ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ГОСТ Р 57700.16— 2018**

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

## Процессы ударного взаимодействия. Верификация и валидация численных моделей высокоскоростных ударов и внедрений. Общие требования

**Издание официальное**

Москва
Стандартинформ
2018

gost.e-ecolog.ru

## Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Закрытым акционерным обществом «Т-Сервисы» (ЗАО «Т-Сервисы»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 700 «Математическое моделирование и высокопроизводительные вычислительные технологии»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 6 февраля 2018 г. № 56-ст

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 ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, 2018

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

## Содержание

1 Область применения . . . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . . . 1
3 Термины и определения . . . . . 2
4 Сокращения . . . . . 2
5 Требования к моделям поведения материалов при высокоскоростном ударном нагружении . . . . . 2
6 Требования к процедуре валидации моделей поведения материалов при высокоскоростном ударном нагружении . . . . . 2
7 Требования к численной расчетной модели и результатам численного моделирования . . . . . 4
8 Требования к процедуре валидации численной расчетной модели . . . . . 5
Приложение А (рекомендуемое) Структура матрицы валидации модели поведения материала при высокоскоростном ударе . . . . . 8
Приложение Б (рекомендуемое) Структура матрицы валидации численной расчетной модели высокоскоростного удара . . . . . 9
Библиография . . . . . 10

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

# Процессы ударного взаимодействия. Верификация и валидация численных моделей высокоскоростных ударов и внедрений. Общие требования

Numerical modeling of physical processes. Processes of impact interaction. Verification and validation of numerical models of high-velocity impacts and penetrations. General requirements

**Дата введения — 2019—01—01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает общие требования к процедурам валидации математических моделей динамического деформирования и разрушения твердых тел при высокоскоростном ударном нагружении, а также валидации результатов моделирования высокоскоростных ударов и внедрений.

Область применения настоящего стандарта ограничивается быстропротекающими процессами, сопровождающимися интенсивными деформациями и разрушением. Для таких процессов характерны наличие зависимости свойств материалов от скоростей деформаций, адиабатические условия протекания, возникновение упругопластических и ударных волн, разрушение материалов и конструкций, сопровождающееся образованием и развитием трещин и дислокаций.

Стандарт также устанавливает требования к формату численных расчетных моделей и представлению результатов моделирования с целью валидации расчетных моделей.

Применение настоящего стандарта является обязательным при подтверждении адекватности смоделированных процессов высокоскоростного ударного взаимодействия и внедрения поведению объектов реального мира.

## 2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 57188 Численное моделирование физических процессов. Термины и определения

ГОСТ Р 57700.7 Численное моделирование физических процессов. Процессы ударного взаимодействия. Термины и определения

Примечание — 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 стандарт, 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.

Издание официальное

## 3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ Р 57188 и ГОСТ Р 57700.7.

## 4 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:
БЭ — базовый эксперимент;
ВЭ — валидационный эксперимент;
ВЭД — вторичные экспериментальные данные;
ИО — испытательное оборудование;
КМ — компьютерное моделирование;
КПО — конструктивно подобный образец;
МАВЭ — материальный валидационный эксперимент;
МОВЭ — модельный валидационный эксперимент;
МПМ — модель поведения материала;
НДС — напряженно-деформированное состояние;
ОМ — объект моделирования;
ПО — программное обеспечение;
ПЭД — первичные экспериментальные данные;
СИ — средства измерения;
ЧРМ — численная расчетная модель;
ЭУ — экспериментальные установки.

## 5 Требования к моделям поведения материалов при высокоскоростном ударном нагружении

5.1 Определяющие соотношения, уравнения состояния и критерии разрушения, составляющие модель поведения материала при высокоскоростном ударном воздействии, должны учитывать зависимость своих параметров от скорости деформации и температуры при описании термомеханического поведения материала в условиях ударного нагружения.

5.2 МПМ должна учитывать локальный адиабатический разогрев материала вследствие рассеяния кинетической энергии.

5.3 МПМ должна допускать свою валидацию на основании результатов ударных экспериментов.

5.4 МПМ должна адекватно описывать поведение материала при ударном нагружении в возможно более широком диапазоне скоростей деформации и температур. При применении МПМ как элемента ЧРМ указывают диапазон скоростей деформации и температур, в котором допускается применение данной МПМ.

5.5 Параметры МПМ определяются на основании результатов БЭ в возможно более широком диапазоне скоростей деформаций и температур.

5.6 БЭ должны обеспечивать физически обоснованные данные, применимые для определения параметров МПМ в возможно более широком диапазоне скоростей деформации, температур и видов НДС.

5.7 БЭ должны обеспечивать воспроизводимость ПЭД с учетом систематических ошибок измерения параметров экспериментов и естественного разброса термомеханических характеристик материалов.

## 6 Требования к процедуре валидации моделей поведения материалов при высокоскоростном ударном нагружении

6.1 Выводы о валидируемости той или иной МПМ при высокоскоростном ударном нагружении делают на основе отчета о валидации МПМ.

6.2 Отчет о валидации МПМ является основным документом, обосновывающим способность МПМ моделировать поведение материала при высокоскоростных ударах и внедрениях с заявляемой погрешностью рассчитываемых параметров.

6.3 Состав и содержание отчета о валидации МПМ должны соответствовать требованиям настоящего стандарта.

6.4 Отчет о валидации МПМ должен содержать следующие разделы:

- Объект валидации;
- Матрица валидации;
- Описание МАВЭ;
- Результаты валидации МПМ;
- Описание экспериментальных установок и представление экспериментальных данных;
- Перечень источников.

6.5 В разделе «Объект валидации» приводят описание валидируемой МПМ со ссылками на соответствующие литературные источники или иные источники, содержащие математическое обоснование основных положений модели.

6.6 В разделе «Матрица валидации» должна быть приведена матрица валидации МПМ.

6.6.1 Матрица валидации МПМ для каждого моделируемого материала представляется в виде таблицы и является иллюстрацией того, в какой области проведена валидация МПМ.

6.6.2 В матрице валидации должны быть указаны:

- перечень МАВЭ с указанием погрешности получения ПЭД и ВЭД, используемых для валидации МПМ;
- значения параметров, характеризующих МАВЭ.

6.6.3 Рекомендуемая структура матрицы валидации МПМ приведена в приложении А.

6.6.4 Постановки МАВЭ, включенных в матрицу валидации, должны быть подробно описаны.

6.6.5 В зависимости от использованных математических моделей объекта и моделей поведения материалов в качестве МАВЭ рекомендуется применять приведенные ниже экспериментальные методики:

- плосковолновой ударный эксперимент [1], [2];
- метод разрезного стержня Гопкинсона [1], [3], [4];
- копровые испытания [1];
- метод Тэйлора [1], [4].

Эти методики хорошо зарекомендовали себя для экспериментального изучения процессов ударного нагружения, исследования свойств материалов и процессов их взаимодействия в широком диапазоне скоростей деформаций и амплитуд ударных нагрузок; имеют хорошее теоретическое обоснование, разработанные методики регистрации параметров; многократно апробированы для широкого спектра материалов. Для их проведения используют стандартизированное или типовое экспериментальное оборудование и средства измерения.

6.6.6 Для подтверждения адекватности полученных с применением МПМ расчетных значений параметров и их погрешностей в заявленном диапазоне скоростей деформаций применения МПМ должно быть приведено обоснование достаточности информации, включенной в матрицу валидации МПМ.

6.7 В разделе «Описание МАВЭ» должен быть приведен перечень экспериментов, использованных для обоснования МПМ, и краткое (но достаточное для понимания) описание каждого из них со ссылкой на источник информации, где это описание приведено подробно.

6.7.1 При описании должны быть указаны максимальные и средние отличия в сопоставляемых параметрах, допускаемые авторами МАВЭ.

6.8 В разделе «Результаты валидации МПМ» должны быть приведены результаты валидации МПМ и их анализ. В качестве результатов валидации МПМ и их анализа приводят:

- результаты сопоставлений расчетов, выполненных с использованием валидируемой МПМ, и результатов МАВЭ. Они должны быть ясно изложены с обоснованием и оценкой достоверности сопоставления. Следует указывать, в какой области не получено удовлетворительное совпадение результатов расчетов с применением МПМ и МАВЭ;
- обоснование полноты и достаточности проведенных сопоставлений. Должна быть дана количественная оценка расхождения результатов МАВЭ и МПМ, приведена погрешность расчетных параметров в заявленной области.

6.8.1 Результаты сопоставления результатов, полученных с использованием МПМ и МАВЭ, должны быть приведены на одном рисунке в одинаковом масштабе.

6.8.2 Результаты расчетов, полученных с использованием МПМ и МАВЭ, в приложении к отчету должны быть представлены в виде табличных данных.

6.9 В разделе «Описание экспериментальных установок и представление экспериментальных данных» приводят описание экспериментальных установок, используемых для МАВЭ, — место нахождения, наименование, инвентарный номер, даты изготовления и ввода оборудования в эксплуатацию, сведения о проведенных модификациях, технические характеристики установок, сведения о поверке (при применении) либо калибровке, фотографии оборудования. Отдельно приводят описания и характеристики средств регистрации, описание формата регистрируемых данных и методов их обработки, сведения о погрешности экспериментальных данных.

6.10 В разделе «Перечень источников» приводят библиографический список источников, использованных при составлении отчета о валидации МПМ.

## 7 Требования к численной расчетной модели и результатам численного моделирования

7.1 Для валидации решений численного моделирования высокоскоростных ударов и внедрений должны выполняться следующие требования к его результатам.

7.2 Результаты численного моделирования высокоскоростного удара должны содержать параметры процесса ударного взаимодействия, которые могут быть получены при проведении МОВЭ и/или ВЭ.

7.3 Диапазоны изменения значений параметров процесса ударного взаимодействия, получаемые в результате численного моделирования высокоскоростного удара, должны допускать свою реализацию при проведении МОВЭ и/или ВЭ.

7.4 Временные масштабы изменения значений параметров процесса ударного взаимодействия, получаемые в результате численного моделирования высокоскоростного удара, должны допускать свою реализацию при проведении МОВЭ и/или ВЭ.

7.5 ЧРМ должна обеспечивать возможность синхронизации во времени результатов численного моделирования с результатами МОВЭ и/или ВЭ.

7.6 ЧРМ должна адекватно воспроизводить начальные и граничные условия, реализуемые при проведении МОВЭ и/или ВЭ.

7.7 Осуществление процедур валидации ЧРМ подразумевает, что ЧРМ имеет численное решение и такое решение представлено в виде пояснительной записки к расчету и набора файлов с электронными (цифровыми) данными, содержащими результаты расчета.

7.8 Пояснительная записка к расчету должна содержать следующие разделы:

- Титульный лист;
- Введение;
- Цели и задачи моделирования;
- Описание ЧРМ;
- Описание формата регистрируемых данных;
- Таблица регистрируемых данных.

7.9 На титульном листе указывают:

- наименование расчета;
- полное наименование организации, проводившей расчет;
- время и место проведения расчета.

7.10 В разделе «Введение» должны быть приведены:

- наименование расчета;
- полное наименование организации, проводившей расчет;
- время и место проведения расчета;
- полное наименование организации, разработавшей ЧРМ;
- информация о ПО КМ и аппаратных средствах, использовавшихся для расчета.

7.11 В разделе «Цели и задачи моделирования» должны быть приведены:

- цель проведения расчета;
- задачи, на решение которых направлено моделирование.

7.12 В разделе «Описание ЧРМ» должны быть приведены:

- информация об объектах моделирования;
- описание алгоритма расчета;
- описание математической модели;
- описание численного метода;
- описание области расчета и ее дискретизации;

- описание начальных и граничных условий;
- описание МПМ, применяемых в ЧРМ.

7.13 В разделе «Описание формата регистрируемых данных» должны быть приведены:

- вид данных (двоичный, тестовый);
- структура данных;
- иная информация, необходимая для обработки данных.

7.14 В разделе «Таблица регистрируемых данных» приводят следующую информацию:

- тип регистрируемых данных;
- момент времени, в который зарегистрированы данные;
- перечень элементов дискретизации (объекты, сегменты, точки, узлы/элементы пространственной дискретизации), в которых зарегистрированы данные, с указанием номеров, диапазонов номеров или иных данных, позволяющих однозначно идентифицировать эти элементы;
- наименование, размер и формат файла, содержащего данные;
- прочую информацию, позволяющую однозначно определить расположение данных и получить их значения.

7.14.1 Данные, регистрируемые в процессе моделирования, должны содержать (но не ограничиваться) следующие значения:

- для расчета в целом:
  - а) начальный шаг интегрирования по времени;
  - б) начальные значения кинетической, внутренней и полной энергии системы;
- в заданные моменты времени для всей модели:
  - а) текущее значение времени;
  - б) текущее значение шага интегрирования;
  - в) текущие значения кинетической, внутренней и полной энергии системы;
- для каждого объекта в модели:
  - а) начальные и конечные значения кинетической, внутренней и полной энергии объекта;
  - б) начальные и конечные значения координат, скорости и ускорения центра масс объекта;
- в заданные моменты времени для заданных объектов в модели:
  - а) текущие значения кинетической, внутренней и полной энергии объекта;
  - б) текущие значения координат, скорости и ускорения центра масс объекта;
  - в) текущие значения перемещения, скорости и ускорения объекта как жесткого целого;
- в заданные моменты времени для заданных элементов (в точках, узлах и/или конечных элементах) пространственной дискретизации математической модели:
  - а) текущие координаты элемента;
  - б) шаг интегрирования в элементе;
  - в) текущие значения перемещений;
  - г) текущие значения скоростей;
  - д) текущие значения ускорений;
  - е) текущие значения деформаций в глобальной системе координат;
  - ж) текущие значения скоростей деформаций в глобальной системе координат;
  - и) текущие значения напряжений в глобальной системе координат;
  - к) текущие значения температуры в элементе;
  - л) текущие значения термодинамических параметров в элементе;
  - м) текущие значения, характеризующие поврежденное состояние среды (при наличии в модели);
  - н) статус элемента (в случае использования алгоритмов удаления элементов).

## 8 Требования к процедуре валидации численной расчетной модели

8.1 Отчет о валидации ЧРМ является основным документом, обосновывающим способность ЧРМ моделировать поведение КПО при высокоскоростном ударе и рассчитывать с заявляемой погрешностью параметры, необходимые для обоснования применимости ЧРМ.

8.2 Состав и содержание отчета о валидации ЧРМ должны соответствовать требованиям настоящего стандарта.

8.3 Отчет о валидации ЧРМ должен содержать следующие разделы:

- Введение;

- Описание объекта валидации;
- Матрица валидации;
- Описание валидационных расчетов с использованием ЧРМ;
- Описание методик проведения МОВЭ, экспериментальных установок и представление экспериментальных данных;
- Результаты валидации ЧРМ;
- Перечень источников.

8.4 В разделе «Введение» приводятся общие сведения о назначении ЧРМ и информация об организации, подготовившей отчет.

8.5 В разделе «Описание объекта валидации» приводят описание ЧРМ, подлежащей валидации. Описание должно содержать иллюстрированное описание объекта расчета, начальных и граничных условий, дискретизации математической модели, краткое, но достаточное для понимания описание математической модели объекта моделирования и МПМ со ссылками на источники информации, где это описание приведено подробно.

8.6 В разделе «Матрица валидации» должна быть приведена матрица валидации ЧРМ.

8.6.1 Матрица валидации ЧРМ для каждого моделируемого объекта и/или его элемента представляется в виде таблицы и является иллюстрацией того, в какой области проведена валидация ЧРМ. В матрице валидации должны быть указаны:

- виды воздействия на объект (и/или его элемент) и/или состояние объекта, которые ЧРМ моделирует;
- подлежащие проверке физические явления и/или процессы, происходящие при приведенных в матрице валидации режимах, состояниях объекта (и/или его элемента) и/или видах воздействия на объект;
- МОВЭ, служащие для проверки ЧРМ, в которых воспроизведены приведенные в матрице валидации виды воздействия на объект (и/или его элемент) и/или состояние объекта, а также экспериментальные установки (ЭУ) или испытательное оборудование (ИО), на которых проводят МОВЭ.

8.6.2 Рекомендуемая структура матрицы валидации ЧРМ приведена в приложении Б.

8.6.3 Физические явления, и/или процессы, и/или виды воздействия, включенные в матрицу валидации, должны быть подробно описаны.

8.6.4 Для подтверждения адекватности полученных с применением ЧРМ расчетных значений параметров и их погрешностей в заявленном диапазоне применения ЧРМ должно быть приведено обоснование достаточности информации, включенной в матрицу валидации ЧРМ.

8.7 В разделе «Описание валидационных расчетов с использованием ЧРМ» должны быть приведены перечень моделируемых МОВЭ, использованных для обоснования ЧРМ, и краткое (но достаточное для понимания) описание каждого из них со ссылкой на источник информации, где это описание приведено подробно.

8.7.1 Должны быть указаны диапазоны и погрешности сопоставляемых расчетных параметров.

8.8 В разделе «Описание методик проведения МОВЭ, экспериментальных установок и представление экспериментальных данных» должно быть приведено описание ЭУ (ИО) и представлены экспериментальные данные, используемые для валидации ЧРМ. Допускается описание ЭУ (ИО) и выполненных на ней экспериментов или испытаний, а также результаты валидации ЧРМ по этим экспериментам или испытаниям приводить в одном разделе.

8.8.1 В случае если ЭУ (ИО) не сертифицирована, должно быть дано ее описание.

8.8.2 В описании ЭУ (ИО) приводят:

- принципиальную схему, обеспечивающую понимание сути эксперимента, испытания, явления и т. п., с указанием, какие явления, процессы и/или элементы оборудования моделируются на ЭУ (ИО) и как;
- схему измерений, содержащую сведения о числе, расположении, погрешности, динамических характеристиках и частоте опроса измерительных датчиков, а также сведения о погрешности вторичной измерительной аппаратуры;
- перечень и диапазоны измеряемых параметров, полные погрешности их измерения и сведения о метрологической аттестации системы измерений на ЭУ (ИО);
- сведения о представительности экспериментальных данных со ссылкой на литературные источники, где приведено обоснование достаточности числа проведенных опытов для получения достоверных экспериментальных зависимостей.

8.8.3 Если для валидации ЧРМ не использованы экспериментальные данные, этому факту должно быть дано соответствующее обоснование, то есть показано, что экспериментального обоснования не требуется (например, ЧРМ реализует аналитическое решение, экспериментов не существует по объективным причинам, которые должны быть приведены, и т. д.).

8.8.4 Единичный МОВЭ должен воспроизводить поведение при высокоскоростном ударном нагружении некоторых частей моделируемого объекта в некоторые моменты времени.

8.9 В разделе «Результаты валидации ЧРМ» должны быть приведены результаты валидации ЧРМ и их анализ.

8.9.1 В качестве результатов валидации ЧРМ и их анализа приводят:

- результаты сопоставлений расчетов, выполненных с использованием зафиксированной версии ЧРМ, и данных МОВЭ. Они должны быть ясно изложены с обоснованием и оценкой достоверности сопоставления. Следует указывать, в какой области не получено удовлетворительного совпадения результатов расчетов с применением ЧРМ и МОВЭ;
- обоснование полноты и достаточности проведенных сопоставлений. Должны быть приведены результаты статистического анализа сопоставления расчетных и экспериментальных зависимостей, дана количественная оценка расхождения или экспериментальных и расчетных данных, приведена погрешность расчетных параметров в заявленной области состояний объекта, приведены доказательства применимости ЧРМ для моделирования объекта (и/или его элемента).

8.9.2 Результаты сопоставления данных, рассчитываемых с использованием ЧРМ, и данных МОВЭ должны быть приведены на одном рисунке в одинаковом масштабе.

8.9.3 Для ЧРМ, используемой для расчетов по обоснованию работоспособности объекта, должна быть указана и обоснована степень выполнения законов сохранения в случае их применимости. Для ЧРМ, предназначенной для проектных и/или эксплуатационных расчетов, должны быть указаны погрешности определения расчетных параметров.

8.10 В разделе «Перечень источников» должен быть представлен перечень документов, имеющих официальные выходные данные (опубликованные материалы, отчеты организаций, официально зарегистрированные протоколы, проектная, конструкторская и эксплуатационная документация, сертификаты и т. п.), использованных для обоснования ЧРМ, в том числе требуемых для формирования блока исходных данных и выполнения расчетов.

8.11 В приложении к отчету о валидации ЧРМ могут быть представлены дополнительные материалы, необходимые для обеспечения полноты информации, приведенной в отчете о валидации ЧРМ.

8.12 Допускается включение в отчет о валидации ЧРМ дополнительной информации, являющейся, по мнению заявителя ЧРМ, существенной для обоснования применимости ЧРМ для моделирования высокоскоростных ударов.

**Приложение А**
**(рекомендуемое)**

## Структура матрицы валидации модели поведения материала при высокоскоростном ударе

**Наименование модели:**
**Типы МАВЭ:** (перечисление)
**Типы ПЭД:** (для каждого МАВЭ: перечисление, краткая характеристика)
**Типы ВЭД:** (для каждого МАВЭ: перечисление, процедура вычисления)

Таблица А.1

| Наименование теста | Диапазон значений данных | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ПЭД 1 | | | ВЭД 1 | | | ….. |
| | Диапазон 1 (погрешность) | Диапазон 2 (погрешность) | … | Диапазон 1 (погрешность) | Диапазон 2 (погрешность) | …. | |
| МАВЭ № 1 (наименование, параметры МАВЭ) | | | | | | | |
| МАВЭ № 2 | | | | | | | |

Примечание — В ячейках матрицы знаком « + » или « – » указывают выполнение или отсутствие тестов, а также величину максимального расхождения результатов расчетов с тестом.

**Приложение Б**
**(рекомендуемое)**

## Структура матрицы валидации численной расчетной модели высокоскоростного удара

**Наименование ЧРМ:**
**Наименование объекта валидации:**
**Виды МОВЭ:** (перечисление, описание, ЭУ и ИО)
**Виды воздействия:** (перечисление, описание)
**Проверяемые величины:** (перечисление, описание)

Таблица Б.1

| Вид воздействия и/или состояние объекта | МОВЭ (наименование, параметры) | Подлежащие проверке явления | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Явление 1 | | | Процесс 1 | | | ... |
| | | Характеристика 1 | Характеристика 2 | .... | Параметр 1 | Параметр 2 | ..... | ... |
| Вид воздействия 1 | | | | | | | | |
| Состояние 1 | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | |

Примечание — В настоящей таблице для каждого проверяемого явления или процесса должны быть указаны результаты соответствия ЧРМ МОВЭ:
— « + » — соответствует;
— « 0 » — частично соответствует;
— « – » — не соответствует;
— «  » (пустое место) — не установлено.

## Библиография

[1] Методы исследования свойств материалов при интенсивных динамических нагрузках: Монография / Под общ. ред. М.В. Жерноклетова. — Саров, 2003. — 403 с.

[2] Канель Г.И., Разоренов С.В., Уткин Л.В., Фортов В.Е. Ударно-волновые явления в конденсированных средах. — М.: Янус-К, 1996. — 408 с.

[3] Кольский Г. Исследования механических свойств материалов при больших скоростях нагружения // Механика. — Вып. IV. — М.: ИЛ, 1950. — 108—119 с.

[4] Николас Т. Поведение материалов при высоких скоростях деформаций // Динамика удара / Под. ред. Дж. Зукаса и др. — М.: Мир, 1985. — 198—256 с.

УДК 519.642.2:006.354 ОКС 35.020

Ключевые слова: моделирование, численное моделирование, физические процессы, процессы ударного взаимодействия, высокоскоростные удары, внедрения, верификация, валидация

**БЗ 1—2018/52**

Редактор *Л.И. Нахимова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Е.Р. Ароян*
Компьютерная верстка *Ю.В. Поповой*

Сдано в набор 07.02.2018. Подписано в печать 13.03.2018. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,68. Тираж 22 экз. Зак. 429.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ИД «Юриспруденция», 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru
Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123001, Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru