуального испытания, объект и условия его проведения;

– выбирают ПО КМ и его конфигурацию в соответствии с разделом 5;

– формируют и оценивают исходные данные в соответствии с разделом 6;

– разрабатывают или подготавливают ЦМ ВИ в соответствии с разделом 7;

– выполняют верификацию, проверяют соответствие ЦМ ВИ исходным данным и условиям испытания в соответствии с разделом 8;

– для валидационного виртуального испытания проводят валидацию в соответствии с разделом 9;

– проводят виртуальное испытание, обрабатывают и оформляют его результаты в соответствии с разделом 10.

4.3 Методическое обеспечение и прослеживаемость

4.3.1 Многократно применяемые процедуры выполнения работ по разделам 5–10 устанавливают в МВИ, стандарте организации, рабочей инструкции или ином документе.

4.3.2 В документации конкретного виртуального испытания указывают

обозначение, наименование и версию применённых методических документов.

4.3.3 При подготовке, проведении и оформлении виртуального испытания должна быть обеспечена однозначная идентификация и взаимная прослеживаемость:

– исходных данных;

– ЦМ ВИ;

– ПО КМ и его конфигурации;

– результатов контроля и валидации ЦМ ВИ;

– расчётных файлов и результатов виртуального испытания;

– документов, содержащих результаты виртуального испытания.

Прослеживаемость и идентификация должны обеспечиваться однозначными ссылками на соответствующие документы либо приведением необходимых сведений и результатов непосредственно в отчётной документации.

5 Требования к ПО КМ

5.1 Общие требования

5.1.1 ПО КМ, реализованные в нём численные методы и физико-математические модели, а также применяемая конфигурация ПО КМ и вычислительной среды должны быть пригодны для достижения цели виртуального испытания с учётом его вида, существенных физических процессов и состава контролируемых показателей.

5.1.2 При проведении виртуальных испытаний по ГОСТ 33129 должны быть выполнены установленные им требования к ПО КМ.

5.1.3 Если документ, в соответствии с которым проводят виртуальное испытание, устанавливает дополнительные требования к ПО КМ, должны быть выполнены также эти требования.

5.2 Подтверждение применимости ПО КМ

5.2.1 ПО КМ должно обеспечивать моделирование нелинейного динамического взаимодействия дорожного ограждения и испытательного автомобиля, включая физические процессы, существенные для определения контролируемых показателей виртуального испытания.

5.2.2 ПО КМ должно обеспечивать регистрацию и получение расчётных

величин в составе и с параметрами, необходимыми для определения контролируемых показателей с учётом цели и вида виртуального испытания, применимых требований ГОСТ 33128, ГОСТ 33129 и методических документов по 4.3.1.

5.2.3 Для моделирования соударения испытательного автомобиля с дорожным ограждением следует применять метод конечных элементов с явным интегрированием уравнений движения по времени. Применение иных численных методов и схем интегрирования по времени допускается при обосновании их применимости в методических документах по 4.3.1.

5.2.4 Для применяемого ПО КМ должна быть доступна документация, содержащая сведения, необходимые для оценки его применимости, в том числе сведения о:

– реализованных математических и физических моделях;

– применяемых численных методах;

– назначении и порядке применения управляющих параметров.

При проведении валидационных и сертификационных виртуальных испытаний не допускается применение влияющих на результаты расчёта режимов работы, для которых отсутствуют документированные сведения, достаточные для оценки их назначения и применимости.

5.2.5 Применимость ПО КМ для проведения валидационных и сертификационных виртуальных испытаний должна быть подтверждена документированными сведениями о корректности реализации применяемых численных методов и возможности моделирования ударного взаимодействия транспортных средств с дорожными ограждениями или решения задач с сопоставимыми физическими процессами.

Документированные сведения должны включать:

– результаты верификационных, тестовых или квалификационных задач, подтверждающие корректность реализации численных методов и расчетных возможностей ПО КМ, существенных для результатов виртуального испытания;

– результаты сопоставления компьютерного моделирования с экспериментальными данными для задач соответствующего класса.

Дополнительно должны иметься сведения хотя бы одного из следующих видов:

– опубликованные результаты применения ПО КМ при моделировании

взаимодействия транспортных средств с дорожными ограждениями или иных сопоставимых динамических воздействий;

– сведения о применении ПО КМ в документах по стандартизации, признанных методиках, исследовательских программах или установившейся практике компьютерного моделирования соответствующего класса задач.

5.2.6 При отсутствии документированных сведений, соответствующих требованиям 5.2.5, ПО КМ, применяемое для проведения валидационных и сертификационных виртуальных испытаний, должно пройти сертификацию в заявленной области применения в соответствии с ГОСТ Р 57700.1 и ГОСТ Р 57700.2.

5.2.7 При исследовательском виртуальном испытании применимость ПО КМ подтверждают в объёме, необходимом для достижения цели испытания с учётом предполагаемого использования результатов. Требования 5.2.5 и 5.2.6 не применяют.

5.2.8 При валидационном виртуальном испытании применимость ПО КМ подтверждают в соответствии с 5.2.5 или 5.2.6.

5.2.9 При сертификационном виртуальном испытании допускается использовать результаты подтверждения применимости ПО КМ, полученные при валидации ЦМ ВИ, используемой в качестве основы для моделирования модифицированного ограждения, при соблюдении требований 5.3 и раздела 9.

5.3 Идентификация и управление конфигурацией ПО КМ

5.3.1 Применённые программы подготовки исходных данных, расчёта ЦМ ВИ и обработки результатов должны быть однозначно идентифицированы .

5.3.2 Для каждого расчёта документируют конфигурацию ПО КМ и параметры вычислительной среды, способные существенно повлиять на результаты, в том числе:

– тип и основные характеристики центральных процессоров;

– количество вычислительных ядер, используемых при выполнении расчёта;

– точность вычислений с плавающей точкой (одинарная, двойная или иная);

– применяемый режим параллельных вычислений (SMP, MPP или иной);

– тип и количество используемых графических процессоров (GPU) — при их применении;

– иные идентификаторы дополнительных модулей и пользовательских

подпрограмм — при их применении.

5.3.3 Изменения конфигурации ПО КМ и вычислительной среды относительно использованных при валидации ЦМ ВИ документируют. Влияние изменений на применимость результатов валидации оценивают в соответствии с разделом 9.

5.3.4 Сведения об ПО КМ отражают в документации виртуального испытания в соответствии с разделом 10.

6 Требования к исходным данным ЦМ ВИ

6.1 Общие требования

6.1.1 Исходные данные должны быть полными, взаимно согласованными и соответствовать объекту и условиям проведения виртуального испытания.

6.1.2 Для исходных данных указывают источники получения и характер используемых значений: фактические, номинальные, расчётные, справочные или оценочные.

6.1.3 При отсутствии необходимых фактических данных допускается применять номинальные, расчётные, справочные или оценочные значения с обоснованием их применимости с учётом вида и цели виртуального испытания. Принятые допущения документируют.

Примечание — Под оценочными значениями понимают приближённые значения, принимаемые на основе инженерной оценки с использованием имеющихся сведений об объекте или аналогичных объектах. Основания и способ получения оценочных значений документируют.

6.1.4 Исходные данные допускается приводить посредством ссылок на документы с указанием их обозначения, наименования, версии или даты и соответствующих разделов либо пунктов. Документы, на которые приведены ссылки, должны быть доступны для проверки исходных данных.

В том числе допускается ссылаться на соответствующие сведения в протоколе натурного испытания без их повторного приведения.

