ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 57188—2016

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

## Термины и определения

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2016

## Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием «Научно-исследовательский институт стандартизации и унификации» (ФГУП «НИИСУ») совместно с Открытым акционерным обществом «Т-Платформы» (ОАО «Т-Платформы»), Обществом с ограниченной ответственностью «Инжиниринговая компания «ТЕСИС» и Федеральным государственным унитарным предприятием «Крыловский государственный научный центр» (ФГУП «Крыловский ГНЦ»)

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 24 октября 2016 г. № 1496-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

5 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Ноябрь 2018 г.

*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 в сети Интернет (www.gost.ru)*

## Содержание

## Введение

Установленные в стандарте термины расположены в систематизированном порядке, отражающем систему понятий данной области знания.

Для каждого понятия установлен один стандартизованный термин.

Приведенные определения можно при необходимости изменить, вводя в них произвольные признаки, раскрывая значения используемых в них терминов, указывая объекты, относящиеся к определенному понятию. Изменения не должны нарушать объем и содержание понятий, определенных в данном стандарте.

В случаях, когда в термине содержатся все необходимые и достаточные признаки понятия, определение не приводится и вместо него ставится прочерк.

В стандарте приведены иноязычные эквиваленты стандартизованных терминов на английском (en) языке.

В стандарте приведен алфавитный указатель терминов на русском языке.

Стандартизованные термины набраны полужирным шрифтом, их краткие формы — светлым, а синонимы — курсивом.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**Термины и определения**

Numerical modeling of physical processes. Terms and definitions

**Дата введения — 2017—05—01**

## 1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает термины и определения понятий в области численного моделирования физических процессов. Данный стандарт определяет физический процесс как изменение состояния вещества импульса, энергии, энтропии.

Термины, установленные настоящим стандартом, обязательны для применения во всех видах документации и литературы (по данной научно-технической отрасли), входящих в сферу работ по стандартизации и/или использующих результаты этих работ.

## 2 Термины и определения

### 2.1 Общие термины

2.1.1 **модель**: Сущность, воспроизводящая явление, объект или свойство объекта реального мира — en model

2.1.2 **математическая модель**: Модель, в которой сведения об объекте моделирования представлены в виде математических символов и выражений — en mathematical model

2.1.3 **дивергентный вид уравнений**: Дифференциальные уравнения в дивергентной форме, получающиеся путем преобразования законов сохранения массы, импульса и энергии, записанных в интегральной форме, применительно к произвольному объему сплошной среды — en divergent form of equation

2.1.4 **чувствительность математической модели**: Степень зависимости решения математической модели от начальных условий и определяющих параметров. Если при незначительном изменении начальных условий и/или определяющих параметров решение меняется существенно, то чувствительность модели велика. Большая чувствительность математической модели в общем случае вызывает сомнения в соответствии математической модели исследуемому явлению — en sensitivity of mathematical model

2.1.5 **дискретизация оператора**: Замена функционального оператора алгебраическим выражением, зависящим от значений функции, на которую действует оператор, в конечном числе точек расчетной области — en operator discretization

Примечание — Применение дискретизации к дифференциальной (интегральной) задаче приводит к разностной схеме.

**Издание официальное**

2.1.6 **дискретизация модели:** Метод представления дифференциального/интегрального оператора выражением, основанным на вычислении значений функции, на которую действует оператор, в конечном числе точек расчетной области. Применение дискретизации к дифференциальной/интегральной задаче приводит к разностной схеме — en model discretization

2.1.7 **ошибка дискретизации**: Ошибка, возникающая вследствие замены производных в дифференциальных уравнениях их приближенными конечно-разностными значениями при переходе от континуального уравнения к разностному — en discretization error *(rounding error)*

Примечание — Ошибка дискретизации может быть выражена как разность точного и приближенного значения производной в определенной точке или во всей расчетной области. В последнем случае эта разность выражается через норму, вычисленную по всем точкам расчетной области.

