ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Термины и определения

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения

**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 Проектным техническим комитетом по стандартизации ПТК 700 «Математическое моделирование и высокопроизводительные вычислительные технологии»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от ______ № ______

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0–2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в годовом (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок – в ежемесячно издаваемом 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

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
Термины и определения

Numerical modeling of physical processes. Terms and defenitions

Дата введения –

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает термины и определения понятий в области численного моделирования физических процессов.

Данный стандарт определяет физический процесс, как изменения состояния вещества/энергии/энтропии. При этом настоящий стандарт не рассматривает физические процессы, протекающие на субатомном уровне и относящиеся к квантовой механике, а также биологические, социальные, экономические объекты и системы, нелинейные динамические процессы и в климатологии/метеорологии, в биологических и социальных системах, астрофизике и небесной механике.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

П р и м е ч а н и е – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа Российской Федерации по стандартизации в сети Интернет, или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Общие положения

Установленные в настоящем стандарте термины расположены в систематизированном порядке, отражающем систему понятий в области численного/математического моделирования, относящихся к моделированию физических процессов.

Для каждого понятия установлен один стандартизированный термин. Термины-синонимы приведены в качестве справочных данных и не являются стандартизированными.

Приведенные определения можно при необходимости изменять, 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 настоящем стандарте.

В стандарте приведены иноязычные эквиваленты стандартизированных терминов на английском языке.

В стандарте приведен алфавитный указатель терминов на русском языке, а также алфавитный указатель эквивалентов терминов на английском языке.

Стандартизированные термины набраны полужирным шрифтом, их краткие формы, представленные аббревиатурой, и иноязычные эквиваленты – светлым, синонимы через дробь.

4 Термины и определения

4.1 Общие термины

4.1.1 **дивергентный и недивергентный вид уравнений**: дифференциальные уравнения в дивергентной форме получаются путем преобразования законов сохранения массы, импульса и энергии, записанных в интегральной форме, к произвольному объему сплошной среды.

Для разностной схемы, полученной из дивергентных уравнений, из выполнения дискретного аналога закона сохранения для элементарного объема следует выполнение этого аналога для любой части расчетной области, составленной из элементарных объемов. Такое свойство разностной схемы называется консервативностью.

4.1.2 **дискретизация модели**: метод представления дифференциальгого/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.

4.1.3 **итерации**: последовательное выполнение одних и тех же операций (например, решение уравнения), когда результат предыдущей операции используется для выполнения последующей операции.

4.1.4 **итерационный метод:** метод решения системы уравнений, который заключается в нахождении по приближённому значению величины следующего приближения (являющегося более точным).

4.1.5 **консервативность численного метода:** выполнение дискретного аналога закона сохранения для любого элементарного объема в любой части расчетной области. Обычно консервативность численного метода достигается за счет аппроксимации уравнений, записанных в дивергентном виде.

4.1.6 **критерии устойчивости решения**: критерий устойчивости вычислительного метода. Математически выраженное условие, позволяющее определить, при заданных значениях параметров, является метод устойчивым или нет.

4.1.7 **масштабируемость многопроцессорных вычислений:** увеличение скорости расчета за счет увеличения количества расчетных процессоров, ядер.

4.1.8 **ошибка дискретизации**: ошибка, возникающая вследствие замены производных в дифференциальных уравнениях их приближенными конечно-разностными значениями при переходе от континуального уравнения к разностному. О.д. 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.

4.1.9 **порядок аппроксимации**: степень отличия численного решения от точного решения уравнений исходной математической модели в зависимости от детальности дискретизации расчетной области (расстояния между расчетными узлами) и шага по времени вычислительного алгоритма. При уменьшении расстояния между узлами и шага по времени, решение должно отличаться от точного решения пропорционально расстоянию между узлами и шагу по времени в некоторой степени. Эта степень и называется порядком аппроксимации. Чем выше порядок аппроксимации, тем меньше при той же сетке погрешность, или тем более крупная сетка может быть использована при обеспечении той же точности.

4.1.10 **разностная схема**: это конечная система алгебраических уравнений, поставленная в соответствие какой-либо дифференциальной/интегральной задаче, описывающей математическую модель. Р.с. получаются применением методов дискретизации уравнений, содержащих производные по времени и/или пространственным координатам. Для корректного описания решения дифференциальной/интегральной задачи р.с. должна обладать свойствами сходимости, аппроксимации, устойчивости, консервативности.

4.1.11 **сеточная независимость решения**: решение задачи математического моделирования, получаемое сеточным (разностным) методом, которое изменяется при дальнейшем увеличении размерности сетки (измельчении конечных элементов на которые разбита при решении рассматриваемая область) в заданных пределах. Диапазон допустимого изменения решения при измельчении сетки зависит от предъявляемых требований и в большинстве технических приложений задается обычно порядка единиц или долей процента от искомой величины.

4.1.12 **сходимость решения**: стремление значений решения дискретной модели к соответствующим значениям решения исходной задачи при стремлении к нулю параметра дискретизации (например, шага интегрирования).

4.1.13 **тестовая задача**: задача для тестирования (проверки) математической модели или программного комплекса при верификации или валидации. Тестовая задача должна иметь известное решение.

4.1.14 **чувствительность математической модели**: зависимость 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. При этом небольшие погрешности в определении параметров или начальных условий могут приводить к сильному изменению решения, что в общем случае вызывает сомнения в адекватности математической модели исследуемому явлению.

4.1.15 **эталонное решение**: общепризнанное, освещенное в литературе, решение некоторой задачи. Решение должно быть повторено несколькими независимыми исследователями. Эталонное решение может быть как аналитическим, численным либо представлять собой экспериментальный результат.

4.2 Численное моделирование физических процессов

4.2.1 **алгоритм** – последовательность действий (операций).

4.2.2 **верификация математической модели**: проверка истинности, адекватности описания рассматриваемого физического явления. В. м. сводится к сопоставлению результатов расчетов по модели данными эксперимента или натурных измерений, а также с результатами расчетов по другим верифицированным моделям.

4.2.3. **граничные условия**: условия на рассчитываемые искомые величины на границе расчетной области.

4.2.4 **динамическая система**: любой объект или процесс, для которого однозначно определено понятие состояния как совокупности некоторых величин в данный момент времени и задан закон, который описывает изменение (эволюцию) начального состояния с течением времени. Этот закон позволяет по начальному состоянию прогнозировать будущее состояние динамической системы, его называют законом эволюции.

4.2.5 **замыкающие соотношения математической модели**: соотношения, дополнительные к законам сохранения (массы, энергии, импульса и др.), служащие для описания модели среды (реология, уравнения состояния). В совокупности с законами сохранения, граничными и начальными условиями образуют математическую модель.

4.2.6 **имитационная модель**: частный случай математической модели процесса, явления, который имитирует процесс с некоторой точностью. Имитационная модель обычно строится без знания реальной физики процесса или явления.

4.2.7 **конечно-разностная аппроксимация уравнений**: замена исходных уравнений более простыми уравнениями. Например, замена системы уравнений в частных производных системой алгебраических уравнений.

4.2.8 **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.

4.2.9 **линейные математические модели**: класс математических моделей, в которых независимые переменные входят в виде линейных комбинаций слагаемых. Сумма решений линейной математической модели также является решением.

4.2.10 **математическое моделирование**: исследование к.-л. явлений, процессов или систем объектов путем построения и изучения их математических моделей. Процесс математического моделирования можно подразделить на 4 этапа.

Этапы математического моделирования

первый – формулирование законов, связывающих основные объекты модели;

второй – исследование математических задач, к которым приводит математическая модель;

третий – верификация модели;

четвертый – последующий анализ модели в связи с накоплением данных об изучаемых явлениях и модернизация модели.

4.2.11 **модель:** упрощенная система, описывающая основные характеристики более сложной системы (реального объекта, процесса, явления).

4.2.12 **некорректно поставленная задача:** задача, для которой не удовлетворяется хотя бы одно из условий, характеризующих корректно поставленную задачу (см.). 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 в основном 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.

4.2.13 **нелинейная динамическая система**: динамическая система, эволюция которой описывается нелинейными законами.

4.2.14 **нелинейные математические модели**: математическая модель, для которой сумма двух произвольных решений не является решением.

4.2.15 **параметр**: признак или величина, характеризующая какое-либо свойство объекта и принимающая различные значения

4.2.16 **разностное уравнение:** дискретный аналог дифференциального (интегрального) уравнения, получаемый путем замены производных функций (интегралов), входящих уравнения, их приближениями, вычисленными по конечному числу значений функции в различных точках расчетной области. В зависимости от порядка производной (вида интеграла) и порядка аппроксимации, используется различное количество расчетных точек, в которых вычисляются значения функции. От метода получения разностных уравнений существенно зависит качество результатов расчетов.

4.2.17 **расчетная сетка**: сплошное покрытие области расчета элементарными объемами, имеющими достаточно простую геометрическую форму (например, тетраэдры, гексаэдры и т.д.).

4.2.18 **численное моделирование** – моделирование поведения объекта, процесса, явления путем получения на компьютере численного решения математической модели.

4.2.19 **численное решение**: результат решения уравнений математической модели численным методом.

4.2.20 **численный метод**: представление математической модели в виде алгоритма, который может быть реализован в виде компьютерной программы.

4.2.20 **численное решение**: результат решения уравнений математической модели численным методом.

4.3 Методы численного моделирования

4.3.1 **бессеточные методы численного моделирования**: численные методы, которые не требуют сетки точек, соединенных между собой для аппроксимации уравнений. 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.

4.3.2 **вариационные методы**: метод решения математических задач путем минимизации функционала. Вариационный метод заключается в том, чтобы использовать для поиска решения какую-то пробную функцию переменных системы, вид которой зависит от нескольких параметров

4.3.3 **конечный элемент**: элемент, имеющий конечные размеры и не являющийся бесконечно малым в смысле дифференциального исчисления. При использовании метода конечных элементов (МКЭ) или метода контрольного объема (МКО) - малые элементы на которые разбивается область, в которой ищется численное решение поставленной задачи математического моделирования.

4.3.4 **метод граничных элементов:** модификация метода конечных элементов (МКЭ) для аппроксимации искомых функций, но не в области решения задачи, а на ее границе.

4.3.5 **метод дискретных элементов**: семейство численных методов, предназначенных для расчета движения большого числа частиц, без учёта их деформации и возможного разрушения.

4.3.6 **метод конечных разностей**: метод решения системы уравнений в частных производных путем ее аппроксимации на расчетной сетке.

4.3.7 **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.

4.3.8 **метод контрольного объема**: метод конечных объемов (устаревшее - метод контрольного объема) - частный случай метода конечных разностей. Аппроксимацию в методе конечного объема получают из дивергентного вида уравнения в частных производных для реализации консервативности уравнений, описывающих законы сохранения.

4.3.9 **метод Монте-Карло**: общее название группы численных методов, основанных на получении большого числа реализаций стохастического (случайного) процесса, который формируется таким образом, чтобы его вероятностные характеристики совпадали с аналогичными величинами решаемой задачи.

4.3.10 **многомасштабное моделирование**: реализация математической модели, являющейся иерархией различных математических моделей, описывающих процессы разного пространственного и временного масштаба.

4.3.11 **обратные задачи математического моделирования:** получение параметров модели, которые определяют решение прямой задачи (т.е. собственно задачи математического моделирования) (граничные условия, начальные условия и т.д.) при наложении некоторых условий на решение (например, поиск экстремума нормы решения).

4.3.12 **область расчета:** область, в которой определена аппроксимация уравнений математической модели.

4.3.13 **сетка конечных элементов**: сплошное покрытие области расчета элементарными объемами, имеющими достаточно простую геометрическую форму (например, тетраэдры, гексаэдры и т.д.).

4.3.14 **статистическое моделирование:** вид компьютерного моделирования, позволяющий получить статистические данные о процессах в моделируемой системе. С.м. применяется в случае, если параметры, характеризующие систему известны с определенной долей погрешности, а также для учета случайных воздействий на систему. Статистическое моделирование проводится с многократным применением детерминированных моделей, в которых определяющие параметры выбираются из некоторых диапазонов случайным образом, а также с добавлением членов, отвечающих за случайные воздействия. Результаты расчетов представляются в виде распределений вероятности характеристик системы

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»

УДК 001.4:004:006.354 ОКС 01.040.01, 07.020, 07.030 П80

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