6.1.5 Состав и содержание исходных данных устанавливают с учётом вида виртуального испытания:

– для исследовательского виртуального испытания фактические данные о конкретно изготовленном ограждении, испытательном автомобиле и испытательной площадке допускается не использовать, если это не препятствует достижению установленной цели;

– для валидационного виртуального испытания используют фактические данные о конструктивном исполнении и состоянии ограждения, испытательном автомобиле, основании, условиях установки и условиях наезда при соответствующем натурном испытании;

– исходные данные для сертификационного виртуального испытания формируют на основе исходных данных ЦМ ВИ, с учётом изменений, предусмотренных конструкторской документацией модифицированного ограждения. Все изменения ограждения, испытательного автомобиля, основания, условий установки и условий наезда должны быть идентифицированы и обоснованы. Исходные данные, не относящиеся к внесённым изменениям, должны оставаться неизменными. При недостаточности фактических сведений о характеристиках материалов, соединений и основания допускается применять положения 6.1.3 и 6.5.5.

6.2 Данные о дорожном ограждении

6.2.1 Исходные данные должны обеспечивать идентификацию дорожного ограждения и его конструктивного исполнения.

6.2.2 Данные о дорожном ограждении должны включать:

– марку дорожного ограждения или другое обозначение, однозначно его идентифицирующее;

– геометрические данные о деталях и сборочных единицах в виде 3D-моделей, чертежей, результатов измерений или иных документов;

– спецификации материалов с указанием марок или обозначений используемых материалов;

– состав и протяженность участка ограждения, подлежащего испытанию;

– схему сборки и установки ограждения;

– параметры и характеристики соединений и закреплений.

6.3 Данные о материалах, соединениях и контактных взаимодействиях

6.3.1 Для материалов устанавливают характеристики, необходимые для задания параметров применяемых моделей материалов, в том числе плотность, характеристики упругости, пластичности, прочности и разрушения, а также зависимости характеристик от скорости деформации — с учётом моделируемых физических процессов.

6.3.2 Для соединений должны быть установлены их конструктивное

исполнение, геометрические и механические характеристики, предварительное натяжение – при наличии, зазоры, а при моделировании разрушения — предельные усилия, перемещения или иные параметры применяемого критерия.

6.3.3 Для контактных взаимодействий должны быть установлены коэффициенты статического и динамического трения.

6.3.4 Характеристики материалов, соединений и контактных взаимодействий принимают по результатам испытаний или документированным научным, техническим, нормативным либо справочным данным с учётом области их применимости. При отсутствии необходимых фактических данных допускается использовать обоснованные значения в соответствии с 6.1.3.

6.4 Данные об испытательном автомобиле

6.4.1 Исходные данные должны обеспечивать идентификацию испытательного автомобиля.

6.4.2 Для испытательного автомобиля должны быть указаны:

– общая масса автомобиля с учётом балласта;

– масса, передаваемая на каждую ось автомобиля;

– масса автомобиля без учета балласта – при необходимости, масса балласта;

– габаритная длина и ширина автомобиля.

6.5 Данные об основании и условиях установки

6.5.1 Исходные данные должны характеризовать основание, способ установки и закрепления дорожного ограждения, а также вид и состояние поверхности движения испытательного автомобиля.

6.5.2 При проведении валидационного виртуального испытания должны учитываться фактические погодные условия на испытательной площадке и их влияние на характеристики грунта и поверхности движения испытательного автомобиля. Порядок учёта влияния погодных условий на принимаемые характеристики должен быть документирован.

6.5.3 В зависимости от конструкции основания и способа установки дорожного ограждения должны быть установлены:

– конструкция, геометрия и характеристики материалов фундаментов, опорных лотков и других опорных элементов, в которые устанавливается

ограждение;

– характеристики грунта или конструктивных слоёв основания;

– характеристики анкерных и иных креплений;

– высотное положение ограждения, уклоны и расстояния до элементов, способных повлиять на результаты.

6.5.4 Для бетонных и железобетонных элементов основания должны быть установлены характеристики бетона, необходимые для применяемой модели материала, а для железобетонных элементов — также параметры, расположение и характеристики арматуры.

6.5.5 Для грунта устанавливают характеристики, необходимые для задания параметров применяемой модели материала с учётом условий взаимодействия грунта с ограждением.

При отсутствии необходимых фактических данных допускается использовать обоснованные оценочные значения, в том числе полученные при калибровке модели по имеющимся данным натурного испытания. При этом указывают использованные данные, способ определения значений и принятые допущения. Полученные таким способом значения не относят к фактически измеренным характеристикам грунта.

Принятые характеристики грунта и основания их выбора документируют в методических документах по 4.3.1 и (или) документации конкретного виртуального испытания. При использовании методических документов указывают сведения, позволяющие однозначно установить применённый набор характеристик, и документируют отклонения от него.

6.5.6 Для анкерных креплений должны быть определены тип, количество и схема расположения анкеров, геометрические размеры, предварительное натяжение или моменты затяжки – при наличии, характеристики, необходимые для описания деформаций и разрушения.

6.6 Данные об условиях наезда

6.6.1 Исходные данные об условиях наезда должны включать скорость и угол наезда, положение точки или участка первоначального контакта, а при необходимости — дополнительные сведения, определяющие начальные условия взаимодействия.

6.6.2 При проведении виртуальных испытаний по ГОСТ 33129 номинальные

значения параметров наезда и допускаемые отклонения устанавливают в соответствии с указанным стандартом. Для валидационного виртуального испытания используют фактические значения параметров соответствующего натурного испытания.

7 Требования к ЦМ ВИ

7.1 Общие требования

7.1.1 ЦМ ВИ в общем случае должна включать:

– модель дорожного ограждения;

– модель испытательного автомобиля, а в случаях, предусмотренных условиями испытания, — модели иных взаимодействующих объектов, включая автомобиль прикрытия;

– модель основания и условий установки дорожного ограждения;

– модели материалов, соединений и контактных взаимодействий;

– начальные и граничные условия;

– модель поверхности движения испытательного автомобиля;

– виртуальные средства регистрации величин.

7.1.2 ЦМ ВИ должна воспроизводить механизмы деформирования, перемещения, взаимодействия и разрушения моделируемых объектов, существенные для достижения цели виртуального испытания и определения контролируемых показателей.

7.1.3 Допускается оценивать возможность возникновения отдельных явлений, в том числе разрушения, без их непосредственного воспроизведения в ЦМ ВИ, с применением аналитических или полуаналитических критериев и величин, полученных по результатам расчёта. Применяемые критерии, их параметры, предельные значения и область применимости должны быть обоснованы и установлены в методических документах по 4.3.1.

Если возникновение оцениваемого явления изменяет дальнейшее взаимодействие объектов, результаты расчёта без воспроизведения этого явления допускается использовать только в пределах, для которых обоснована их применимость.

7.1.4 В составе ЦМ ВИ или относящейся к ней документации должны быть однозначно определены применяемые способы моделирования и расчётные

параметры, существенно влияющие на контролируемые показатели, в том числе:

– модели материалов, соединений и критерии разрушения;

– типы и формулировки конечных элементов;

– алгоритмы и параметры контактных взаимодействий;

– схемы интегрирования и параметры управления шагом по времени;

– способы и параметры численной стабилизации, включая подавление нулевых энергетических мод;

– параметры масштабирования массы и демпфирования — при их применении.

Для автоматически определяемых параметров документируют правила их определения и установленные ограничения. Для параметров, существенно влияющих на контролируемые показатели, принимаемых по умолчанию, должна быть обеспечена возможность установления фактически использованных значений.

7.1.5 Общие для нескольких ЦМ ВИ способы моделирования и допустимые диапазоны расчётных параметров допускается устанавливать в методических документах по 4.3.1 с приведением однозначной ссылки на применённую редакцию документа.

7.1.6 При подготовке ЦМ ВИ модифицированного ограждения документируют изменения относительно валидированной ЦМ ВИ, включая изменения геометрии, характеристик материалов и соединений, способов моделирования и расчётных параметров.

7.2 Модель дорожного ограждения

7.2.1 Модель дорожного ограждения должна воспроизводить его состав, геометрию и взаимное расположение элементов, их массово-инерционные характеристики, жёсткость и механизмы совместной работы.

7.2.2 На участках дорожного ограждения, не оказывающих существенного влияния на результаты виртуального испытания, допускается снижать степень детализации модели или применять упрощённое представление отдельных элементов или участков при сохранении жёсткости и механизмов передачи усилий, существенных для определения контролируемых показателей.

7.2.3 Для балок на участке взаимодействия с испытательным автомобилем модели соединений и сопряжённых с ними участков элементов должны

воспроизводить передачу усилий, податливость, зазоры и возможные относительные перемещения, а также деформирование зон соединения и, при существенном влиянии на контролируемые показатели, их разрушение с учётом положений 7.1.3. Применяемые упрощения не должны исключать предусмотренные конструкцией механизмы подвижности и перераспределения усилий.

7.2.4 Степень детализации геометрии элементов в областях возможной местной потери устойчивости или контактного взаимодействия должна обеспечивать воспроизведение характерной формы потери устойчивости, а также характера и площади контактного взаимодействия.

7.2.5 При моделировании разрушения допускается применять упрощённое представление с заранее заданным направлением или траекторией развития трещины, если такое направление установлено и устойчиво воспроизводится для рассматриваемого конструктивного исполнения и условий нагружения.

7.2.6 До начала взаимодействия с испытательным автомобилем модель дорожного ограждения должна быть приведена в квазистатическое состояние, соответствующее начальным условиям испытания, с учётом предусмотренного предварительного натяжения соединений и действия собственного веса.

7.3 Модель испытательного автомобиля и автомобиля прикрытия

7.3.1 Модель испытательного автомобиля должна воспроизводить его геометрические и массово-инерционные характеристики, деформируемость и работу систем, влияющих на взаимодействие с ограждением, движение автомобиля и контролируемые показатели.

7.3.2 Модель балласта должна воспроизводить его размещение, способ закрепления и взаимодействие с конструкцией испытательного автомобиля, включая возможные относительные перемещения, в той мере, в которой они существенно влияют на контролируемые показатели.

7.3.3 В модели испытательного автомобиля должны быть предусмотрены виртуальные средства регистрации величин, обеспечивающие получение ускорений и параметров углового движения в локальной системе координат, необходимых для определения контролируемых показателей в соответствии с ГОСТ 33129.

Положение виртуальных средств регистрации величин, ориентация их осей,

способ связи с моделью автомобиля и параметры регистрации должны быть установлены и документированы.

7.3.4 При виртуальном испытании мобильного фронтального ограждения ЦМ ВИ должна включать модель автомобиля прикрытия, требования к которому аналогичны требованиям к испытательному автомобилю.

7.3.5 До начала взаимодействия с ограждением состояние модели автомобиля должно соответствовать заданным начальным условиям испытания. Остаточные колебания, вызванные подготовкой модели, не должны существенно влиять на контролируемые показатели.

7.4 Модель основания и условий установки

7.4.1 Модель основания и условий установки должна воспроизводить сопротивление перемещению и повороту элементов дорожного ограждения, а также сохранять общую кинематику его работы, включая возможные взаимные перемещения элементов.

7.4.2 При моделировании установки ограждения в грунт должны учитываться деформируемость грунта и его взаимодействие с элементами ограждения в той мере, в которой они влияют на контролируемые показатели виртуального испытания. Применение недеформируемого основания или жёсткого закрепления вместо модели грунта допускается при обосновании отсутствия существенного влияния такого упрощения на контролируемые показатели.

7.4.3 Для бетонных лотков, фундаментов и других элементов установки дорожного ограждения должно учитываться влияние окружающего массива грунта на их деформирование и перемещение. Размеры моделируемого массива грунта должны быть достаточными для исключения существенного влияния его границ на поведение элементов установки ограждения.

7.4.4 Модели фундаментов, анкерных и иных креплений должны воспроизводить их жёсткость, податливость, возможные перемещения и разрушение, если соответствующие процессы существенно влияют на работу дорожного ограждения.

7.4.5 Модель поверхности движения испытательного автомобиля должна воспроизводить её геометрию и взаимодействие с шинами с учётом коэффициентов трения, установленных в исходных данных.

7.5 Модели материалов, соединений и контактных взаимодействий

7.5.1 Модели материалов, соединений и контактных взаимодействий должны соответствовать исходным данным, учитываемым физическим процессам и диапазону условий нагружения при виртуальном испытании.

7.5.2 Модели материалов должны учитывать упругие и пластические свойства, зависимость свойств от скорости деформации, предысторию нагружения, повреждения и разрушения в той мере, в которой соответствующие свойства и процессы способны существенно повлиять на контролируемые показатели.

7.5.3 Параметры моделей материалов должны быть определены или откалиброваны в диапазоне, охватывающем состояния материала, ожидаемые при виртуальном испытании. Источники данных, способы определения, калибровки и экстраполяции параметров, а также связанные с ними допущения и ограничения должны быть документированы.

7.5.4 При моделировании разрушения должны быть установлены применяемые модели или критерии, способы определения их параметров и область применимости. Влияние пространственной дискретизации на результаты моделирования разрушения должно быть оценено при верификации в соответствии с разделом 8 и учтено при выборе параметров модели.

7.5.5 Модели соединений должны воспроизводить передачу усилий, податливость, зазоры, предварительное натяжение, возможные относительные перемещения и разрушение в той мере, в которой соответствующие процессы способны существенно повлиять на работу дорожного ограждения или контролируемые показатели.

7.5.6 Модели контактных взаимодействий должны воспроизводить передачу контактных усилий, разделение и относительное скольжение взаимодействующих поверхностей с учётом трения в той мере, в которой соответствующие процессы существенно влияют на контролируемые показатели.

8 Верификация ЦМ ВИ и контроль реализации исходных данных

8.1 Общие требования

8.1.1 Для каждой ЦМ ВИ проверяют правильность реализации исходных

данных и постановки задачи.

8.1.2 Численную корректность контролируют для каждого расчёта, результаты которого используют для валидации ЦМ ВИ, определения контролируемых показателей или формирования выводов виртуального испытания.

8.2 Проверка реализации исходных данных и постановки задачи

8.2.1 Проверку выполняют по контрольному перечню приложения Б настоящего стандарта. При необходимости перечень дополняют с учётом особенностей рассматриваемого виртуального испытания.

8.2.2 Выявленные несоответствия устраняют до выполнения расчёта. После внесения изменений повторно проверяют затронутые позиции контрольного перечня.

Если несоответствие выявлено после расчёта, необходимость его повторного выполнения определяют с учётом влияния исправлений на результаты. Использование результатов без повторного расчёта должно быть обосновано.

8.3 Контроль численной корректности расчёта ЦМ ВИ

8.3.1 При контроле численной корректности выполняют проверки, предусмотренные ГОСТ 33129—2024, настоящим стандартом и примененными методическими документами. Рекомендации по представлению результатов контроля численной корректности приведены в приложении В.

8.3.2 Контроль выполняют на всём интервале расчёта, влияющем на определение контролируемых показателей, включая этапы формирования начального состояния. При поэтапном выполнении расчёта проверяют корректность передачи состояния модели между этапами.

8.3.3 Дополнительно контролируют отсутствие признаков численной некорректности, в том числе:

– нефизичного выброса узлов или конечных элементов;

– возникновения объёмных конечных элементов с отрицательным вычисляемым объёмом;

– чрезмерного искажения конечных элементов, нарушающего корректность вычислений;

– иных признаков численной неустойчивости, способных повлиять на контролируемые показатели.

Предусмотренное моделью разрушения удаление элементов или размыкание связей само по себе не является признаком численной некорректности и не освобождает от выполнения установленных критериев.

8.3.4 Для каждого расчёта строят графики изменения энергетических составляющих во времени. На графиках приводят:

– кинетическую энергию;

– внутреннюю энергию;

– полную энергию;

– энергию стабилизации нулевых энергетических мод — при её применении;

– контактную энергию — при её вычислении используемым ПО КМ;

– иные составляющие, учитываемые при оценке энергетического баланса.

При оценке баланса учитывают работу внешних воздействий, демпфирование и удаление элементов, если они предусмотрены постановкой задачи. Состав энергетических величин и способ их учёта принимают в соответствии с их определением в документации ПО КМ.

Пример представления энергетических составляющих приведён в приложении В настоящего стандарта.

8.3.5 Влияние пространственной и временной дискретизации на моделирование оценивают сопоставлением расчётных вариантов с различной дискретизацией. Допускается использовать ранее полученные результаты такой оценки при обосновании их применимости к рассматриваемой модели.

Состав расчётных вариантов, сопоставляемые характеристики и критерии оценки устанавливают в применённых методических документах. При моделировании разрушения оценка должна охватывать влияние пространственной дискретизации в областях возможного разрушения.

8.3.6 Результаты расчёта, не соответствующего критериям численной корректности, установленным настоящим стандартом и применённой МВИ, не допускается использовать для валидации ЦМ ВИ, определения контролируемых показателей и формирования выводов виртуального испытания.

8.3.7 Результаты проверок документируют с указанием применённых критериев, фактически полученных значений, выявленных несоответствий и принятых мер по их устранению.

8.4 Верификация модели испытательного автомобиля

8.4.1 Верификацию модели испытательного автомобиля выполняют в соответствии с ГОСТ 33129—2024 (приложение Г). Справочные сведения о верификации модели испытательного автомобиля приведены в приложении Г настоящего стандарта.

8.4.2 Модель считают прошедшей верификацию при выполнении всех установленных для неё проверок и соблюдении соответствующих критериев. Результаты верификации оформляют в соответствии с разделом 10.

9 Валидация ЦМ ВИ

9.1 Общие требования

9.1.1 Валидацию ЦМ ВИ проводят путём сопоставления результатов валидационного виртуального испытания с документированными результатами соответствующего натурного испытания.

9.1.2 Валидационное виртуальное испытание должно воспроизводить объект, фактические параметры и условия соответствующего натурного испытания. Исходные данные принимают в соответствии с разделом 6, ЦМ ВИ подготавливают в соответствии с разделом 7.

9.1.3 При проведении валидации цифровых моделей виртуальных испытаний по ГОСТ 33129—2024 выполняют требования 6.5 указанного стандарта с учётом дополнительных требований настоящего раздела.

9.1.4 Сопоставлению подлежат одноимённые величины, определённые при натурном и виртуальном испытаниях по одинаковым правилам, в одинаковых системах координат и относительно одинаковых исходных положений.

9.2 Данные для сопоставления результатов

9.2.1 Валидацию ЦМ ВИ проводят на основании предоставленных документированных результатов натурного испытания и сведений об объекте, параметрах и условиях его проведения. Представленные сведения проверяют на полноту, взаимную согласованность и достаточность для сопоставления с результатами виртуального испытания. Состав сопоставляемых характеристик определяют с учётом содержания предоставленных материалов и установленных

критериев валидации.

9.2.2 Для сопоставления используют следующие сведения, содержащиеся в предоставленных материалах:

– фактические значения массы, скорости и угла наезда испытательного автомобиля, а также рассчитанную по ним энергию удара;

– максимальное значение индекса тяжести травмирования;

– максимальный динамический или остаточный прогиб ограждения;

– рабочая ширина — для бокового ограждения;

– рабочая длина — для фронтального ограждения;

– длина перемещения грузового автомобиля прикрытия — для мобильного фронтального ограждения.

Дополнительными данными могут являться:

– сведения о движении испытательного автомобиля, характере деформирования и разрушения ограждения;

– фотографии, видеозаписи, схемы и другие материалы натурного испытания.

9.2.3 Дополнительно допускается использовать зависимости ускорений, усилий и перемещений от времени, остаточные прогибы отдельных стоек и других характерных точек, а также иные документированные характеристики натурного испытания.

9.2.4 Выявленные неполнота, неопределённость и противоречия в данных натурного испытания должны быть документированы. Их влияние на возможность выполнения валидации и использования её результатов должно быть оценено.

9.3 Качественное сопоставление результатов

9.3.1 При валидации ЦМ ВИ по ГОСТ 33129 качественно сопоставляют результаты виртуального и натурного испытаний по контрольным показателям, которые оценивали при натурном испытании.

9.3.2 При наличии соответствующих сведений сопоставляют:

– стабильность траектории автомобиля в процессе разгона;

– характер движения испытательного автомобиля;

– существенные повреждения автомобиля (отрыв осей, падение двигателя, отрыв шасси от кузова и другие);

– характер деформирования стоек, балок, соединений, основания и других рабочих элементов;

– места и виды разрушения, отсоединения или отделения элементов дорожного ограждения;

– проникновение элементов ограждения в испытательный автомобиль и иные явления, влияющие на показатели пассивной безопасности;

– другие качественные характеристики, предусмотренных применимыми нормативными документами.

9.3.3 Качественное соответствие устанавливают по описанию результатов, схемам, фотографиям и синхронизированным кадрам видеозаписи.

9.3.4 Различия в механизмах взаимодействия, деформирования или разрушения, способные существенно повлиять на контролируемые показатели либо область применения ЦМ ВИ, не допускаются.

9.4 Количественное сопоставление результатов

9.4.1 Количественное сопоставление выполняют путём определения абсолютных или относительных отклонений одноимённых характеристик виртуального и натурного испытаний.

9.4.2 Абсолютное отклонение характеристики X определяют по формуле:

$$\Delta_X = |X_{\text{ВИ}} - X_{\text{НИ}}|, \quad (1)$$

где $X_{\text{ВИ}}$ и $X_{\text{НИ}}$ — значения сопоставляемой характеристики соответственно при виртуальном и натурном испытаниях.

9.4.3 Относительное отклонение характеристики X определяется по формуле:

$$\delta_X = \frac{|X_{\text{ВИ}} - X_{\text{НИ}}|}{X_{\text{НИ}}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

9.4.4 Предельное абсолютное отклонение динамического прогиба, рабочей ширины и остаточного прогиба:

$$\tau_X = 0{,}05 \text{ м} + 0{,}05\, X_{\text{НИ}} \quad (3)$$

9.4.5 При проведении валидации по ГОСТ 33129—2024 применяют критерии таблицы 1, соответствующие требованиям таблиц 7–9 указанного стандарта.

9.4.6 Остаточные прогибы отдельных стоек или других характерных точек допускается использовать как дополнительные характеристики валидации. Критерии их сопоставления должны быть установлены в МВИ, техническом задании или применимом нормативном документе до проведения валидационного расчёта.

9.4.7 Если иной применимый нормативный документ устанавливает другие или дополнительные критерии валидации, дополнительно применяют критерии этого документа. При отсутствии в нём критериев допускается применять критерии таблицы 1 в части, соответствующей виду ограждения и составу определяемых характеристик.

Таблица 1 — Критерии количественного сопоставления результатов

Вид ограждения	Характеристика	Критерий	Формула для вычисления
Боковое	Энергия удара, кДж	$\delta_E \leq 1$ %	2
	Индекс тяжести травмирования	$\Delta_I \leq 0{,}1$	1
	Динамический прогиб D, м	$\Delta_D \leq \tau_D$	1,3
	Рабочая ширина W, м	$\Delta_W \leq \tau_W$	1,3
	Остаточный прогиб O, м	$\Delta_O \leq \tau_0$	1,3
Фронтальное	Энергия удара E, кДж	$\delta_E \leq 1$ %	2
	Индекс тяжести травмирования I	$\Delta_I \leq 0{,}1$	1
	Рабочая длина L, м	$\delta_L \leq 15$ %	2
Мобильное фронтальное	Энергия удара, кДж	$\delta_E \leq 1$ %	2
	Индекс тяжести травмирования	$\Delta_I \leq 0{,}1$	1
	Длина перемещения грузового автомобиля прикрытия S, м	$\delta_S \leq 15$ %	2

9.5 Оценка результатов валидации

9.5.1 ЦМ ВИ считают прошедшей валидацию по рассматриваемому расчётному случаю, если:

– фактические параметры и условия валидационного виртуального испытания соответствуют данным натурного испытания, а отклонение энергии удара удовлетворяет установленному критерию;

– выполнены критерии количественного сопоставления для всех характеристик, включённых в валидацию;

– подтверждено качественное соответствие по всем требованиям и

явлениям, для которых имеются документированные сведения;

– не выявлены различия в механизмах взаимодействия, деформирования или разрушения, способные существенно повлиять на контролируемые показатели.

9.5.2 Невыполнение хотя бы одного установленного критерия должно быть проанализировано. После корректировки исходных данных, ЦМ ВИ или параметров расчёта соответствующие этапы верификации и валидации выполняют повторно.

9.5.3 Изменения ЦМ ВИ, выполненные по результатам сопоставления с натурным испытанием, должны быть обоснованы и документированы. Окончательные параметры валидированной ЦМ ВИ должны быть зафиксированы и однозначно идентифицированы.

9.5.4 Результаты валидации и перечень выполненных критериев приводят в протоколе валидационного виртуального испытания или в отдельном документе, на который дана однозначная ссылка в протоколе.

9.6 Применимость результатов ранее выполненной валидации

9.6.1 До проведения сертификационного виртуального испытания оценивают влияние изменений ЦМ ВИ, конфигурации ПО КМ и вычислительной среды на применимость результатов ранее выполненной валидации. При оценке учитывают изменения объекта и условий испытания, способов моделирования и расчётных параметров, способные повлиять на контролируемые показатели.

9.6.2 Повторную валидацию допускается не проводить, если изменения находятся в пределах ранее документированной области применимости результатов валидации либо сохранение их применимости подтверждено проверками, установленными в методических документах по 4.3.1. Обоснование должно содержать перечень изменений, использованные доказательные материалы и вывод о применимости результатов валидации.

10 Проведение обработка и оформление результатов ВИ

10.1 Проведение расчета

10.1.1 До начала взаимодействия испытательного автомобиля с дорожным ограждением ЦМ ВИ должна быть приведена в начальное состояние в соответствии с разделом 7.

10.1.2 Состав сохраняемых расчётных данных и частота их регистрации должны обеспечивать определение контролируемых показателей и выполнение

контроля численной корректности по разделу 8.

10.1.3 Продолжительность расчёта должна быть достаточной для определения всех контролируемых показателей. При проведении виртуальных испытаний по ГОСТ 33129 продолжительность расчёта устанавливают с учётом требований 6.4.2 ГОСТ 33129—2024.

10.1.4 Фактические значения параметров наезда определяют по расчётным данным в момент начала взаимодействия испытательного автомобиля с дорожным ограждением и сопоставляют с заданными значениями с учётом установленных допускаемых отклонений. При валидационном виртуальном испытании заданные значения принимают по фактическим параметрам соответствующего натурного испытания.

10.2 Обработка результатов

10.2.1 Контролируемые показатели определяют по расчётным данным в соответствии с применимыми нормативными требованиями и применёнными методическими документами.

10.2.2 Применяемые системы координат, начало отсчёта времени, методы и параметры фильтрации, интервалы обработки и правила определения максимальных и остаточных значений устанавливают в методических документах или документации конкретного виртуального испытания.

10.2.3 Необработанные расчётные данные сохраняют в объёме, достаточном для повторного определения и проверки контролируемых показателей.

10.3 Оформление и техническая проверка результатов

10.3.1 Результаты исследовательского виртуального испытания оформляют отчётом, а результаты валидационного и сертификационного виртуальных испытаний — протоколами.

10.3.2 Протоколы валидационных и сертификационных виртуальных испытаний оформляют в соответствии с ГОСТ Р 58973.

10.3.3 Документ, содержащий результаты виртуального испытания, должен включать непосредственно в основной части или приложениях или посредством однозначных ссылок:

– наименование организации, обозначение и дату документа;

– цель и вид виртуального испытания;

– идентификацию дорожного ограждения;

– заданные и фактические параметры наезда;

– результаты проверок по разделу 8;

– значения количественных контролируемых показателей с указанием единиц величин и описание качественных контролируемых показателей;

– сведения о существенных особенностях движения испытательного автомобиля, деформирования и разрушения дорожного ограждения и необходимые графические материалы;

– выявленные отклонения, принятые допущения и ограничения применимости результатов;

– сведения, позволяющие однозначно идентифицировать использованные исходные данные, ЦМ ВИ и выполненный расчёт;

– обозначения и версии применённых методических документов;

– сведения об идентификации ПО КМ, его конфигурации и вычислительной среде;

– основания подтверждения применимости ПО КМ;

– сведения о результатах валидации ЦМ ВИ — если валидацию выполняли или использовали её результаты;

– сведения об исполнителях и лице, выполнившем техническую проверку.

Результаты определения контролируемых показателей и основные выводы приводят непосредственно в отчёте или протоколе.

10.3.4 В отчёте об исследовательском виртуальном испытании приводят результаты и выводы в объёме, соответствующем установленной цели испытания.

10.3.5 В протоколе валидационного виртуального испытания приводят результаты валидации в соответствии с разделом 9.

10.3.6 В протоколе сертификационного виртуального испытания приводят контролируемые показатели в составе, предусмотренном применимыми требованиями ГОСТ 33128 и ГОСТ 33129, и результаты оценки их соответствия установленным требованиям. Дополнительно указывают:

– ссылку на протокол валидационного виртуального испытания;

– отличия модифицированного дорожного ограждения от исполнения ограждения, использованного при валидации;

– изменения способов моделирования, расчётных параметров, конфигурации ПО КМ и вычислительной среды относительно использованных при валидации — при наличии.

Обосновывающие материалы допускается приводить в приложении к протоколу либо оформлять отдельным документом, на который в протоколе дана

однозначная ссылка.

10.3.7 Результаты виртуального испытания подлежат технической проверке специалистом, не участвовавшим непосредственно в выполнении проверяемой части работы. Проверка должна включать:

– соответствие использованных исходных и расчётных данных идентифицированной ЦМ ВИ;

– наличие результатов проверок, предусмотренных разделом 8;

– правильность определения фактических параметров наезда;

– соблюдение установленных правил обработки результатов;

– полноту и правильность определения контролируемых показателей;

– соответствие сведений, приведённых в оформляемом документе, исходным результатам расчёта;

– обоснованность сформулированных выводов и указанных ограничений.

10.3.8 Результаты технической проверки документируют. Выявленные ошибки устраняют, после чего затронутые результаты проверяют повторно.

10.4 Хранение материалов виртуального испытания

10.4.1 Организация, проводящая виртуальное испытание, должна обеспечить сохранность и возможность предоставления для проверки материалов, позволяющих установить условия получения результатов, повторно выполнить расчёт и обработку его результатов, в том числе:

– использованных исходных данных и методических документов;

– полного комплекта входных файлов ЦМ ВИ, включая подключаемые файлы и данные, необходимые для выполнения отдельных этапов расчёта;

– сведений об идентификации ПО КМ, его конфигурации и вычислительной среде;

– параметров запуска и настроек, заданных вне входных файлов ЦМ ВИ;

– диагностических сообщений, необходимых для установления фактически применённых настроек и проверки численной корректности;

– документов, подтверждающих применимость ПО КМ и результаты проверок ЦМ ВИ, включая результаты валидации, если её выполняли или использовали её результаты;

– отчёта или протокола виртуального испытания и результатов его технической проверки.

10.4.2 Материалы, общие для нескольких виртуальных испытаний, допускается хранить в одном экземпляре при обеспечении однозначной связи с

каждым расчётом и сохранности использованной редакции.

10.4.3 Порядок и сроки хранения материалов устанавливают в документах организации с учётом применимых требований.

Приложение А

(справочное)

Основные требования к различным видам виртуальных испытаний

Таблица А.1 Основные требования к различным видам виртуальных испытаний

Характеристика	Исследовательские ВИ	Валидационное ВИ	Сертификационные ВИ
Основа проведения и исходные данные	Проектные, расчётные, справочные и (или) фактические данные в объёме, необходимом для достижения цели ВИ	Документированные результаты конкретного натурного испытания и фактические данные о его объекте, параметрах и условиях	Валидированная ЦМ ВИ и документированные данные о модифицированном ограждении и условиях ВИ. Внесённые изменения идентифицируют и обосновывают
Верификация ЦМ ВИ	По разделу 8 с учётом цели ВИ и предполагаемого использования результатов	По разделу 8	По разделу 8 с учётом внесённых изменений
Валидация ЦМ ВИ	Необходимость устанавливают с учётом цели ВИ и предполагаемого использования результатов	Выполняют по разделу 9 путём сопоставления с результатами соответствующего натурного испытания	Используют результаты ранее выполненной валидации при соблюдении условий применения ВИ, установленных ГОСТ 33128
Оформление результатов	Отчёт об исследовательском ВИ	Протокол валидационного ВИ с результатами валидации и указанием её области	Протокол сертификационного ВИ со ссылками на результаты валидации и обоснованием соблюдения условий применения ВИ
Использование результатов при подтверждении соответствия	Не допускается	Не допускается	Допускается в случаях и при соблюдении условий, установленных ГОСТ 33128, с выполнением требований ГОСТ 33129 и настоящего стандарта

Приложение Б
(обязательное)
Контрольный перечень проверки реализации исходных данных и постановки задачи в ЦМ ВИ

Б.1 До выполнения основной стадии расчёта проводят проверку по таблице Б.1.

Таблица Б.1 — Перечень проверки соответствия ЦМ ВИ исходным данным

№	Объект проверки	Проверяемые сведения
1	Состав ЦМ ВИ	Наличие всех элементов и объектов, способных повлиять на контролируемые показатели
2	Геометрия	Размеры, толщины, сечения, отверстия, зазоры и взаимное положение элементов
3	Масса и инерция	Массы ограждения, автомобиля и балласта; центры масс и моменты инерции
4	Материалы	Назначение моделей материалов, параметров, локальных систем координат и направлений анизотропии
5	Соединения и контакты	Преднатяг, зазоры, контактная толщина, коэффициенты трения и критерии разрушения
6	Основание и закрепление	Модели грунта, фундаментов, анкеров, опирания и граничных условий
7	Испытательный автомобиль	Начальное положение, скорость, направление движения, масса автомобиля и балласта
8	Начальные условия	Гравитационное нагружение, предварительное напряжённое состояние
9	Численные параметры	Типы и размеры конечных элементов, точки интегрирования, параметры стабилизации и управления шагом
10	Средства регистрации	Положение виртуальных измерительных средств, системы координат и состав регистрируемых величин
11	Дефекты построения	Отсутствие непредусмотренных проникновений, дублирования, непредусмотренных зазоров, усилий, перемещений и иных дефектов

Б.2 Для каждого проверяемого сведения указывают один из следующих результатов проверки: «соответствует», «не соответствует» или «не применимо». Материалы, подтверждающие указанный результат, прилагают либо приводят ссылки на них.

Если по результатам проверки установлено несоответствие рассматриваемого объекта проверяемым параметрам, указывают выявленные несоответствия, принятые решения и результаты повторной проверки.

Если проверка отдельного параметра к рассматриваемому объекту неприменима, приводят соответствующее обоснование.

Приложение В

(обязательное)

Представление результатов контроля численной корректности расчёта

В.1 Пример оформления результатов контроля численной корректности представлен в таблице В.1.

Таблица В.1 – Контроль численной корректности

№	Критерий оценки при верификации	Изменение, %	Соответствие
1	Полная энергия расчётной системы (кинетическая, потенциальная, контактная и др.) не должна изменяться более чем на 10 % от начала до окончания расчёта.		
2	Энергия нулевых форм деформации (hourglass energy) в конце расчёта должна составлять менее 5 % полной начальной энергии системы.		
3	Энергия нулевых форм деформации в конце расчёта должна составлять менее 10 % полной внутренней энергии системы в продолжение расчёта.		
4	Для детали/материала с наибольшей энергией нулевых форм деформации её значение в конце расчёта должно составлять менее 10 % внутренней энергии соответствующей детали/материала в конце расчёта.		
5	Масса, добавленная в модель*, должна составлять менее 5 % начальной полной массы модели.		
6	Для детали/материала с наибольшим относительным увеличением массы добавленная масса должна составлять менее 5 % его начальной массы.		
7	Для движущихся деталей/материалов модели добавленная масса* должна составлять менее 2 % начальной массы движущихся частей модели.		
8	В расчёте отсутствуют вылетающие узлы (shooting nodes).		
9	В модели отсутствуют объёмные конечные элементы с отрицательным объёмом (negative volume).		
* Добавление массы допускается только посредством её автоматического масштабирования средствами ПО КМ для выполнения условия Куранта — Фридрихса — Леви при заданном шаге интегрирования по времени. Преднамеренное искажение исходных значений массы или плотности деталей не допускается.			

В.2 Состав энергетических величин, представляемых на графике, определяют с учётом используемого ПО КМ и принятого способа оценки энергетического баланса. Пример оформления графика приведен на рисунке В.1.

Обозначения энергетических величин должны соответствовать обозначениям, приведённым в отчётных данных ПО КМ, либо между ними должно быть установлено однозначное соответствие.

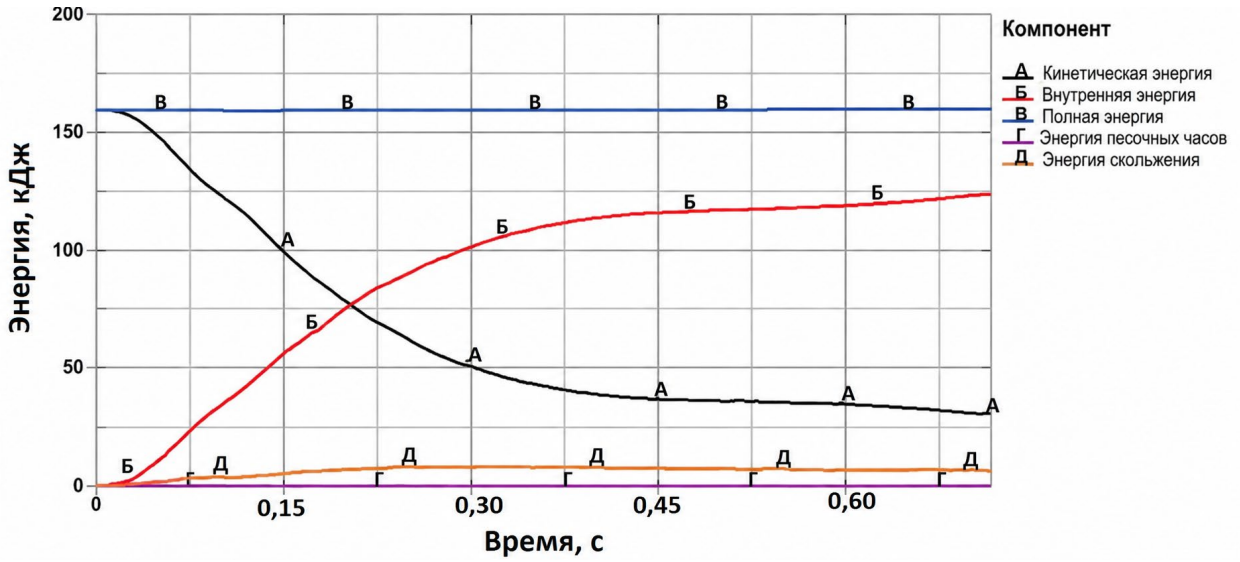

Рисунок В.1 – График баланса энергий

Приложение Г
(рекомендуемое)
Верификация модели автомобиля

Г.1 Устойчивость в неподвижном состоянии

Г.1.1 Модель автомобиля устанавливают на ровную горизонтальную поверхность при заданной загрузке. Начальные поступательную и угловые скорости принимают равными нулю. Прикладывают гравитационную нагрузку по тому же закону, что и при полном виртуальном испытании. Продолжительность проверки должна составлять 1,0 с.

Г.1.2 Модуль каждой из трёх компонент ускорения центра масс автомобиля не должен превышать 3g после применения фильтра CFC60, где g — ускорение свободного падения.

Г.1.3 Максимальное отклонение хода каждой подвески от исходного значения должно составлять:

– менее 80 мм — для грузовых автомобилей и автопоездов;

– менее 40 мм — для автобусов;

– менее 20 мм — для легковых автомобилей.

Ход подвески определяют по вертикальному перемещению центра ступицы относительно кузова или рамы.

Г.1.4 На заключительном участке расчёта длительностью не менее 0,5 с сумма вертикальных контактных сил под всеми колёсами автомобиля не должна отличаться от его полного веса более чем на 2 %.

На том же участке расчёта нагрузка на каждую ось не должна отличаться от контрольного значения более чем на 5 %. Нагрузку на ось определяют как сумму вертикальных контактных сил под всеми её колёсами, включая сдвоенные. Требования к суммарной реакции и нагрузкам на оси должны выполняться в течение всего оцениваемого участка.

Г.2 Корректность работы подвески

Г.2.1 Проверку проводят нагружением колёс через отдельные горизонтальные жёсткие площадки, расположенные под шинами. Контакт шин с площадками принимают без трения.

Г.2.2 Автомобиль устанавливают на площадки с учетом реального веса и его распределения по осям. После достижения статического равновесия закрепляют кузов или раму, сохраняя полученное предварительно нагруженное состояние подвески. Действие силы тяжести сохраняют в течение проверки.

Г.2.3 Нагружение осуществляют плавным принудительным перемещением

площадок вверх и вниз в квазистатическом режиме.

Каждую площадку перемещают поочерёдно, удерживая остальные площадки в исходном положении. Для подвесок со связанными колёсами дополнительно выполняют совместное перемещение площадок в одном направлении и в противоположных направлениях.

Конструктивные связи между колёсами сохраняют. Дополнительные ограничения перемещений и поворотов колёс не вводят. Управляющее звено рулевого механизма удерживают в положении прямолинейного движения.

Г.2.4 Для каждой схемы нагружения выполняют отдельные циклы сжатия и отбоя с возвратом площадок в исходное положение. Каждый цикл начинают из одного и того же исходного равновесного состояния.

Предельные ходы подвески устанавливают до проведения проверки по данным о конструкции автомобиля. При совместном нагружении перемещение площадок прекращают при достижении предельного хода хотя бы одной из проверяемых подвесок.

При потере контакта шины с площадкой дальнейшее опускание этой площадки прекращают. Если предельный ход отбоя при этом не достигнут, оставшийся участок хода проверяют отдельно принудительным перемещением ступицы.

Г.2.5 В процессе проверки регистрируют перемещения площадок, вертикальные перемещения центров ступиц относительно кузова или рамы и вертикальные контактные силы на всех связанных колёсах.

Ход подвески определяют по перемещению центра ступицы относительно кузова или рамы. Перемещение площадки за ход подвески не принимают, поскольку оно включает деформацию шины.

Изменение нагрузки на колесе, площадка под которым неподвижна, учитывают как результат взаимодействия элементов подвески.

Г.2.6 Полученные зависимости контактной силы от хода подвески сопоставляют с контрольными зависимостями для той же схемы нагружения и тех же граничных условий. Контрольные зависимости устанавливают до проверки по независимому расчёту с заданными характеристиками элементов либо по результатам испытаний.

Ветви нагружения и разгрузки сравнивают раздельно. Отклонение силы не должно превышать 5 % статической нагрузки на соответствующее колесо в исходном состоянии. При нулевой исходной нагрузке нормирующую силу устанавливают и обосновывают до проведения проверки.

Г.2.7 В результатах верификации приводят схему закрепления и нагружения, исходные нагрузки на колёса, достигнутые ходы подвески, полученные и контрольные силовые характеристики, максимальные отклонения и сведения о потере контакта шин с площадками.

Г.3 Корректность рулевого управления

Г.3.1 Проверку проводят при заданной загрузке автомобиля на горизонтальных жёстких площадках. Контакт шин с площадками принимают без трения. Действие силы тяжести сохраняют в течение проверки.

После достижения статического равновесия ограничивают перемещение кузова или рамы в горизонтальной плоскости и поворот вокруг вертикальной оси.

Г.3.2 Поворот осуществляют плавным принудительным перемещением или вращением одного ведущего звена рулевого механизма. Положение остальных звеньев и управляемых колёс должно определяться конструктивными связями модели.

Допускается задавать поворот одного управляемого колеса относительно его конструктивной оси поворота. Одновременное независимое задание углов всех управляемых колёс не допускается.

Г.3.3 Из положения прямолинейного движения выполняют поворот до предельного положения влево с последующим возвратом в исходное положение. Затем выполняют аналогичный цикл вправо.

Поворот проводят в квазистатическом режиме до предельных положений.

Г.3.4 В процессе проверки регистрируют положение ведущего звена и углы всех управляемых колёс.

Угол колеса определяют в горизонтальной плоскости между продольной осью автомобиля и линией пересечения средней плоскости колеса с горизонтальной плоскостью. Повороты влево и вправо учитывают с противоположными знаками.

Угол вращения колеса вокруг наклонной оси шкворня непосредственно за угол поворота колеса в горизонтальной плоскости не принимают.

Г.3.5 Полученные зависимости углов колёс от положения ведущего звена сопоставляют с контрольными зависимостями. Контрольные зависимости устанавливают до проверки по независимому кинематическому расчёту конструкции рулевого механизма либо по результатам измерений.

Исходное схождение, предусмотренные конструкцией люфты и условия закрепления учитывают одинаково в проверяемой модели и контрольных данных.

Для идеализированной двухосной модели с передними управляемыми колёсами, задними неуправляемыми колёсами и нулевым исходным схождением допускается использовать контрольную зависимость, соответствующую геометрии Аккермана.

Г.3.6 Соответствие оценивают по максимальному абсолютному отклонению угла каждого управляемого колеса от контрольного значения при одинаковом положении ведущего звена.

При сопоставлении с независимым кинематическим расчётом отклонение не должно превышать 0,1°. При сопоставлении с результатами измерений допускаемое

отклонение устанавливают и обосновывают до проверки с учётом точности контрольных данных.

Г.3.7 В результатах верификации приводят схему закрепления и задания поворота, полученные и контрольные зависимости углов колёс, предельные углы, принятые допуски и максимальные отклонения для каждого управляемого колеса.

Г.4 Устойчивость прямолинейного движения

Г.4.1 Проверку проводят на ровной горизонтальной поверхности при загрузке автомобиля, принятой для виртуального испытания.

Г.4.2 Модели задают начальную поступательную скорость, соответствующую скорости автомобиля при виртуальном испытании. Скорость направляют вдоль продольной оси автомобиля. Начальные угловые скорости колёс задают в соответствии с условием качения без проскальзывания.

Г.4.2 В течение проверки учитывают действие силы тяжести и взаимодействие шин с дорожным покрытием. Характеристики контакта и коэффициенты трения принимают такими же, как при виртуальном испытании.

Рулевое управление устанавливают в положение прямолинейного движения.

Г.4.3 Движение моделируют в течение 1,5 с с момента задания начальной скорости. В процессе проверки регистрируют положение центра масс автомобиля, его скорость и составляющие энергетического баланса.

Г.4.4 Прямолинейность движения оценивают по траектории центра масс автомобиля в горизонтальной плоскости.

За исходную прямую принимают линию, проходящую через начальное положение центра масс в направлении заданной начальной скорости.

Максимальное поперечное отклонение центра масс от исходной прямой за время проверки не должно превышать 0,1 длины пути, пройденного центром масс за тот же интервал времени. Длину пути определяют по фактической траектории центра масс.

В течение всего интервала проверки модуль скорости центра масс автомобиля в горизонтальной плоскости не должен отличаться от заданного начального значения более чем на 3 %.

Г.4.5 В результатах верификации приводят начальную скорость, траекторию центра масс с указанием исходной прямой, длину пройденного пути, максимальное поперечное отклонение, график изменения скорости и энергетический баланс.

Г.5 Устойчивость криволинейного движения

Г.5.1 Проверку проводят на ровной горизонтальной поверхности при загрузке автомобиля, принятой для виртуального испытания. Учитывают действие силы тяжести

и взаимодействие шин с дорожным покрытием. Характеристики контакта и коэффициенты трения принимают такими же, как при виртуальном испытании.

После достижения статического равновесия модели задают начальную скорость, равную 30 % скорости автомобиля при виртуальном испытании. Начальные угловые скорости колёс задают в соответствии с условием качения без проскальзывания.

Г.5.2 Поворот осуществляют плавным принудительным перемещением или вращением одного ведущего звена рулевого механизма. Положение остальных звеньев и управляемых колёс должно определяться конструктивными связями модели.

Закон изменения управляющего воздействия устанавливают до проведения проверки. Дополнительные связи, ограничивающие траекторию или поворот кузова автомобиля, не вводят.

Г.5.3 Управляющее воздействие изменяют до достижения изменения курсового угла автомобиля на 20° относительно исходного положения. После этого достигнутое положение ведущего звена рулевого механизма удерживают в течение 1 с.

Курсовой угол определяют в горизонтальной плоскости по направлению продольной оси кузова или рамы автомобиля относительно её исходного направления.

Г.5.4 В течение указанного интервала автомобиль должен сохранять криволинейное движение. Максимальное абсолютное отклонение курсового угла автомобиля от контрольного значения, соответствующего движению по окружности заданного радиуса в тот же момент времени, не должно превышать 5°.

Г.5.5 После завершения интервала удержания снимают управляющее воздействие и освобождают ведущее звено рулевого механизма. Принудительный возврат управляемых колёс в положение прямолинейного движения не задают.

Под действием возникающих в модели сил и моментов автомобиль должен перейти к прямолинейному движению.

Г.5.6 После перехода к прямолинейному движению расчёт продолжают в течение 1,5 с. Прямолинейность движения оценивают по Г.4.4.

За исходную прямую для этого участка принимают линию, проходящую через положение центра масс в начале оцениваемого участка и совпадающую с направлением его скорости в этот момент. Возврат автомобиля на первоначальную прямую движения не требуется.

Г.5.7 Проверку выполняют отдельно для поворотов влево и вправо из одинакового исходного состояния.

В результатах верификации приводят закон управляющего воздействия, траекторию центра масс, графики углов управляемых колёс, полученную и контрольную зависимости курсового угла, максимальное угловое отклонение, время перехода к прямолинейному движению, график скорости и энергетический баланс.

Г.6 Устойчивость в динамике

Г.6.1 Проверку проводят при загрузке автомобиля, принятой для виртуального испытания. Учитывают действие силы тяжести и взаимодействие шин с поверхностью движения. Характеристики контакта и коэффициенты трения принимают такими же, как при виртуальном испытании.

Г.6.2 После достижения статического равновесия модели задают начальную поступательную скорость 25 км/ч, направленную вдоль продольной оси автомобиля. Начальные угловые скорости колёс задают в соответствии с условием качения без проскальзывания. Рулевое управление устанавливают в положение прямолинейного движения.

Г.6.3 Автомобиль должен двигаться прямолинейно и съезжать с рампы высотой 80 мм и радиусом съезда 15 мм в соответствии с рисунком Г.1.

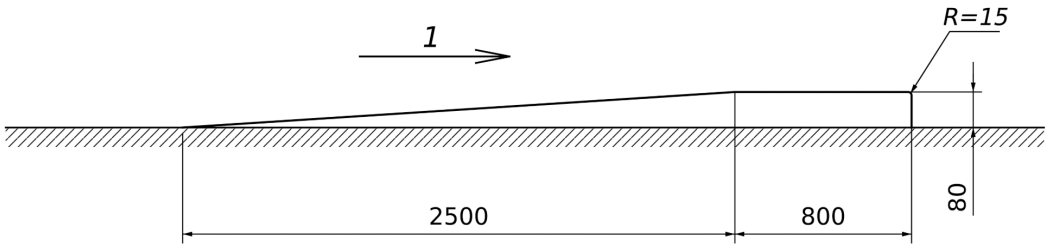

Рисунок Г.1 — Рампа съезда

Г.6.4 В процессе проверки регистрируют ход подвесок и составляющие энергетического баланса. Ход подвески определяют по вертикальному перемещению центра ступицы относительно кузова или рамы. Продолжительность расчёта должна быть достаточной для оценки затухания колебаний подвесок после съезда с рампы.

Г.6.5 После съезда с рампы амплитуда колебаний подвески должна уменьшиться не менее чем на 50 % относительно первого амплитудного значения за первые два цикла колебаний.

Амплитуды определяют относительно положения статического равновесия подвески. Для оценки затухания сопоставляют последовательные экстремумы одного знака.

Г.6.6 В результатах верификации приводят схему проверки, графики изменения хода подвесок во времени, значения сопоставляемых амплитуд и степень их уменьшения за два цикла колебаний, а также энергетический баланс.

Библиография

[1] Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 014/2011 Безопасность автомобильных дорог

УДК 625.748.32:006.354 МКС 93.080.30

Ключевые слова: дорожные ограждения, виртуальные испытания, натурные испытания, верификация, валидация

Руководитель организации-разработчика:

Генеральный директор,
канд. техн. наук — Б.Т. Тавшавадзе

Руководитель разработки:

Директор по развитию,
д-р техн. наук — И.В. Демьянушко

Исполнители:

Технический директор,
канд. техн. наук — И.А. Карпов

Ведущий инженер — А.Г. Локить

Инженер — С.З. Риза-Заде

Инженер — К.В. Добровольский