2.1.8 **разностная схема**: Конечная система алгебраических уравнений, поставленная в соответствие какой-либо дифференциальной/интегральной задаче, описывающей математическую модель — en difference scheme

Примечание — Разностная схема получается применением методов дискретизации уравнений, содержащих производные по переменным фазового пространства (времени, пространственным координатам и т.п.). Для корректного описания решения дифференциальной/интегральной задачи разностная схема должна обладать свойствами сходимости, аппроксимации, устойчивости, консервативности.

2.1.9 **сходимость решения**: Стремление значений решения дискретной модели к соответствующим значениям решения исходной задачи при стремлении к нулю параметра дискретизации (например, шага интегрирования) — en convergence of solution

2.1.10 **критерии устойчивости решения**: Критерий устойчивости численного метода, математически выраженное условие, позволяющее определить, является метод устойчивым или нет при заданных значениях параметров — en stability criteria

2.1.11 **консервативная разностная схема**: Схема, при которой из выполнения некого закона сохранения в дифференциальной задаче следует выполнение соответствующего закона сохранения на сеточном уровне — en conservative difference scheme

2.1.12 **полностью консервативная разностная схема**: Схема, при которой в дифференциальной задаче имеются законы сохранения, и при переходе к сеточному описанию все они выполняются как следствие разностной схемы в результате алгебраических преобразований — en fully conservative difference scheme

2.1.13 **консервативность численного метода**: Выполнение дискретного аналога закона сохранения для любого элементарного объема в любой части расчетной области — en numerical method conservativity

Примечание — Обычно консервативность численного метода достигается за счет аппроксимации уравнений, записанных в дивергентном виде.

2.1.14 **порядок аппроксимации**: Показатель степени уменьшения значения ошибки дискретизации при измельчении интервалов дискретизации переменной фазового пространства — en order of approximation

2.1.15 **итерация**: Математическая операция, повторяемая многократно, при этом результат одной операции используется для выполнения последующей операции — en iteration

Примечание — Операции повторяются многократно, не приводя при этом к вызовам самих себя (в отличие от рекурсии).

2.1.16 **итерационный метод**: Численный метод решения математических задач, который заключается в нахождении по некоторой оценке решения следующей оценки, являющейся более точной — en iterative method

2.1.17 **масштабируемость многопроцессорных вычислений**: Уменьшение времени расчета или увеличение размеров задачи, решаемой за заданное время за счет увеличения количества параллельных процессов — en scalability of multi-CPU simulations

2.1.18 **сеточная независимость решения**: Характеристика чувствительности решения задачи математического моделирования, получаемого сеточным (разностным) методом, к изменению размерности сетки (изменению значений интервалов, на которые разбита при решении рассматриваемая область) — en mesh-independence of solution

Примечание — Диапазон допустимого изменения решения при изменении сетки зависит от предъявляемых требований.

2.1.19 **тестовая задача**: Задача для проверки математической модели или программного комплекса при верификации или валидации — en test problem, benchmark problem, test case

Примечание — Тестовая задача должна иметь известное решение.

2.1.20 **эталонное решение**: Общепризнанное решение некоторой задачи — en test problem solution, reference solution

Примечание — Эталонное решение может быть как аналитическим или численным, так и представлять собой экспериментальный результат. Используется при верификации и валидации программ математического моделирования.

### 2.2 Численное моделирование физических процессов

2.2.1 **алгоритм:** Последовательность действий (операций) — en algorithm

2.2.2 **имитационная модель:** Частный случай математической модели процесса, явления, который представляет процесс с определенной точностью — en simulation based model

Примечание — Имитационная модель обычно строится без знания реальной физики процесса или явления.

2.2.3 **математическое моделирование:** Исследование каких-либо явлений, процессов или систем объектов путем построения, применения и изучения их математических моделей — en mathematical *(numerical)* simulation

Примечание — Процесс математического моделирования можно подразделить на пять этапов: первый — формулирование законов, связывающих основные объекты модели; второй — исследование математических задач, к которым приводит математическая модель; третий — верификация модели; четвертый — валидация модели; пятый — последующий анализ модели в связи с накоплением данных об изучаемых явлениях и модернизация модели.

2.2.4 **верификация математической модели:** Подтверждение корректности решения уравнений математической модели [2], [3], [4] — en mathematical model verification

2.2.5 **валидация математической модели:** Подтверждение адекватности математической модели моделируемому объекту [2], [3], [4] — en mathematical model validation

2.2.6 **граничные условия:** Условия, накладываемые на рассчитываемые искомые величины на границах расчетной области — en boundary conditions

2.2.7 **начальные условия:** Условия на рассчитываемые искомые величины внутри расчетной области на начальный момент времени моделирования — en initial conditions

2.2.8 **замыкающие соотношения математической модели:** Соотношения, дополнительные к законам сохранения (массы, энергии, импульса и др.), служащие для описания модели среды (реология, уравнения состояния) — en closure equations (*relations*) of mathematical model

Примечание — В совокупности с законами сохранения, граничными и начальными условиями образуют математическую модель.

2.2.9 **конечно-разностная аппроксимация уравнений**: Замена по некоторым правилам исходных дифференциальных (интегральных) уравнений системой алгебраических уравнений, связывающих значения искомой функции в конечном числе точек расчетной области — en finite difference approximation of equations

2.2.10 **разностное уравнение**: Дискретный аналог дифференциального (интегрального) уравнения, получаемый путем замены производных функций (интегралов), входящих в уравнения, их приближениями, вычисленными по конечному числу значений функций в различных точках расчетной области — en discrete equation

2.2.11 **сетка конечных элементов:** Сплошное покрытие области расчета элементарными объемами, имеющими достаточно простую геометрическую форму (например: тетраэдрами, гексаэдрами и т. д.) — en finite element mesh

2.2.12 **численное моделирование**: Моделирование поведения объекта, процесса, явления путем получения численного решения уравнений математической модели — en numerical simulation

2.2.13 **численный метод**: Представление математической модели в форме алгоритма, который может быть реализован в виде компьютерной программы — en numerical method

2.2.14 **численное решение**: Результат решения уравнений математической модели численным методом — en numerical solution

2.2.15 **корректно поставленная задача**: Задача определения решения по исходным данным, для которой выполнены следующие условия (условия корректности): 1) задача имеет решение при любых допустимых исходных данных (существование решения); 2) каждым исходным данным соответствует только одно решение (однозначность задачи); 3) решение устойчиво — en well-formulated (*well-posed*) problem

2.2.16 **некорректно поставленная задача**: Задача, для которой не удовлетворяется хотя бы одно из условий, характеризующих корректно поставленную задачу — en ill-formulated *(ill-posed)* problem

Примечание — Если задача поставлена некорректно, то применять для ее решения численные методы, как правило, нецелесообразно, поскольку возникающие в расчетах погрешности округлений будут сильно возрастать в ходе вычислений, что приведет к значительному искажению результатов. В настоящее время развиты методы решения некоторых некорректных задач. Это, как правило, так называемые методы регуляризации. Они основываются на замене исходной задачи корректно поставленной задачей. Последняя содержит некоторый параметр, при стремлении которого к нулю решение этой задачи переходит в решение исходной задачи.

2.2.17 **динамическая система**: Объект или процесс, для которого определено понятие состояния и на множестве всех состояний определено взаимно однозначное отображение в некоторую область n-мерного действительного пространства — en dynamical system

Примечание — Эта область называется фазовым пространством динамической системы. Изменению состояний динамической системы соответствует движение точки в фазовом пространстве.

2.2.18 **математическая модель динамической системы**: Система уравнений (как правило, дифференциальных), определяющих изменение состояния системы во времени — en mathematical model of dynamical system

2.2.19 **линейная математическая модель**: Математическая модель, в которой независимые переменные входят в виде линейных комбинаций слагаемых — en linear mathematical model

Примечание — Сумма решений линейной математической модели также является решением.

2.2.20 **нелинейная динамическая система**: Динамическая система, эволюция которой описывается нелинейными законами — en nonlinear dynamic system

2.2.21 **нелинейная математическая модель**: Математическая модель, для которой сумма двух произвольных решений не является решением — en non-linear mathematical models

2.2.22 **параметр**: Признак или величина, характеризующая какое-либо свойство объекта и принимающая различные значения — en governing parameter

**2.3 Методы численного моделирования**

2.3.1 **бессеточные методы численного моделирования**: Численные методы, которые не требуют сетки точек, соединенных между собой для аппроксимации уравнений — en mesh-free simulation method

Примечание — В бессеточных методах функции и их производные, входящие в исходные уравнения краевой задачи, вычисляются на основе представления в виде рядов периодических или быстро убывающих базисных функций. Преимущества бессеточных методов проявляются в задачах с заранее неизвестной или сложно меняющейся границей расчетной области.

2.3.2 **вариационные методы**: Методы решения математических задач путем минимизации функционала — en variational methods

Примечание — Вариационный метод заключается в том, чтобы использовать для поиска решения какую-то пробную функцию переменных системы, вид которой зависит от нескольких параметров.

2.3.3 **метод граничных элементов**: Модификация метода конечных элементов (МКЭ) для аппроксимации искомых функций, но не в области решения задачи, а на ее границе — en boundary element method

2.3.4 **метод дискретных элементов**: Численный метод, предназначенный для расчета движения большого числа частиц без учета их деформации и возможного разрушения — en discrete element method

2.3.5 **метод конечных разностей**: Сеточный метод численного решения задач математической физики, в котором дискретизация исходных краевых задач производится на основе конечно-разностной аппроксимации — en finite difference method

2.3.6 **метод конечных элементов**: Сеточный метод численного решения задач математической физики, в котором дискретизация исходных краевых задач производится на основе вариационных или проекционных методов при использовании специальных конечномерных подпространств функций, определяемых выбранной сеткой — en finite element method

2.3.7 **метод контрольного объема** (Нрк. *метод конечных объемов)*: Частный случай метода конечных разностей — en finite volume method

Примечание — Аппроксимацию в методе конечного объема получают из дивергентного вида уравнения в частных производных для реализации консервативности уравнений, описывающих законы сохранения.

2.3.8 **метод Монте-Карло**: Численный метод, основанный на получении большого числа реализаций стохастического (случайного) процесса, который формируется таким образом, чтобы его вероятностные характеристики совпадали с аналогичными величинами решаемой задачи — en Monte-Carlo simulation

2.3.9 **многомасштабное моделирование**: Реализация математической модели, являющейся иерархией различных математических моделей, описывающих процессы разного масштаба по переменным фазового пространства (временного, пространственного и т.п.) — en multiscale simulation

2.3.10 **обратные задачи математического моделирования**: Получение параметров модели, которые определяют решение прямой задачи (т.е. собственно задачи математического моделирования при граничных условиях, начальных условиях и т.д.) при наложении некоторых условий на решение (например, поиск экстремума нормы решения) — en backward problems

2.3.11 **область расчета**: Область, в которой определена аппроксимация уравнений математической модели — en simulation domain

2.3.12 **конечный элемент**: Элемент, имеющий конечные размеры, на которые разбивается область, в которой ищется численное решение поставленной задачи математического моделирования — en finite element

Примечание — Элемент, имеющий конечные размеры и не являющийся бесконечно малым в смысле дифференциального исчисления при использовании метода конечных элементов (МКЭ) или метода контрольного объема (МКО).

2.3.13 **статистическое моделирование**: Вид компьютерного моделирования, позволяющий получить статистические данные о процессах в моделируемой системе — en statistical simulation

## Алфавитный указатель терминов на русском языке

## Библиография

[1] Федеральный закон Российской Федерации от 31 декабря 2014 г. № 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации»

[2] ASME V&V 20—2009 Standard for Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics and Heat Transfer

[3] ASME V&V 10—2006 Guide for Verification and Validation in Computational Solid Mechanics Revision PINS submitted 09/29/10

[4] ASME V&V 10.1—2012 An Illustration of the Concepts of Verification and Validation in Computational Solid Mechanics

УДК 001.4:004:006.354 ОКС 01.040.01, 07.020, 07.030

Ключевые слова: моделирование, численное моделирование, физические процессы, термины, определения

Редактор *Е.В. Яковлева*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Е.Д. Дульнева*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 29.11.2018. Подписано в печать 06.12.2018. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 1,12.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru