

ООО «СИТИС»  
ТР – 5095

---

# **NASA-STD-7009**

## **СТАНДАРТ ДЛЯ МОДЕЛЕЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ**

---

Технический стандарт НАСА  
Национальное управление по воздухоплаванию  
и исследованию космического пространства  
Утвержден: 07-11-2008  
Заменяет: NASA-STD-(I)-7009  
NASA-STD-7009  
Стандарт для моделей и моделирования  
Определение системы измерений:  
не чувствительная к измерению

NASA Technical Standard  
National Aeronautics and Space Administration  
Approved: 07-11-2008  
Superseding: NASA-STD-(I)-7009  
NASA-STD-7009  
Standard for Models and Simulations  
Measurement System Identification:  
Not Measurement Sensitive

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ .....	3
1.1 Цели .....	3
1.2 Применимость .....	4
1.3 Задача .....	4
2. ДЕЙСТВУЮЩИЕ ДОКУМЕНТЫ.....	4
2.1 Общие положения .....	4
2.2 Государственные документы.....	4
2.3 Негосударственные документы .....	4
2.4 Очередность .....	4
3. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	5
3.1 Сокращения и аббревиатуры .....	5
3.2 Определения .....	5
4. ТРЕБОВАНИЯ.....	6
4.1 Программирование .....	7
4.2 Модели .....	8
4.3 Моделирование и расчеты .....	8
4.4 Верификация, валидация и количественная оценка неопределенности .....	9
4.5 Определение и использование рекомендованных методик.....	10
4.6 Обучение.....	10
4.7 Оценка надежности результатов моделей и моделирования .....	10
4.8 Отчет о результатах для специалистов, принимающих решение .....	11
5. РУКОВОДСТВО .....	12
5.1 Справочные документы .....	12
5.2 Список ключевых слов.....	13
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ОЦЕНКА РИСКОВ МОДЕЛЕЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	14
А.1 Последовательность решений .....	14
А.2 Влияние моделей и моделирования.....	14
А.3 Матрица оценки рисков моделей и моделирования и область применения .....	14
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ШКАЛА ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ.....	15
В.1 Введение .....	15
В.2 Обзор факторов, подфакторов и категорий достоверности .....	15
В.3 Определения уровней .....	19
В.4 Процессы формирования сводки оценки достоверности.....	24
В.5 Сравнение с пороговыми значениями достаточности .....	25
ПРИЛОЖЕНИЕ С. МАТРИЦА СООТВЕТСТВИЯ .....	28

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящий стандарт публикуется Национальным управлением по авиации и исследованию космического пространства (НАСА), чтобы обеспечить равномерные инженерные и технические требования к процессам, процедурам, практике и методах, которые были утверждены в качестве стандарта для моделей и моделирования (M&S), разработанных и используемых в программах НАСА и проекты, в том числе требований к отбору, приложений и критериев при разработке элемента. Этот стандарт был специально разработан, чтобы ответить на действия 4 из доклада 2004 "Возрождение стремление к совершенству", с учетом также уделяется соответствующих выводов, определенных в Колумбии по расследованию авиационных происшествий совет (CAIB) отчет.

Этот стандарт утвержден для использования штаб-квартиры НАСА и центров НАСА, в том числе компонентов зал.

Этот стандарт охватывает разработку и эксплуатацию (или выполнение) моделей и моделирования, а также анализ и представление результатов от моделей и моделирования. Это также включает в себя надлежащую подготовку практикующих моделей и моделирования и идентификацию рекомендуемой практики, обеспечивая при этом достоверность результатов от моделей и моделирования оценивается и правильно передал тем, что делает важные решения.

Запросы о предоставлении информации, исправлений или дополнения к этому стандарту должны быть представлены через «Обратную связь» в НАСА технических стандартов системы в <http://standards.nasa.gov>.

Оригинал подписан:

Майкл Дж. Рушкевич, Главный инженер НАСА

Дата утверждения 11 июля 2008

## 1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

### 1.1 Цели

Этот стандарт был разработан в ответ на действие 4 из доклада 2004 "Возрождение стремление к совершенству", в котором говорится следующее:

«Разработать стандарт для разработки, документации и работе моделей и моделирования

- а) Выявление передового опыта для того, чтобы знание операций захватывается в пользовательских интерфейсах (например, пользователи не могут ввести параметры, которые находятся вне границ),
- б) Разработать процесс для проверки инструмента и проверки, сертификации, поверки, переаттестации, и повторную сертификацию на основе оперативных данных и тенденций,
- в) Разработать стандарт для документации, управления конфигурациями, и обеспечения качества,
- г) Выявление любых учебных или в сертификационные требования для обеспечения надлежащего оперативных возможностей,
- д) Обеспечить план управления инструментом, технического обслуживания и устаревания соответствия с сред моделирования / моделирования и старения или изменения моделируемой платформы или системы,
- е) Разработать процесс для обратной связи с пользователями, когда результаты появляются нереально или не поддаются объяснению».

Впоследствии, в 2006 году, главный инженер НАСА представил следующие дальнейшие указания:

- ж) "Включить стандартный метод для оценки достоверности моделей и моделирования, представленный ЛПР при принятии важных решений (т.е. решений, которые влияют безопасность человека или успех миссии) с использованием результатов моделей и моделирования,
- з) Убедите, что доверие моделей и моделирования удовлетворения проектных требований".

Каждый из требований и рекомендаций в этом стандарте можно отнести к одному или более из восьми целей, перечисленных выше. Прослеживаемость матрица требованиям настоящего стандарта к восьми задач можно найти в Интернете от доступа этот стандарт и на URL <http://standards.nasa.gov>; обратитесь к разделу «Требования отслеживания матрицы». Некоторые из этих целей будут выполнены по рекомендациям, а не по требованиям, в результате либо (а) практической невозможностью удовлетворения требования, во всех случаях, или (б) дополнительные указания, полученные от штаб-квартиры НАСА.

Эти восемь целей заключены в общую цель этого стандарта, который должен гарантировать, что доверие к результатам из моделей и моделирования правильно передал тем, что делает важные решения. Принципиальные решения по результатам моделей и моделирования, как определено в настоящем стандарте, являются те технические решения, связанные с проектированием, операции Разработка, изготовление, наземные или полета, которые могут повлиять безопасности человека или программные / Миссия критерии успеха проекта определены. Намерение состоит в том, чтобы снизить риски, связанные с критическими решениями. Этот стандарт охватывает разработку и эксплуатацию (или выполнение) моделей и моделирования, а также процессы анализа и представления результатов от моделей и моделирования.

Этот стандарт обращается к аспектам моделей и моделирования, которые являются общими по деятельности НАСА. Дисциплинам конкретные детали моделей и моделирования должны быть рассмотрены в будущих документах, таких как Рекомендуемой практики (обычно под названием «Справочники» в иерархии документа

НАСА), и не включены в данный стандарт.

Сфера применения настоящего стандарта охватывает разработку и сопровождение моделей, функционирование моделирования, анализа результатов, обучение, рекомендуемой практики, оценка достоверности моделей и моделирования, и представление результатов моделей и моделирования. Некоторые из ключевых особенностей этого стандарта являются требования и рекомендации для верификации и валидации, неопределенности количественной, обучения, оценке достоверности и отчетности для лиц, принимающих решения; но и такие сквозные области документации и управления конфигурацией (СМ).

Требования / рекомендации в разделах 4.7 и 4.8 являются кульминацией стандарта. Требования / рекомендации в разделах 4.1 - 4.6, предназначены для поддержки требований в разделах 4.7 и 4.8. Это достигается путем обеспечения достаточных детали процесса моделей и моделирования наряду с промежуточными результатами доступны для поддержки требований в разделах 4.7 и 4.8 и реагировать на углубленных запросов ЛПР. Приложение предоставляет руководство для оценки риска использования моделей и моделирования в инженерных решениях. Приложение В содержит подробную информацию, связанные с некоторыми из требований / рекомендаций в разделах 4.7 и 4.8. Приложение С содержит шаблон для матрицы соответствия.

## **1.2 Применимость**

Настоящий стандарт распространяется на модели и моделирование, используемого НАСА и его подрядчиков для важных решений в проектировании, разработке, производстве, наземных операций, и выполнения полетов. (Руководство для определения, какие именно модели и моделирование находятся в области приводится в разделе 4.1 и Приложении А.)

Этот стандарт также распространяется на использование наследия, а также коммерчески доступных (COTS), государственных доступных (GOTS), и готовых к изменению (MOTS) моделей и моделирования для поддержки критически важных решений. Как правило, для таких моделей и моделирования, особое внимание, возможно, потребуется уделить определению пределов эксплуатации и проверки, подтверждения и неопределенности количественной. Программы и проекты, рекомендуется применять этот стандарт для моделей и моделирования, если результаты моделей и моделирования могут повлиять в будущем важные решения.

Этот стандарт не распространяется на модели и моделирование, которые внедрены в программное обеспечение управления, программного обеспечения эмуляции, и стимуляции средах. Тем не менее, планы практический центр NPR 7150,2, НАСА Требования к технике программного обеспечения, должны специально встроены модели и моделирования, и адрес таких моделей и моделирования специфические вопросы, как численной точности, анализа неопределенности, анализ чувствительности моделей и моделирования, верификации и валидации моделей и моделирования.

Этот стандарт может быть приведен в договоре, программы и другие документы Агентства как технических требований. Требования обозначается словом "должны"; пояснительная или указания текст выделен курсивом.

1.2.1 Подгонка для применения к конкретной программы или проекта должно быть официально оформлено в рамках требований программы или проекта и утверждается Техническим органа.

## **1.3 Задача**

В целом, стандарты могут сосредоточиться на инженерных/технических требованиях, процессов, процедур, методов или методы. Этот стандарт фокусируется на требованиях и рекомендациях. Таким образом, этот стандарт определяет, что должно или должно быть сделано; он не предписывает, как требования должны быть выполнены, и не уточнил, кто является ответственной стороной за соблюдение требований.

# **2. ДЕЙСТВУЮЩИЕ ДОКУМЕНТЫ**

## **2.1 Общие положения**

Документы, перечисленные в этом разделе, содержат положения, которые составляют требованиям настоящего стандарта, как указано в тексте раздела 4.

2.1.1 Последние выпускам акций в количестве цитируемых документов должны использоваться, если иное не одобрено назначенного технического органа.

Соответствующие документы доступны через НАСА онлайн Директивы информационной системы на <http://nodis3.gsfc.nasa.gov> и системе НАСА Технических Стандартов на <http://standards.nasa.gov>, или могут быть получены непосредственно из Стандарты Разработка организации или другие дистрибьюторы документов.

## **2.2 Государственные документы**

Отсутствуют.

## **2.3 Негосударственные документы**

Отсутствуют.

## **2.4 Очередность**

Этот документ устанавливает требования и руководящие принципы для моделей и моделирования, но не заменяет ни отказаться от установленных требований Агентства, найденные в другой документации.

2.4.1 Конфликты между этим стандартом и других требований документов решаются ответственного технического органа.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

#### 3.1 Сокращения и аббревиатуры

AIAA	Американский институт аэронавтики и астронавтики
ASME	Американское общество инженеров-механиков
CAIB	Отдел расследования происшествий Колумбии
CAS	Шкала оценки доверия
CM	Управление конфигурацией
COTS	Коммерчески доступные
CPIAC	Центр анализа информации по химическому топливу
DMSO	Отдел по защите моделирования моделей
GOTS	Государственные доступные
IEEE	Институт инженеров по электротехнике и радиоэлектронике
ISG	Исполнительная исследовательская группа
ISO	Международная организация по стандартизации
JANNAF	Совместно с армией, ВМС, НАСА и ВВС
M&S	Модели и моделирование
MOTS	Готовые к изменению
НАСА	Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства
NASTRAN	Расчет конструкций НАСА
NPR	Процессуальные требования НАСА
PMBA	Первичная зеркальная совместная ассамблея
Треб.	Требование
RPG	Рекомендуемое практическое руководство
SISO	Организация по стандартизации взаимодействия моделирования
STD	Стандартный
V&V	Верификация и валидация
VV&A	Верификация, валидация и аккредитация

#### 3.2 Определения

Определения, перечисленные ниже, являются те, которые используются в настоящем документе. Везде, где возможно, эти определения взяты из официальных документов НАСА. В некоторых случаях, после рассмотрения определения заинтересованности в Международной организации по стандартизации (ИСО), обороты моделирования и симуляции бюро (ДМСО), профессиональных изданий общества, и языковые словари английского, некоторые из этих определений были приняты или адаптированы из этих источников в достижения цели и задач, поставленных в разделе 1.1. Некоторые определения могут иметь альтернативные значения в других документах и дисциплин.

**Абстракция:** Процесс выбора основные аспекты системы отсчета, которые будут представлены в модели или моделирования, игнорируя те аспекты, которые не относятся к цели модели или моделирования (взято из Fidelity ISG Глоссарий, Часть 3.0.).

**Точность:** Разница между параметра или переменной (или набором параметров или переменных) в рамках модели, моделирование, или эксперимента и истинным значением или предполагаемого истинного значения.

**Расчет:** Любой пост-обработки или толкование отдельных значений, массивов, файлов данных, а также люксы казней в результате моделирования.

**Артефакт:** Любой материальным продуктом, который производится командой проекта, то есть, требования документы, справочные системы, код, исполняемые, тестовую документацию, результаты испытаний, схемы и т.д.

**Калибровка:** процесс регулировки числовых или моделирования параметров в модели, чтобы улучшить соглашение с референта.

**Вычислительная модель:** числовое представление математической модели.

**Концептуальная модель:** Сборник абстракций, допущения и описания физических процессов, представляющих поведение реальности интерес из которых математические модели или проверки эксперименты могут быть построены (взято из ASME V&V 10).

**Управление конфигурацией (CM):** дисциплина управления применяется более жизненного цикла продукта, чтобы обеспечить видимость в и контролировать изменения в производительности, функциональной и физических характеристик (NPR 7120.5D, НАСА Программы пространства полета и требования к управлению проектами).

**Доверие:** Качество выявить убеждения или веру в результатах моделей и моделирования.

**Критическое решение:** Эти технические решения, связанные с проектированием, операции Разработка, изготовление, наземные или полета, которые могут повлиять безопасности человека или успех миссии, как измеряется программы / проекта определенными критериями.

**Эмуляция:** Использование в моделях и моделировании подражать другой системе, так что модели и моделирование ведут себя как или, кажется, другая система.

**Одобрение:** формальная гарантия того, что продукт, процесс или услуга соответствуют заданным характеристикам. (Примеры одобрения включения «аккредитация» - Официальная принятие модели или моделирования и связанных с ним данных, чтобы использовать для конкретной цели и "сертификации", который похож на аккредитацию, но часто применяется к классу целей или вообще домена и обычно подразумевает независимую и / или третьей стороной, проводящей сертификацию.)

**Безопасность человека:** состояние защищен от смерти, постоянно отключение травмы, серьезные травмы и несколько профессиональных заболеваний. В контексте НАСА это относится к безопасности общественных, космонавты, летчики и рабочей силы НАСА (взято из NPR 8000,4 и безопасности иерархии НАСА).

**Пределы работы:** граница множества параметров, для которых результат моделей и моделирования является приемлемым на основе программы / проекта требуется итогов проверки, подтверждения и неопределенности количественной.

**Математическая модель:** Необходимы математические уравнения, граничные значения, начальные условия, и моделирования данных для описания концептуальной модели (ASME V&V 10).

**Миссия критерии успеха:** стандарты, по которым программа или проект будет считаться успешным. Критерии успеха миссии может быть как качественные, так и количественные, и может охватывать стоимость миссии, расписание и результаты работы, а также фактические результаты миссии (NPR 7120.5C, программе НАСА и Управление проектами процессов и требований).

**Модель:** Описание или представление системы, лица, явления или процесса (взято из банков, J., изд (1998) Справочник моделирования Нью-Йорке:... Джон Уайли и Сыновья). (Модель может быть построена из нескольких суб-моделей; суб-модели и интегрированные подмодели устройства считаются модели Аналогично, любые данные, которые переходит в модели считается частью модели А модель модели (обычно называемый.. метамодель), например, поверхности отклика построены из результатов моделей и моделирования, считается образцом).

**Референт:** Данные, информация, знания, или теория, против которой результаты моделирования можно сравнить (взято из ASME V&V 10).

**Риск:** Сочетание вероятности того, что программа или проект будет испытывать нежелательное событие и последствия, влияние, или тяжесть нежелательного события, если оно произойдет. Как вероятность и последствия могут иметь связанные с ними неопределенности (взято из NPR 7120.5D).

**Анализ чувствительности:** Изучение того, как изменение в выходе модели могут быть распределены на различные источники вариации в модели входных и параметров (взято из Салтелли и другие, 2000).

**Моделирование:** имитация характеристик системы, лица, явления или процесса с использованием расчетной модели.

**Стимуляция:** описание типа моделирования посредством искусственно сгенерированные сигналы, представленной реальном оборудовании, чтобы вызвать его для получения результата, необходимого для проверки реальной системы, обучение, техническое обслуживание, или для научных исследований и разработок.

**Предмет эксперт:** физическое лицо, образование, обучение, или опыт работы в конкретной технической или эксплуатационной дисциплины, системы или процесса, а кто участвует в аспекте моделей и моделирования требуя его / ее опыта.

**Подгонка:** Документация и утверждение адаптации процессов и подход к соответствующей требованиям в соответствии с целью, сложности и объема программы или проекту НАСА. (NPR 7123.1A, НАСА Системы технологических процессов и требования).

**Неопределенность:** (1) Предполагаемая сумма или процент, по которому наблюдаемый или рассчитывается значение может отличаться от истинного значения (словарь английского языка American Heritage Dictionary, 4-е изд.). (2) широкий и общий термин, используемый для описания несовершенный состояние знаний или изменчивости в результате целого ряда факторов, включая, но, не ограничиваясь, отсутствие знаний, применимости информации, физической вариации, случайности или стохастического поведения, неопределенности, суждение, и приближение (взято из NPR 8715.3B, требования программы НАСА по общей безопасности).

**Количественная неопределенность:** Процесс выявления всех соответствующих источников неопределенностей, характеризую их во всех моделях, экспериментов, и сопоставления результатов и экспериментов, и в количественной оценке неопределенности на всех соответствующих входов и выходов моделирования или эксперимента моделей и моделирования.

**Валидация:** Процесс определения степени, в которой модель или имитация является точное представление о реальном мире с точки зрения предполагаемого использования модели или к симуляции.

**Верификация:** Процесс определения того, что вычислительная модель точно представляет основную математическую модель и ее решение с точки зрения целей применения моделей и моделирования.

**Отказ:** документально авторизации намеренно выпускать программу или проект с удовлетворяющим требованиям (NPR 7120.5D). Отклонения и исключения считаются частные случаи отказов.

## 4. ТРЕБОВАНИЯ

Этот стандарт устанавливает минимальный набор требований и рекомендаций по использованию моделей и моделирования для поддержки критически важных решений.

Для решений, основанных на результатах моделей и моделирования, принятый риск ЛПР часто непра-

вильно оценила в связи с неадекватной оценкой неопределенностей в рамках развития моделей и моделирования, проверки, проверки, исполнения, анализа и отчетности. Этот стандарт устанавливает методы для того, чтобы более точно оценить этот риск, сделав доверие моделей и моделирования более очевидными для ЛПР. Этот стандарт подчеркивает документацию и КМ моделей и моделирования для обеспечения прозрачности, повторяемости и прослеживаемости; и он требует, чтобы ключевой персонал моделей и моделирования получить соответствующую подготовку.

Требования и рекомендации носят общий характер, потому что их широкого применения для всех типов моделей и моделирования. Особенности реализации требований моделей и моделирования должны быть рассмотрены в рекомендованных планах практики, проект / управления программами по конкретным дисциплинам, и т.д.

Следующая организационная структура используется в настоящем стандарте:

4.1 Программирование

4.2 Модели

4.3 Моделирование и анализ

4.4 Верификации и валидации, и количественное неопределенность

4.5 Выявление и использование рекомендуемой практики

4.6 Обучение

4.7 Оценка авторитетности результатов моделей и моделирования

4.8 Отчетность результаты лицам, принимающим решения

Во многих случаях, как моделирование, моделирование и анализ деятельности переплетаются, особенно на этапах разработки, проверки, и проверки. Этот стандарт предназначен, чтобы быть с учетом всех этих возможностей.

Многие из требований настоящего стандарта требуют документацию. За исключением документации, необходимой для докладов лиц, принимающих решения (раздел 4.8), эта документация может состоять из ссылок на другие существующие документы, такие как журнальные статьи, технического отчета или документа программы / проекта, при условии, что все необходимые детали содержатся в ссылающемся документе (документов).

#### 4.1 Программирование

Принципиальные решения, основанные полностью или частично на модели и моделирование, как правило, сделаны в контексте программы или проекта. Программа и управление проектом несут ответственность для выявления и документирования сторон, ответственных за соблюдение требований настоящего стандарта.

Фактически человек идентифицируется управления программами и проектами, чтобы выполнить роль «ответственной стороной» в конкретных требованиях, скорее всего, меняться в зависимости от контекста требования; например, виновная сторона может быть свинец, или другой, поддерживающий человека, связанного с развитием модели, эксплуатации, анализа и / или отчет о результатах до лиц, принимающих решения.

Программа и управление проектом в сотрудничестве с Техническим органа несут ответственность за выявление и документирования степени и уровня формальности документации, необходимой для удовлетворения требований к документации в данном стандарте. Некоторые требования, в частности, 4.1.5, 4.2.6, 4.2.8, 4.3.6, 4.4.1, 4.4.2, 4.4.4, 4.4.5, 4.4.6, 4.4.7, 4.4.8, и 4.4.9, должны толковаться как это означает, что данная деятельность не требуется по себе, но это все, что было сделано, чтобы быть задокументированы, и если ничего не было сделано четкое заявление по этому поводу будет документально.

Программа и управление проектом в сотрудничестве с Техническим органа несут ответственность за выявление и документирования важные решения, которые предстоит решать с моделями и моделированиями и определять, какие модели и моделирования находятся в области видимости. Последнее определение должно основываться на риск, связанный с ожидаемым использованием моделей и моделирования. Приложение описывает репрезентативную оценку матрицы риска моделей и моделирования для этой цели. Кроме того, технический орган имеет особую ответственность, чтобы гарантировать надлежащие результаты Треб. 4.1.3.

Ответственная сторона выполняет следующие операции:

Треб. 4.1.1 - должно задокументировать оценку риска для любых моделей и моделирования используется в критических решений,

Треб. 4.1.2 - определяет и документ тех моделей и моделирований, которые находятся в области.

Треб. 4.1.3 - должно определить цели и требования для продуктов моделей и моделирования, включая следующие:

- а) Критерии приемлемости для продуктов моделей и моделирования, в том числе любой одобрения для моделей и моделирования.
- б) Основанием для весов, используемых для подфакторов в шкале оценки доверие (Приложение В.4).
- в) Использование по назначению.
- г) Метрики (программных и технических).
- д) Верификации и валидации, и неопределенность количественное (см раздел 4.4).
- е) Отчетность информации моделей и моделирования для важных решений (см раздел 4.8).
- ж) Управление конфигурацией (артефакты, сроки, процессы) моделей и моделирования.

(Критерии приемлемости в 4.1.3 (а) включает спецификацию, что представляет собой благоприятный сравнение для Контрольной доказывания валидации доказывания ввода родословная доказывания и определений уровня использования истории в шкале оценки доверие (см Приложение В).)

Треб. 4.1.4 - должны разработать план (в том числе выявление ответственного организации (организаций)) для приобретения, разработки, эксплуатации, технического обслуживания и / или погашения моделей и моделирования.

Треб. 4.1.5 - должен документировать любые технические обзоры, выполняемые в областях верификации и валидации, ввода родословная, результаты неопределенности и результаты надежности (см Приложение В).

Треб. 4.1.6 - должен задокументировать отказом от иммунитета процессы моделей и моделирования.

Треб. 4.1.7 - должна документировать степень, в которой усилия моделей и моделирования обладает свойствами управления рабочего продукта, определение процесса, измерения процессов, управления технологическими процессами, изменением процесса, и постоянного совершенствования, в том числе управление конфигурацией и поддержки моделей и моделирования и обслуживания.

## **4.2 Модели**

Процессы разработки концептуальных, математических, или вычислительные модели все считается моделирования деятельности. Эмпирически корректировки результатов моделирования в попытке улучшить корреляцию считается моделирование деятельности.

Для моделей, ответственная сторона выполняет следующие операции:

Треб. 4.2.1 - должна документировать предположения и абстракции, лежащие в основе концептуальной модели, в том числе их обоснования.

Треб. 4.2.2 - должен задокументировать основную структуру и математику модели (например, реальность моделируется, уравнения решаются, поведение моделируется, концептуальные модели).

(Для COTS, GOTS, ССИО, и унаследованной модели и моделирования, некоторые из документации, необходимой в 4.2.1 и 4.2.2 могут быть недоступны в опубликованных руководствах пользователя;. Ссылка к руководствам пользователя, будет достаточно для этой части документации)

Треб. 4.2.3 - должен задокументировать наборов данных и любую вспомогательную программного обеспечения, используемого в разработке модели и подготовке ввода.

Треб. 4.2.4 - должен задокументировать необходимые единицы и вектор систем координат (где применимо) для всех входных / выходных переменных в моделях и моделировании.

Треб. 4.2.5 - должна документировать пределы эксплуатации моделей.

Треб. 4.2.6 - должен документировать любые методы неопределенности количественного и неопределенность в любых данных, используемых для разработки модели или включенных в модель.

Треб. 4.2.7 - должен документ по правильному использованию модели.

(Руководство по правильному использованию модели включает в себя описание соответствующих методов для ввода в эксплуатацию, исполнения и анализа результатов.)

Треб. 4.2.8 - должен документировать любые калибровки параметров и область калибровки.

Треб. 4.2.9 - должен задокументировать обновления моделей (например, регулировки раствора, изменение параметров, калибровка и тестов) и назначить уникальный идентификатор версии, описание и обоснование обновлений.

Треб. 4.2.10 - должен задокументировать критерии устаревания и даты устаревания модели.

(Моральный износ относится к ситуациям, когда изменения в реальной системе нарушает модели смотри пункт (е) Диас действий #4.)

Треб. 4.2.11 - должны предоставить механизм обратной связи для пользователей сообщать о необычных результатов моделирования разработчиков или сопровождающих.

Треб. 4.2.12 - должен поддерживать (концептуальные, математические, вычислительной) моделей и соответствующую документацию в контролируемой системе управления конфигурацией.

Треб. 4.2.13 - должен поддерживать наборы данных и вспомогательного программного обеспечения, на который ссылается Треб. 4.2.3 и сопутствующая документация в контролируемой системе управления конфигурацией.

## **4.3 Моделирование и расчеты**

Выполнение (эксплуатацию) вычислительной модели и обработка результатов от моделирования являются моделирования и анализа деятельности, соответственно.

Для моделирования и анализа, ответственная сторона выполняет следующие операции:

Треб. 4.3.1 - должен сделать одно из следующих действий:

а. Убедитесь, что моделирование проводятся в рамках работы моделей, или

б. Плакат симуляции и анализа результатов с предупреждением, что моделирование может быть, проведенного за пределами работы и включают тип предела, что, возможно, был превышен, в какой мере можно было бы превышен лимит, и оценку последствий это действие по результатам моделей и моделирования.

Треб. 4.3.2 - должен задокументировать и объяснить любые наблюдаемые предупреждения и сообщения об ошибках в результате исполнения вычислительной модели.

Треб. 4.3.3 - должен задокументировать которые использовались вычислительные модели (в том числе номерами ревизий) в симуляции.

Треб. 4.3.4 - документирует версии результатов моделей и моделирования.

Треб. 4.3.5 - должна документировать данные, используемые в качестве входных данных к моделированию, в том числе его родословной (см Приложение В).

Треб. 4.3.6 - должен документировать любые уникальные вычислительные требования (например, программного обеспечения поддержки, оперативная память, диск мощностей, процессора, и параметры компиля-



ции).

Треб. 4.3.7 - должна документировать процессы для проведения моделирования и анализа для генерации результатов в отчетности лицам, принимающим решения.

Треб. 4.3.8 - должен задокументировать Любое использование историю моделей и моделирования, в тех же или аналогичных целях, которые актуальны для установления доверия к текущему приложению моделей и моделирования (см Приложение В).

Треб. 4.3.9 - должна задокументировать оценку в отношении уместности моделирования и анализа по отношению к его назначению.

Треб. 4.3.10 - должен документировать обоснование для установки и исполнения моделирования и анализа.

Рекомендации для моделирования и анализа являются:

а. Соответствующие характеристики системы, которая по образцу должны быть задокументированы.

б. Записи управления конфигурацией должны содержать тестов, которые охватывают пределы эксплуатации для моделей и моделирования, определенные программы или проекта. "Тестовые" определяются как эталонных входных / выходных наборов, используемых для проверки правильности исполнения моделей и моделирования.

в. Моделирование выйдет из строя таким образом, что предотвращает злоупотребления и ошибочные результаты.

(1) моделирование должно обеспечить сообщений, подробно режим отказа и точки отказа.

(2) Аналитик должен задокументировать и объяснить все виды отказов, точек отказа и сообщения, указывающие таких сбоев.

#### **4.4 Верификация, валидация и количественная оценка неопределенности**

Определения верификации и валидации используемых в настоящем стандарте, являются мнениями сообщества моделей и моделирования. Настоящие определения согласуются с ДМСО В. В. & А Рекомендуемая практика Руководство (RPG Строит. 3.0), Американский институт аэронавтики и астронавтики (AIAA) Руководство по верификации и валидации моделирования вычислительной газовой динамики (AIAA G-077), и Руководство по проверке и проверка в вычислительных механика твердого тела (ASME V & V 10-2006). Они отличаются от Стандартного словаря Института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике (автор IEEE) программной инженерии терминологии (IEEE 610.12-1990), и NPR 7123.1A.

##### **Верификация**

Для верификации, ответственная сторона выполняет следующие операции:

Треб. 4.4.1 - должен документировать любые методы проверки, используемые и любой домен проверки (например, условия, при которых была проведена верификации).

Треб. 4.4.2 - должен документировать любые численные оценки погрешности (например, численные приближения, недостаточно дискретизации, недостаточно итераций, конечная точности арифметических) для результатов расчетной модели.

Треб. 4.4.3 - должна документировать информацию о состоянии проверки (концептуальные, математические, и вычислительных) моделей.

##### **Валидация**

Для валидации, ответственная сторона выполняет следующие операции:

Треб. 4.4.4 - должен документировать любые методы, используемые для проверки моделей и моделирования для использования по назначению, в том числе опытно-конструкторских и анализа, и области валидации.

Треб. 4.4.5 - должен документировать любые валидации метрик, референты и наборы данных, используемые для проверки моделей.

Треб. 4.4.6 - должен документировать любые исследования, проведенные и результаты проверки моделей.

##### **Количественная оценка неопределенности**

Для количественной оценки неопределенности, ответственная сторона выполняет следующие операции:

Треб. 4.4.7 - должна документировать все процессы неопределенность количественного используемые для

а. Данные референтные.

б. Входные данные.

в. Результаты моделей и моделирования.

г. Распространение неопределенностей.

д. Величины, полученные из результатов моделей и моделирования.

Треб. 4.4.8 - должен документировать любые количественные неопределенности, как физические, так и численное, для

а. Данные референтные.

б. Входные данные.

в. Результаты моделей и моделирования.

г. Распространение неопределенностей.

д. Величины, полученные из результатов моделей и моделирования.

Треб. 4.4.9 - должна документировать степень и результаты любого анализа чувствительности осуществ-

ляется с моделями и моделированием.

Рекомендации для верификации, подтверждения и неопределенности количественной оценки моделей и моделирования в том, что виновная сторона должна документально следующее:

- а. Любые аспекты моделей и моделирования которые не были проверены.
- б. Любые аспекты моделей и моделирования, которые не были проверены.
- в. Если какие-либо существенные физические процессы, последствия, сценарии, или среды не были учтены при анализе неопределенности количественного.

#### **4.5 Определение и использование рекомендованных методик**

Этот стандарт обращается общие вопросы относительно использования моделей и моделирования. Особенности реализации, специфичные для отдельных программ, проектов, дисциплин или процессов не рассматриваются в данном стандарте. Детали реализации рассматриваются в Рекомендуемой практике. В этом разделе описываются требования и рекомендации для идентификации рекомендуемой практики (например, руководящие принципы, разработанные профессиональными обществами, такими как AIAA G-077 и ASME V&V 10, передового опыта документально конкретных кодов моделирования, и НАСА справочников и путеводителей).

Для использования рекомендуемой практики, ответственная сторона выполняет следующие операции:

Треб. 4.5.1 - определяет и документирует любые Рекомендуемая практика, применимые к моделям и моделированию для программы / проекта.

Рекомендации данного раздела, что Рекомендуемая практика для следующих должны быть определены:

- а. Входной верификации и проверка данных.
- б. Количественный метод отслеживания приверженность рекомендованной практике.
- в. Цели и задачи для моделей и моделирования и их родословной.
- г. Верификации и валидации процессов для моделей и моделирования.
- д. Методы Неопределенность количественного для моделей и моделирования.
- е. Понимание дисциплин, входящих в модели и моделирование.
- ж. Анализируя и интерпретации результатов моделей и моделирования в том числе документации руководящих принципов вывода и статистических процессов, используемых.
- з. Признавая и захватив необходимость в любых изменениях или улучшениях в моделях и моделировании.
- и. Отчетность процедуры результатов.
- к. Выявление передового опыта для разработки пользовательского интерфейса для ограничивать работу симуляции, чтобы в его пределах операций.

#### **4.6 Обучение**

Обучение относится к процессу предоставления инструкции по правильному использованию моделей и моделирования, так что человек может развиваться, работать, или анализировать соответствующую модель и моделирование.

Для обучения, ответственная сторона выполняет следующие операции:

Треб. 4.6.1 - определяет глубину необходимого обучения для разработчиков, операторов и аналитиков.

Треб. 4.6.2 - должен задокументировать следующее:

- а. Темы обучения, необходимые для разработчиков, операторов, и аналитики моделей и моделирования.
- б. Процесс и критерии для проверки того, что требования к обучению будут выполнены.

Треб. 4.6.3 - определяет квалификацию для разработчиков, операторов и аналитиков.

Рекомендуемые темы обучения для разработчиков, операторов и аналитиков моделей и моделирования включают:

- а. Предполагаемое использование пределов работы для моделей.
- б. Требования управления конфигурацией.
- в. Требования к документации как указано в разделах 4.2, 4.3, и 4.4 настоящего стандарта.
- г. Как распознать нереалистичные результаты моделирования.
- д. Обратная связь процессы для улучшения процессов и результатов моделей и моделирования, в том числе обеспечивая обратную связь для результатов, которые не заслуживают доверия, которые нереально, или не поддаются объяснению.
- е. Анализ чувствительности.
- ж. Неопределенность количественная.
- з. Верификация и валидация.
- и. Как сообщают результаты моделирования на лиц, принимающих решения.
- к. Статистика и вероятность.
- л. Дисциплина конкретных рекомендуемой практики. Другая политика применяется агентство, процедурные требования, и стандарты.
- м. Основные структуры, математика, предположения и абстракции.

#### **4.7 Оценка надежности результатов моделей и моделирования**

Для того, чтобы гарантировать, что решения НАСА производители сообщили о достоверности результатов моделей и моделирования в терминах общего процесса и общего языка, результаты моделей и моделирования, используемые в принятии важнейших решений, будет оцениваться с помощью CAS в соответствии с требованиями данного раздела. Поскольку авторитет субъективным атрибут, CAS не является определить дове-

рие, а лишь для оценки ключевых факторов, которые (а) способствовать оценке лица, принимающего решения в достоверности и (б) разумно оценивать по следующей шкале: CAS предоставляет лицу, принимающему решения с оценкой результатов моделей и моделирования против ключевых факторов. Эта оценка ориентирована на результаты, достигнутые в моделях и моделировании, и по качеству выходов, связанных с процессами, которые привели результаты моделей и моделирования S.

Эксплуатационная концепция шкалы оценки доверия является то, что презентация любые результаты моделей и моделирования на ЛПР включают (1) лучшая оценка результатов, (2) заявление о неопределенности результатов, (3) оценка результаты по шкале оценки достоверности и (4) любые явные протесты, которые сопровождают результаты. (Примером такой оговоркой бы использование модели в нарушение своих предположениях.), Принимающее решение, то делает его / ее собственную оценку надежности на основе всех четырех частей информации в контексте решения под рукой. Просто, чтобы подчеркнуть эту фундаментальную точку, масштаб оценка доверия не является для измерения доверия; это, скорее, оценивает результаты моделей и моделирования, и строгость процессов используется для их производства, против ключевых факторов, влияющих на решение доверия. Основная предпосылка этого подхода является то, что, как правило, более строгих ключевых процессов, используемых для генерации результаты моделей и моделирования, тем больше доверия к результатам моделей и моделирования, все остальное (в том числе оцененную неопределенность) равных.

Требования к отчетности в следующем разделе, включают результаты CAS вместе с несколькими другими основными факторами, которые либо автономные данные (сведений неопределенность) или существенные оговорки.

Детали CAS приведены в Приложении В. Таким образом, шкала состоит из восьми факторов. Каждый фактор делится на всех уровнях, начиная от 0 до 4, с определениями уровня, описывающих доказательства, необходимые для достижения данного конкретного уровня. Уровень 0 соответствует недостаточной или без признаков, т.е. модели и моделирование дает результаты, но нет достаточных доказательств, чтобы оправдать даже 1-го уровня оценки от этого фактора. Один, суммарный балл по CAS определяется минимумом баллов факторов восьми, который производит одно число от 0 до 4.

Это само по себе стандарт не взимает требования в отношении того, что уровни должны быть достигнуты (пороговые достаточности уровня - в Приложении В.5), лишь, что достигнутые уровни должны быть определены и сообщены.

Требования к оценке достоверности результатов моделей и моделирования, которые поддерживают критически важные решения в том, что виновная сторона выполняет следующие операции:

Треб. 4.7.1 - должен оценить достоверность результатов моделей и моделирования для каждого из восьми факторов в CAS, описанной в Приложениях В.2 и В.3.

Треб. 4.7.2 - должен обосновать и документально подтвердить оценку доверия для каждого из восьми факторов, упомянутых в Треб. 4.7.1.

Треб. 4.7.3 - выполняет подъемные к общей оценке в соответствии со способом, описанным в Приложении В.4.

Рекомендация, чтобы получить дополнительные сведения в достоверности результатов моделей и моделирования, применяя процесс в Приложении В.5 для расчета и сообщать о любых пробелов между достигнутыми оценки и программы / проекта, определенные пороговые значения по каждому из факторов.

#### **4.8 Отчет о результатах для специалистов, принимающих решение**

В этом разделе отличается от предыдущих разделах в том, что он определяет требования и рекомендации для обеспечения высокого уровня синопсис результатов моделей и моделирования отношение к назначению.

Требования, связанные с отчетности лицам, принимающим решения, указаны ниже следующим образом:

Треб. 4.8.1 - доклады, принимающих решения должны включать четкие предупреждения для любого из следующие случаи, сопровождающиеся крайней мере качественной оценки воздействия наступления:

а. Любые нереализованные критерии приемки (как указано в Треб. 4.1.3 (а)).

б. Нарушение любых условиях любой модели (как указано в Треб. 4.2.1).

в. Нарушение пределов эксплуатации (как указано в Треб. 4.2.5).

г. Предупреждение Выполнение и сообщения об ошибках (см Треб. 4.3.2).

д. Неблагоприятные исходы от предполагаемого использования и оценки установки / выполнения (описано в Треб. 4.3.9 и Треб. 4.3.10).

е. Отказы в любой из требований настоящего стандарта.

(При отсутствии документации для любого из требований, упомянутых в (а) - (е), должны быть предусмотрены предупреждение.)

Треб. 4.8.2 - доклады, принимающих решения, результаты моделей и моделирования включает оценку их неопределенности и описание любых процессов, используемых для получения этой оценки, как это определено в Треб. 4.4.7 и Треб. 4.4.8.

а. Существующие оценки неопределенности должны включать один из следующих:

(1) количественная оценка неопределенности результатов моделей и моделирования, или

(2) Качественная оценка неопределенности результатов моделей и моделирования, или

(3) четкое заявление, что ни количественный или качественный оценка неопределенности не доступно.

Треб. 4.8.3 - Доклады, принимающих решения должны включать уровень доверия к результатам моделей и моделирования и весов подфактор, используя процесс, определенный в разделе 4.7.

Для Треб. 4.8.2, полный количественная оценка неопределенности обеспечит неопределенности интерва-

лы о результатах моделей и моделирования и доверительных отчетности на основе проведенного анализа, в то время как качественная оценка неопределенности будут предоставляться только в лингвистических терминах, например, малых, средних или больших, чем в числовой терминов. Качественные оценки неопределенности по-прежнему потребуются обоснование, например, описательной фразировки эксперта по предмету или прибегают к аналогии с количественных чувствительности подобных задач.

Рекомендации по отчетности является то, что наблюдается следующее:

а. Доклады, принимающих решения должны включать заключительные замечания, заявляющие ли результаты моделей и моделирования достаточно надежным для использования по назначению.

б. Доклады, принимающих решения должны определить, как получить доступ к более подробную резервного копирования материала, в том числе описания высокого уровня моделей, используемых, и основных допущений для пределах срока действия.

в. Доклады, принимающих решения, результаты моделей и моделирования должны быть помещены в системе УК.

г. Доклады, принимающих решения следует обобщить отклонения от установленных рекомендуемой практики.

д. Доклады, принимающих решения должны включать особое технические мнения относительно достоверности результатов или любых рекомендуемых действий.

е. Разработчики и аналитики должны передать серьезные опасения по поводу моделей и моделирования проецировать менеджеров (и лиц, принимающих решения, в случае необходимости), как только они известны.

## 5. РУКОВОДСТВО

### 5.1 Справочные документы

Номер документа	Наименование документа	Наименование документа
	Balci, O. (2004). Quality Assessment, Verification, and Validation of Modeling and Simulation Applications. Proceedings of the 2004 Winter Simulation Conference. R.G. Ingalls; M.D. Rossetti; J.S. Smith; B.A. Peters, eds. Dec. 5-8. Piscataway, NJ: IEEE. pp. 122-129.	Балчи, О. (2004). Оценка качества, верификация и аттестация моделирования и симуляции приложений. Труды 2004 Winter Simulation конференции. Р.Г. Ингаллс; М.Д. Россетти; Ж.С. Смит; В.А. Питерс, ред. 5-8 декабря. Piscataway, NJ: IEEE. с. 122-129.
	Banks, J., ed. (1998). Handbook of Simulation. New York: John Wiley & Sons.	Банки, Дж., изд. (1998). Справочник по моделированию. New York: John Wiley & Sons.
	Clemen, R.T. (1996). Making Hard Decisions; an Introduction to Decision Analysis, Second Edition. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole.	Клемен, Р.Т. (1996). Создание трудных решений; Введение в анализ принятия решений, второе издание. Pacific Grove, Калифорния: Брукс / Коул.
	Cooke, R.M. (1991). Experts in Uncertainty: Opinion and Subjective Probability in Science. New York: Oxford University Press.	Кук, Р.М. (1991). Эксперты в неопределенности: Мнение и субъективной вероятности в науке. Нью-Йорк: Oxford University Press.
	Hale, J.P.; Hartway, B.L.; Thomas, D.A. (2007). A Common M&S Credibility Criteria-set Supports Multiple Problem Domains. The 5th Joint Army-Navy-NASA-Air Force (JANNAF) Modeling and Simulation Subcommittee Meeting, May, CDJSC 49. Columbia, MD: Johns Hopkins University.	Хейл, Дж.П. ; Хартвей, В.Л. ; Томас, Д.А. (2007). Общие модели и моделирование Доверие Критерии-набор Поддержка нескольких доменов проблема. 5-я Объединенная армия-флот-НАСА-воздушные силы (JANNAF) Моделирование и Моделирование Подкомитет Встреча, Май, CDJSC 49. Columbia, MD: Университет Джона Хопкинса.
	Harmon, S.Y.; Youngblood, S.M. (2005). A Proposed Model for Simulation Validation Process Maturity, J. Defense Modeling & Simulation. Vol. 2, No. 4, pp. 179-190.	Хармон, С.Ю.; Янгблад, С.М. (2005). Предлагаемая модель Моделирование валидации процессов погашению, J. обороны Моделирование и моделирование. Часть 2, № 4, с. 179-190.
	Mehta, U.B. (2007). Simulation Credibility Level. The 5th Joint Army-Navy-NASA-Air Force (JANNAF) Modeling and Simulation Subcommittee Meeting, CDJSC 49, May, CPIAC. Columbia, MD: Johns Hopkins University.	Мехта, У.В. (2007). Моделирование Доверие Уровень. 5-я Объединенная армия-флот-НАСА-воздушные силы (JANNAF) Моделирование и Моделирование Подкомитет Встреча, CDJSC 49 мая, CPIAC. Columbia, MD: Университет Джона Хопкинса.
	Saltelli, A.; Chan, K.; Scott, E.M., eds. (2000). Sensitivity Analysis. Chichester, England: John Wiley & Sons.	Сателли, .; Чан, К. ; Скотт, Е.М., ред. (2000). Анализ чувствительности. Чичестер, Англия: Уайли и Сыновья.

AIAA-2005-4524	Lin, J.; West, J.S.; Williams, R.W.; Tucker, P.K. (2005). CFD Code Validation of Wall Heat Fluxes for a GO <sub>2</sub> /GH <sub>2</sub> Single Element Combustor.	Лин, J. ; Запад, J.S. ; Уильямс, Р.В. ; Такер, Р.К. (2005). CFD код Валидация Стеновые тепловые потоки для GO <sub>2</sub> / GH <sub>2</sub> одного элемента сгорания.
AIAA-2008-	2156 Blattnig, S.R.; Green, L.L.; Luckring, J.M.; Morrison, J.H.; Tripathi, R.K.; Zang, T.A. (2008). Towards a Credibility Assessment of Models and Simulations.	Блаттний, С.Р. ; Зеленый, Л.Л. ; Лакринг, Дж.М.; Моррисон, Дж.Х. ; Трипати, Р.К. ; Занг, Т.А. (2008). На пути к оценке достоверности моделей и моделирования.
AIAA G-077	Guide for Verification and Validation of Computational Fluid Dynamics Simulation. (1998). Reston, VA: AIAA.	Руководство по верификации и валидации вычислительной газовой динамики моделирования. (1998). Рестон, Вирджиния: AIAA.
ASME V&V 10	Guide for Verification and Validation in Computational Solid Mechanics. (2006). New York, NY: ASME.	Руководство для проверки и одобрения в вычислительной механике деформируемого твердого тела. (2006). Нью-Йорк, Нью-Йорк: ASME.
CAIB	Columbia Accident Investigation Board Report. (August 2003). Vol. 1.	Колумбия расследованию авиационных происшествий Доклад Совета. (Август 2003 г.). Vol. 1.
PB2005-100968	A Renewed Commitment to Excellence: An Assessment of the NASA Agency-wide Applicability of the Columbia Accident Investigation Board Report. (January 30, 2004).	Обновлено Стремление к совершенству: Оценка НАСА всего Агентства применимости следственного комитета Доклад Колумбия аварии. (30 января, 2004).
Fidelity ISG Glossary	Simulation Interoperability Standards Organization (SISO). Fidelity Implementation Study Group (ISG). Fidelity ISG Glossary. (Dec. 1998). Vol. 3.0. <a href="http://www.sisostds.org/doclib/doclib.cfm?SISO RID 1000789">http://www.sisostds.org/doclib/doclib.cfm?SISO RID 1000789</a> .	Моделирование совместимость организации по стандартизации (SISO). Верность Реализация Исследовательская группа (МРГ). Верность ISG Глоссарий. (Декабрь 1998). Vol. 3.0. <a href="http://www.sisostds.org/doclib/doclib.cfm?SISO RID 1000789">http://www.sisostds.org/doclib/doclib.cfm?SISO RID 1000789</a> .
IEEE 610.12-1990	IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology.	Стандарт IEEE Глоссарий Терминология техники программного обеспечения.
NASA-STD-8719.13	Software Safety Standard.	Стандарт безопасности программного обеспечения.
NPR 7120.5C	NASA Program and Project Management Processes and Requirements.	Программа НАСА и Управление проектами Процессы и требования.
NPR 7120.5D	NASA Space Flight Program and Project Management Requirements.	НАСА программы полета и управления проектами требования.
NPR 7123.1A	NASA Systems Engineering Processes and Requirements.	Системы НАСА технологических процессов и требования.
NPR 7150.2	NASA Software Engineering Requirements.	Требования НАСА к технике программного обеспечения.
NPR 8000.4	Risk Management Procedural Requirements	Управление рисками Процедурные требования
NPR 8715.3B	NASA General Safety Program Requirements.	Программные требования НАСА Общая безопасность.
RPG Build 3.0	VV&A Recommended Practices Guide, Defense Modeling and Simulation Office. <a href="http://vva.dmsi.mil/">http://vva.dmsi.mil/</a> .	Верификация, валидация и аккредитация Рекомендуемая практика Руководство, моделирование обороны и Simulation Office. <a href="http://vva.dmsi.mil/">http://vva.dmsi.mil/</a> .
SAND2007-5948	Oberkampf, W.L.; Pilch, M.; Trucano, T.G. (October 2007). Predictive Capability Maturity Model for Computational Modeling and Simulation, Sandia National Laboratories.	Оберкамф, В.Л. ; Пилч, М. ; Трукано, Т.Г. (Октябрь 2007 г.). Интеллектуальный Модель зрелости для вычислительного моделирования и симуляции, Sandia National Laboratories.

## 5.2 Список ключевых слов

Расчет  
 Надежность  
 Модель  
 Моделирование анализа чувствительности  
 Количественная оценка неопределенности  
 Валидация  
 Верификация

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А. ОЦЕНКА РИСКОВ МОДЕЛЕЙ И МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Определение которых падение моделей и моделирования в рамках этого стандарта должна быть основана на оценке риска, связанного с потенциальным использованием моделей и моделирования. Такие оценки риска моделей и моделирования рассмотреть (1) последствия в критерии успеха человека безопасности или миссии, если решение оказывается неправильным, и (2) степень, в которой результаты моделей и моделирования повлиять на решение. В этом приложении приводится пример моделей и моделирования оценки риска матрицу для поддержки этого определения. Программа и проекты могут, конечно, адаптировать это к их конкретным определений следствие (и числа уровней следствие). Образец, представленная здесь основана на NPR 8000.4.

### **A.1 Последовательность решений**

Классификация последовательности оценки воздействия решения, что доказывает неправильно. Число уровней следствием и большую часть языка берется из NPR 8000,4. Последний пункт в описании каждого класса была добавлена для решения влияние на критерии успеха миссии, такие как целей науки.

а. Класс IV - Незначительное. Плохое решение может привести к необходимости незначительного первой помощи, но не скажется отрицательно на личную безопасность или здоровье; повреждение сооружений, оборудования или полета аппаратных более нормального износа уровне; Внутренняя скольжения график, что не влияет на внутренние вехи развития; перерасход менее 2 процентов плановой себестоимости; все критерии успеха миссии встретились с в худшем незначительных снижении производительности.

б. Класс III - Умеренное. Плохое решение может привести к травме или профессионального заболевания, или незначительные повреждения имущества к объектам, систем, оборудования, или полета аппаратного обеспечения; Внутренняя скольжения график, что не влияет на дату запуска; перерасход между 2 процента и не более 15 процентов от плановой себестоимости; несколько (до 25 процентов) миссии критерии успеха не встречались в связи с снижении производительности.

в. Класс II - Критическое. Плохое решение может привести к серьезной травме или профессионального заболевания, или крупного имущественного ущерба сооружений, систем, оборудования, или полета аппаратного обеспечения; График проскальзывание вызывая дату запуска будет хватать; перерасход между 15 процентов и не более 50 процентов планируется; многие (между 25 процентов и 75 процентов) критерии успеха миссии не встречались в связи с существенным снижении производительности.

г. Класс I - Катастрофическое. Плохое решение может привести к смерти или постоянной отключение травмы, объект по уничтожению на месте, или потеря экипажем, основных систем, или транспортного средства во время миссии; График проскальзывание вызывая стартовое окно будет хватать; перерасход больше чем 50 процентов плановой себестоимости; критерии успеха большинство (более 75 процентов) миссия не встречались в связи с тяжелыми снижении производительности.

### **A.2 Влияние моделей и моделирования**

Влияние оценивает, в какой степени влияет на результаты программ / проектов инженерных решений моделей и моделирования. (Инженерные решения включают определение, были ли проверены требования к конструкции.)

а. Влияние 1 – Незначительное. Результаты от моделей и моделирования являются незначительным фактором в инженерных решений. Это включает в себя повторное поиск по методам моделей и моделирования, и модели и моделирования используются в исследовательских проектах, которые не имеют прямого отношения к решениям по программам / проектам (для миссий НАСА).

б. Влияние 2 - Малое. Результаты моделей и моделирования являются лишь второстепенным фактором при принятии любых решений по программам / проектам. Широкие полетов или данные испытаний для реальной системы в реальных условиях доступны, и результаты моделей и моделирования используются только в качестве дополнительной информации.

в. Влияние 3 - Умеренное. Результаты моделей и моделирования не более умеренный фактором при принятии любых решений по программам / проектам. Ограниченные полетов или данные испытаний для реальной системы в реальных условиях доступны, но вполне достаточные полетов или данные испытаний для подобных систем в аналогичных условиях доступны.

г. Влияние 4 - Сильное. Результаты моделей и моделирования являются существенным фактором в некоторых решениях программы / проекта, но не является единственным фактором для принятия любых решений по программам / проектам. Широкие полетов или данные испытаний для подобных систем в аналогичных условиях доступны.

д. Влияние 5 - Контролируемое. Результаты моделей и моделирования являются определяющим фактором в некоторых решениях по программам / проектам. Данные Ни полетов, ни тестов доступны для существенных аспектов системы и / или окружающей среды.

### **A.3 Матрица оценки рисков моделей и моделирования и область применения**

Те, модели и моделирования, что судят, чтобы подпадать под красный (К) коробки на рисунке 1, входят в объем данного документа, и те, которые попадают в зеленый (З) коробки не в области применения. Модели и моделирования, что судят, чтобы подпадать под желтыми (Ж) коробки могут быть признаны в области применения по усмотрению руководства программы / проекта в сотрудничестве с Техническим органом.

**Рис. 1. Пример матрицы оценки рисков моделей и моделирования**

Влияние результатов моделей и моделирования	5: Контролируемое	(З)	(Ж)	(К)	(К)
	4: Сильное	(З)	(Ж)	(К)	(К)
	3: Умеренное	(З)	(Ж)	(Ж)	(К)
	2: Малое	(З)	(З)	(Ж)	(Ж)
	1: Незначительное	(З)	(З)	(З)	(З)
		IV: Незначительное	III: Умеренное	II: Критическое	I: Катастрофическое
		Последовательность решений			

## ПРИЛОЖЕНИЕ В. ШКАЛА ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ

### В.1 Введение

Оценка достоверности результатов модели и моделирования должна производиться с помощью CAS и процессов, представленных в данном приложении, содержащем поясняющие и руководящие положения. Процесс оценки включает оценку результатов модели и моделирования по каждому из восьми факторов, а затем объединение этих восьми результатов по факторам в одно число, которое представляет общую оценку достоверности. Подробное объяснение восьми факторов приводится в разделах В.2 и В.3; процесс объединения приведен в разделе В.4; и процесс сравнения рассчитанных баллов с использованием программы / порогов достаточности, установленных проектом (см. рекомендации в конце раздела 4.7) приведен в разделе В.5.

### В.2 Обзор факторов, подфакторов и категорий достоверности

CAS состоит из восьми факторов, сгруппированных в три категории, как показано на рисунке 2. Восемь факторов включают в себя верификацию, валидацию, происхождение входных данных, неопределенность результатов, надежность результатов, историю использования, управление M&S и квалификацию людей. Три категории разработки модели и моделирования (по верификации и валидации); Операции модели и моделирования (происхождение входных данных, неопределенность результатов, устойчивость результатов); и подтверждающие доказательства (история использования, управления моделью и моделированием, квалификация людей). Для каждого фактора определена оценка достоверности из пяти уровней.



**Рис. 2 — Шкала оценки достоверности**

Эти восемь факторов были выбраны из длинного списка факторов, которые вносят вклад в достоверность результатов модели и моделирования, поскольку (а) по отдельности они были признаны ключевыми факторами в данном списке; (б) в совокупности они почти являются ортогональными, т.е. независимыми факторами; и

(в) могут оцениваться объективно. Иными словами, основные аспекты, оцениваемые с помощью этих восьми факторов, следующие:

а. Разработка модели и моделирования

(1) Верификация: Были ли модели реализованы правильно, и в чем состояла числовая ошибка/неопределенность?

(2) Валидация: верно ли сравниваются результаты модели и моделирования с референтными данными, и насколько близко референт к системе реального мира?

б. Операции модели и моделирования

(1) происхождение входных данных: насколько мы уверены текущих входных данных?

(2) неопределенность результатов: какова неопределенность в текущих результатов модели и моделирования?

(3) устойчивость результатов: Как тщательно являются чувствительность текущих результатах модели и моделирования известно?

в. Подтверждающие данные

(1) история использования: использовались ли текущие модели и моделирования успешно раньше?

(2) управление модели и моделирования: насколько хорошо управляемы процессы модели и моделирования?

(3) квалификация людей: насколько квалифицирован персонал?

Категория разработки модели и моделирования захватывает те аспекты модели и моделирования, которые относятся к общей оценке достоверности модели и моделирования для их широкого использования по назначению; операции модели и моделирования рассматривают аспекты, связанные с текущим применением модели и моделирования, чтобы генерировать конкретные оцениваемые результаты модели и моделирования; и вспомогательные категории доказательств рассматривают три пересекающихся фактора.

Рассмотрим случай модели и моделирования, которые реализованы с использованием программного пакета общего назначения, например, пакет структурного анализа COTS, в реализации вычислительной модели. Вся деятельность по верификации и валидации для инструмента COTS оценивается в развитии модели и моделирования. Особенно вычислительная модель, которая собирается с помощью инструмента COTS также оценивается в этой категории. Тем не менее, категория предложения модели и моделирования Операции с факторов доверия к применению этой конкретной вычислительной модели в генерации нынешних результатов модели и моделирования. Это включает в себя проведение настоящего моделирования и анализа и отчетности о результатах. Использование история обоих инструмента COTS в целом и конкретного вычислительной модели; Общее управление процессами модели и моделирования; и о квалификации людей, занимающихся разработкой, эксплуатации и анализа расчетной модели, рассматриваются в опорной категории доказательности.

**Таблица 1 - Ключевые аспекты уровней оценке достоверности (подчеркнуты факторы с технической оценкой подфактора)**

<b>Уровень</b>	<b><u>Верификация</u></b>	<b><u>Валидация</u></b>	<b><u>Происхождение входных данных</u></b>	<b><u>Неопределенность результатов</u></b>	<b><u>Надежность результатов</u></b>	<b><u>История использования</u></b>	<b><u>Управление моделью и моделированием</u></b>	<b><u>Квалификация людей</u></b>
<b>4</b>	Численные ошибки незначительные для всех важных функций.	Результаты согласуются с реальными данными.	Входные данные согласуются с реальными данными.	Недетерминированный и численный анализ.	Чувствительность, известная по большинству параметров; ключевая определенная чувствительность.	Фактический стандарт.	Постоянное улучшение процесса.	Обширный опыт в использовании рекомендованных практик для конкретной модели и моделирования.
<b>3</b>	Формальная численная оценка ошибки.	Результаты согласуются с экспериментальными данными для интересующих задач.	Входные данные согласуются с экспериментальными данными для интересующих задач.	Недетерминированный анализ.	Чувствительность, известная по множеству параметров.	Предсказуемые прогнозы были позднее подтверждены данными миссии.	Предсказуемый процесс.	Ученая степень или обширный опыт в моделировании и рекомендуемые практические знания.



<b>2</b>	Отдельное и регрессивное тестирование ключевых особенностей.	Результаты согласуются с экспериментальными данными или другими моделью и моделированием по задачам единиц.	Входные данные, отслеживаемые в официальной документации.	Детерминированный анализ или мнения экспертов.	Чувствительность, известная по нескольким параметрам.	Используется до критических решений.	Установившийся процесс.	Формальная подготовка и опыт в моделировании и рекомендуемая практическое обучение.
<b>1</b>	Концептуальные и математические модели проверены.	Концептуальные и математические модели согласуются с простыми референтами.	Входные данные, отслеживаемые в не-официальной документации.	Качественные оценки.	Качественные оценки.	Проходит простые испытания.	Управляемый процесс.	Степень в инженерии или ученая степень.
<b>0</b>	Недостаточно данных.	Недостаточно данных.	Недостаточно данных.	Недостаточно данных.	Недостаточно данных.	Недостаточно данных.	Недостаточно данных.	Недостаточно данных.
<b>Разработка модели и моделирования</b>			<b>Операции с моделью и моделированием</b>			<b>Подтверждающие данные</b>		

В таблице 1 приведен обзор на высоком уровне критериев оценки. Они описаны более подробно в разделе В.3. Таблица 1 сам по себе не должен быть использован при выполнении оценки достоверности. Скорее, определения подробные уровни в разделе В.3, которые будут использоваться.

Фраза достаточных доказательств равномерно используется для всех факторов, которые характеризуют уровень 0, что означает, что либо никаких доказательств не существует для этого фактора, или, что доказательства того, что существует не отвечает даже на уровне 1 критерии этого фактора.

Слово благоприятным, как используется в определениях уровня для нескольких подфакторов или факторов (Проверка фактических данных, проверка фактических данных, ввода Родословная Evidence, и использование в анамнезе) означает, что все, что соответствующие критерии приемки были признаны достаточным, по мнению программы / проекта в сотрудничестве с Техническим органа (см Ур. 4.1.3 (а)) были удовлетворены. Если нет документации для того, что составляет благоприятную сравнение, то эти определения уровня, поддерживающие эту фразу считаются «не удовлетворен».

Другие ключевые фразы здесь, и в последующих определений уровня, являются реальная система, проблемы интерес, и единичные проблемы. Фраза реальная система относится к реальной системе, работающей в его реальной среде. Проблема интереса относится к системам, которые так близко к реальной системы в реальных условиях, что они захватывают большую часть существенной сложностью реальной системы и ее окружения (отношение к текущему приложению модели и моделирования), и все же не отвечают реальная система в ее реальной среде. Это может быть реальной системе в аналогичной среде, или аналогичная система в реальной среде. Проблема фраза блок относится к проблемам, которые захватывают один или несколько физических явлений связаны с текущим приложением модели и моделирования. (Некоторые дисциплины использовать фразу «строительного блока» за то, что упоминается здесь как проблема единицу.) Эти термины проиллюстрированы в следующих двух примерах.

Первый пример, что ракеты-носителя Ares-1. В этом случае реальная система состоит из фактических Ares-1 ракеты-носителя во время реального полета. Экспериментальные данные будут полетных данных, принятые на соответствующих местах вдоль траектории автомобиля. Эти данные будут подаваться от датчиков на самом транспортном средстве или с удаленных датчиков, способных регистрировать данные полета.

Разнообразие интересующих задач мыслимо, при условии, конечно, что важно сложность в плен. Один может быть полет аналогичной ракеты-носителя, например, автомобиль Delta IV Medium, для основных данных о производительности более траектории. Другой может быть данные в аэродинамической трубе (сила, момент, и / или нагрузки), когда основные геометрические характеристики и параметры полета (например, число Рейнольдса, число Маха, и угол атаки) из Ареса-1 были подобраны в некоторых точках вдоль траектории. Еще одна проблема может его заинтересовать твердотопливные ракетные ускорители Шаттла для работы двигателя для Ареса-1 первой ступени.

Для этого, например, некоторые возможные проблемы блок может быть в аэродинамической трубе эксперименты, в которых существенные геометрические особенности были отсутствующие и / или число Рейнольдса было значительно ниже, чем в полете, эксперименты испытательном стенде для общего жидкого ракетного двигателя, или статические и динамические структурные испытания из интерфейса сустава оценить работает грузы через зазор шва на Ареса-1.

Второй пример, что из космического телескопа Джеймса Вебба. NASA Структурный анализ (NASTRAN) модель зеркало кроссплат начальной (PMBA) требуется для того, чтобы проверить тепловых упругих требования к устойчивости (изменения в размере, форме и относительной позиции / ориентации) для критических оптических компонентов в ответ на оп-колебания температуры орбиты. Успешное выполнение плана валидации модели проекта формирует уверенность в качестве построенного PMBA модели, в конечном счете, удовлетворяющих критериям валидации уровня 3.

Ряд экспериментов выполняются для проверки моделей единичных проблем (или строительных блоков) - малые штучных частях низкой сложности, но с критическими функциями-криогенного композитной структуры. Результаты этого проверки деятельности обеспечить уверенность в выборе для основных элементов NASTRAN и представлении свойств материала в зависимости от температуры и ориентации (анизотропии). Эти мероприятия квалифицироваться как архетипических проблем единичных и как такой уровень проверки 2 достигается.

Эти эксперименты следуют один предназначен для проверки модель сборки таких блоков, представляющих значительную часть полного летного состава, но по-прежнему не хватает несколько ключевых особенностей, главным петли и защелки, позволяющие объединительная плата сложить в запуске транспортного средства, а затем развернуть один раз в космосе. На самом деле, проверка более сложной сборки фактически предшествует блок-проблемные эксперименты, один, который показывает петли и защелки, но иной конструкции, чем то, что в конечном итоге прилетает. Это испытание статья будет также есть различные материалы и геометрию, чем то, что летал. Оба этих мероприятий проверки продемонстрировать способность к агрегации большого числа соответствующих NASTRAN элементов, чтобы захватить сложную и представительную геометрию, чтобы захватить пространственное изменение в свойствах материалов на больших масштабах, и моделировать критические возможности, отсутствующие в задачах подразделений. Эти эксперименты представляют собой серую зону. Данные референт берется в аналогичной среде, при условии, небольшой тепловой вакуумной камере. Тем не менее, степень сходства исследуемых статей к аппаратным полета (в реальном мире система) является субъективным. Аргумент может быть, что уровень 3 была достигнута в результате сочетания этих двух видов деятельности, но, вероятно, не один либо самостоятельно.

В конце концов, аппаратная полет построен по образцу и испытаны в большом тепловых вакуумной камере. Одна из процедур испытаний предназначен для проверки достоверности модели тепловой упругой устойчивости полной, как построенный плате в репрезентативной-но не полета окружающей среды. Тестовая среда не может быть выполнен в виде термически стабильны, как пространство (в точке от Земли до Солнца L2 Лагранжа); и, кроме того, это будет необходимо «овердрайв» структуры, чтобы получить ответ, что может даже быть измерена с имеющейся метрологии. Линейность предполагается до ожидаемого уровня колебаний температуры полета. Так в то время как данные референт происходит от реальных системы, она исходит не от реальной среде и, поэтому, будет только удовлетворяют критериям для проверки уровня 3 (если, конечно, что благоприятно согласие получается).

Уровень 4 устанавливает высокую планку: есть минимальный шанс ошибок реализации модели, численные ошибки незначительны, проверка была выполнена против реальной системы в ее реальной среде, входные данные сверяются данные от реальной системы в реальных условиях, неопределенности оценки недетерминированный и на основе реальных данных, чувствительность к наиболее чувствительных переменных известны, модели и моделирования имеет большой опыт, процессы управления строги, и отличающийся высокой квалификацией.

Достижение рейтинг уровня 4 по шкале может быть технически осуществимо, хотя трудно. Очевидно, уровень 4 может быть достигнуто только через управление по системе, которая в этапе эксплуатации жизненного цикла. Более низкие уровни по шкале более подходящие цели для более ранних этапах жизненного цикла. Уровень 3 может быть достигнуто только тогда, когда несколько ключевых факторов (Validation, Входное Родословная, Результаты Неопределенность) основаны на экспериментальных данных. Уровень 2 дает кредит сравнению с референтными данными экспертного заключения или другого модели и моделирования. Уровень 1 является минимальным доказательств того, что должны быть доступны для любого кредитного уделять.

Все факторы в модели и моделирования развития и модели и моделирования операций категорий имеют технический обзор компонента или подфактор, в дополнение к регулярной составляющей. Тем не менее, хотя Технический обзор является ключевым фактором доверия, как технический обзор используется в НАСА, это лечится лучше здесь в качестве компонента других факторов, чем как самостоятельный фактор. Каждый из факторов, которые включены в операции по модели и моделирования и модели и моделирования развития категорий охватывает широкий круг аспектов. Для того, чтобы сохранить CAS относительно простой, только один или два наиболее важных аспекта каждого фактора выделяются для оценки в первом подфактор - «доказательств» подфактору. Подфактор Технический обзор должен охватывать как многие из этих других аспектах, как это возможно.

Компоненты CAS расположены в многоуровневой иерархии. Общая оценка уровня 1, факторы являются 2-го уровня, и подфакторы являются уровень 3 С отчетность оценки для категорий не требуется, они не считаются ярус им самим, а можно четко рассматриваться как таковые, если оценки доверия к отдельным категориям желательны; Таким образом, категории обозначены как уровне 1,5.

Каждый подфактор (или фактором при нет подфакторы) делится на целых уровнях в диапазоне от 0 до 4, с определениями уровня, описывающих доказательства, необходимые для достижения данного конкретного уровня. Уровень 0 не соответствует нет или недостаточности доказательств; т.е., модели и моделирования дают результаты, но нет достаточных доказательств, чтобы оправдать даже достижение уровня 1 на этой подфактору. Определения уровня приведены в таблице 1, и более подробное объяснение содержится в следующих подразделах.

Можно подумать, что важнейшей вклад в достоверности результатов модели и моделирования является их

точность. В данном контексте, точность разница между выходами модели и моделирования интересующих и их истинного значения (или их предполагаемого истинного значения). Тем не менее, истинное значение практически никогда не известно. В контексте модели и моделирования, можно определить точность по сравнению с некоторыми значениями референтной. Типы референтами, представляющих интерес для модели и моделирования являются (а) с высокой точностью численный результат (предполагается, истинное значение для оценки численное ошибку), и (б) референта проверки. Один редко имеет возможность использовать в качестве проверки референта истинное значение или предполагаемую истинное значение, то есть, для реальной системы в реальных условиях (предполагаемого использования модели и моделирования), так как не имеют эти данные (в противном случае, можно было бы просто использовать его вместо результатов модели и моделирования). CAS делает оценить точность в нескольких местах-в отношении высокоточном численного результате в проверке и результатами анализа неопределенности, и по отношению к предполагаемой истинной ценности от референта в Валидации.

Два других веса (называемые погашения матрицы от их авторов), оба из которых, связанные, но несколько иные цели от CAS, это те, на Хармон и Янгблад (2005) и Оберкамф и другие (2007).

### В.3 Определения уровней

В этом пункте, подробное объяснение предоставляется для различных определений уровня в CAS. Во многих определениях уровня, несколько условий заявил. Это следует рассматривать как «и» условиях, если, конечно состояние явно не предшествует «или». Для того, чтобы претендовать на рейтинге на заданном уровне, все «и» условия должны быть соблюдены. Там нет частичное кредит, предоставляемый-оценка получена из определений уровня должно быть целым числом между 0 и 4 (Средневзвешенные оценки, вытекающие из подъемные, описанной в разделе В.4 не ограничены быть целыми.)

#### В.3.1 Категория разработки модели и моделирования

В центре внимания двух факторов в категории развития модели и моделирования является оценка верификации и валидации модели имоделирования. Каждый из этих факторов имеет подфактор технического обзора. Общий балл для каждого фактора является взвешенной суммой двух подфакторов в процессе сворачивания, определенной в разделе В.4. Определения уровня для подфакторов доказательной приведены в таблице 2 (В подфакторы технического обзора рассматриваются в разделе В.3.4.)

**Таблица 2 — Определения уровней для доказательства подфакторов в категории разработки модели и моделирования**

Уровень	Свидетельство верификации	Свидетельство валидации
<b>4</b>	Надежные методы оценки ошибок используются для количественной оценки численных ошибок. Эти оценки показывают, что ошибки малы из тестов, которые осуществляют все важные алгоритмы, все важные функции и возможности, и всех важных муфт (физики, модулей и т.д.) полной вычислительной модели.	Результаты модели и моделирования выгодно для реального мировой системы в точках проверки путем сравнения результатов модели и моделирования до приемлемого референта, который измерения на реальных системы.
<b>3</b>	Некоторые формальный метод используется для оценки численных ошибок, связанных с модульного тестирования со значительным охватом кода.	Результаты модели и моделирования выгодно для проблеминтересующих в точках проверки путем сравнения результатов модели и моделирования до приемлемого референта, который экспериментальных измерений по интересующим задачам.
<b>2</b>	Благоприятные результаты блока и регрессионного тестирования ключевых особенностей вычислительной модели.	Результаты модели и моделирования выгодно для единичных проблем в точках проверки путем сравнения результатов модели и моделирования до приемлемого референта, который либо экспериментальные измерения или более высокого верности результаты модели и моделирования.
<b>1</b>	Благоприятное свидетельство проверки для концептуальных и математических моделей.	Концептуальные и математические модели модели и моделирования выгодно сравнивать с референтами «общей задачи» и «учебник».
<b>0</b>	Недостаточно данных.	Недостаточно данных.

Верификация представляет собой процесс определения того, что вычислительная модель точно представляет основную математическую модель и ее решение с точки зрения предполагаемых использований модели и моделирования. В своих самых элементарных уровнях это предполагает уверенность, что концептуальные и математические модели являются правильными.

Кроме того, есть два разных аспекта проверки расчетной модели: (а) это правильно закодированные (код подтверждения) и (б) являются численные ошибки небольшие (расчет проверка), то есть, то, что является

численной точностью? В случае математических моделей, основанных на дифференциальных уравнений (обыкновенных или частных), подробное обсуждение различия между этими двумя аспектами обеспечивается в *ASME V & V 10* и Оберкамф и др., 2007.

Ключевые аспекты проверки кода являются регрессионное тестирование и тестирование модулей. Первая из них является процесс тестирования изменения в расчетных моделях, чтобы убедиться, что старые аспекты по-прежнему работать с новыми изменениями. Последний представляет собой процедура используется для проверки, что отдельные подразделения вычислительных моделей работают должным образом. (В данном контексте единица является наименьшим проверяемым часть вычислительной модели.)

По крайней мере, для математических моделей, основанных на дифференциальных уравнений, вычислительной модели неизбежно страдает от некоторого уровня численной ошибки (см. Нужен. 4.4.2 для некоторых примеров).

Уровни 3 и 4 требуют оценку размера численной ошибки. Некоторые примеры формальных методов оценки численной ошибки являются эвристические оценки погрешности усечения использованием разложения Тэйлора (в случае конечно-разностных аппроксимаций) и строгие оценки погрешности (в случае конечно-элементных приближений). Уровень 3 требуется демонстрируя, что оценивается численная ошибка приемлемо мала для единичных проблем. Уровень 4 требуется более комплексный демонстрацию, что численная ошибка приемлемо мала.

Для доказательств подфактору проверке, оценка уровня  $n$  ( $n > 2$ ) требует, чтобы все условия для уровней 1, ...,  $n-1$ , удовлетворяются в дополнение к условиям на уровне  $n$ , т.е., уровень 3 рейтинг требует, чтобы условия на уровнях 1 и 2 также будут удовлетворены.

#### В.3.1.2 Подфактор свидетельства валидации

Одобрение представляет собой процесс определения, в какой степени модель или имитация является точное представление о реальном мире с точки зрения предполагаемого использования модели или к симуляции. Это предполагает как достоверность результатов-величины численного разницы между средней результата модели и моделирования и среднего референтной данных-и связанной с ним неопределенности-распространением о средствах. Оба из них оцениваются в точке проверки, то есть, точки, в которых производится сравнение. Благоприятный Сравнение результатов модели и моделирования и данных референтных требуется как минимум, что некоторое совпадение между интервалами неопределенности вокруг средств.

Вспомогательный аспект проверки включает в себя чувствительность как референта и результатов модели и моделирования по отношению к изменениям от номинальных входных переменных и параметров. Хотя это, конечно, рекомендуется, что чувствительность результатов модели и моделирования будет похож на референта, экспериментальные данные о чувствительности редко имеются в наличии. Соответственно, этот аспект не оценивается по доказательной подфактору Валидация.

«Благоприятным Сравнение с реальной системой» фразу в уровне 4 включает обеспечение того, чтобы данные для реальной системы соответствует адекватно современному состоянию (в том числе любой старение или изменения) системы, т.е., последняя часть пункта (е) Диас действий # 4 (см. 7) должны быть удовлетворены.

Для подфактору свидетельства валидации, оценка уровня  $n$  ( $n > 2$ ), требует, чтобы все условия для уровней 1, ...,  $n-1$ , удовлетворяются в дополнение к условиям на уровне  $n$ , т.е., уровень 3 рейтинг требует что условия в уровнях 1 и 2 также будут удовлетворены.

#### В.3.2 Операции с моделью и моделированием Категория

В центре внимания этих трех факторов в категории операций с моделью и моделированием является оценка этих результатов модели и моделирования, которые поддерживают определенную критическую решение в вопросе. Каждый из этих факторов имеет подфактор технического обзора. Общий балл для каждого фактора является взвешенной суммой двух подфакторов в процессе сворачивания, определенной в разделе В.4. Определения уровня для подфакторов доказательной приведены в таблице 3.

**Таблица 3 — Определение уровней для данных подфакторов в категории операций с моделью и моделированием**

Уровень	Свидетельство происхождения входных данных	Свидетельство неопределенности результатов	Свидетельство надежности результатов
4	Входные данные сопоставимы с данными измерений реальной системы, или входные данные получены из модели и моделирования с общей оценкой достоверности, превышающей 3,5. Известна неопределенность, связанная с входными данными.	Оценка неопределенности является количественной и основана на недетерминированном и численном анализе.	Чувствительность результатов модели и моделирования для реальной системы количественно известна для большинства переменных и параметров, включая все наиболее чувствительные переменные и параметры.

<b>3</b>	Входные данные сопоставимы с приемлемыми измеренными референтными данными из интересующих задач, или входные данные получены из модели и моделирования с рейтингом резюме доверия выше 3,0. Известна неопределенность, связанная с входными данными.	Оценка неопределенности является количественной и основана на недетерминированном анализе.	Чувствительность результатов модели и моделирования для реальной системы количественно известна для многих переменных и параметров.
<b>2</b>	Входные данные отслеживаются до официальной документации, или входные данные получены из модели и моделирования с общей оценкой достоверности, превышающей 2,0.	Оценка неопределенности является количественной и основана на недетерминированном анализе или мнении экспертов.	Чувствительность результатов модели и моделирования для реальной системы количественно известна для нескольких переменных и параметров.
<b>1</b>	Входные данные отслеживаются до неофициальной документации, или входные данные получены из модели и моделирования с общей оценкой достоверности, превышающей 1,0.	Оценка неопределенности является качественной.	Чувствительность результатов модели и моделирования для реальной системы оценивается по аналогии с количественной чувствительностью аналогичных интересующих задач.
<b>0</b>	Недостаточно данных.	Недостаточно данных.	Недостаточно данных.

#### В.3.2.1 Подфактор происхождения входных данных

Происхождение входных данных предполагает оценку всех данных, которые используются в качестве входных данных для текущих результатов модели и моделирования. Оно включает в себя не только данные уникальные для этой модели, но и данных, которые полученные путем другого моделирования. В первом случае входные данные оцениваются непосредственно, в последнем случае входные данные оцениваются косвенно с помощью показателя (ей) оценки достоверности модели и моделирования, из которых получены данные. Следует отметить, что достижение уровней 3 и 4 требует, чтобы была известна неопределенность, связанная с входными данными.

Прямая оценка входных данных на уровнях 1 и 2 требует прослеживаемости документации входных данных. Неофициальная документация является лишь письменной документацией, которая не была независимо проанализирована. Официальная документация требует оценки третьей стороной, и должна быть либо документом NASA серии STI, либо программным/проектным документом.

Неопределенность результатов является количественной оценкой неопределенности в текущих результатах модели и моделирования. Два важных аспекта неопределенности являются (а) размер неопределенности, например, размер интервала неопределенности; и (б) уверенность в или качество оценки неопределенности, например, статистической достоверности заявления или основательностью, используемой в оценке. В зависимости от применения, только один из них или оба из них могут быть важны. Ответственная сторона выберет состоит ли критерии неопределенности из (а) только, (б) или по обоим (а) и (б). Неопределенность в результатах модели и моделирования зависит от неопределенности во входных переменных и параметрах, а также от численных ошибок.

На уровне 1 неопределенность описывается только качественно, т.е., в лингвистических терминах, как описано в разделе 4.8. На уровне 2 неопределенность описывается в числовых терминах, то есть, как представлены интервалы неопределенности по результатам модели и моделирования. Интервал неопределенности может быть основан на мнении эксперта предметной и / или по количественным неопределенности в наиболее соответствующей точки проверки. На уровне 3, в заявлении неопределенность численное и использует недетерминированном анализа (в том числе обычной вероятностного анализа, а также подходов, таких как интервального анализа, теории доказательств, нечеткой логики и теории возможностей); этот уровень может быть достигнут путем формального применения недетерминированном анализа с набором предмете экспертных заключений (см. Кук (1991)); на этом уровне, неопределенность, вероятно, будет указано без мерой доверия, связанный с интервалом неопределенности. На уровне 4, в заявлении неопределенность делает использование недетерминированном анализа, но будет также включать уровень доверия, связанный с интервалом неопределенности; то есть, некоторые численная оценка неопределенности в численном интервала неопределенности был сделан.

#### В.3.2.3 Результаты надежность Свидетельство подфактор

Результаты Надежность является определение, как основательно чувствительность текущих результатах модели и моделирования (к переменным и параметрам модели и моделирования), как известно. Цель рас-

смотрения надежность является собрать понимание чувствительности реальной системы к возможным изменениям в переменных и параметров системы. Таким образом, понимание того, насколько хорошо чувствительность модели и моделирования совпадает с реальным миром системы представляет особый интерес.

Моделирование стремимся подражать реальному миру или предлагаемый реальный мир через исполнения вычислительной модели. В идеале, подражали система ведет себя подобно реальной системы. То есть, если в реальном мире система чувствительна к определенным переменным или параметров, то результаты модели и моделирования должны быть чувствительны аналогично. Уровень соглашения между реальной системы и результатов модели и моделирования находится в пределах домена фактора валидации и не фактор надежности.

Что представляет собой «несколько», «много», и «большинство» в уровнях 2, 3 и 4 нельзя указать точно. В качестве ориентира, «несколько» должно означать, что чувствительность, скажем, менее 20 процентов потенциальных переменным и параметрам известна; «Многие» должно означать, что чувствительность, скажем, от 20 до 50 процентов известна; на уровне 4, «большинство» подразумевает большинство (то есть, > 50 процентов) всех параметров и переменных известна в том числе все наиболее чувствительных переменным и параметрам.

#### В.3.3 Подтверждающие доказательства Категория

В центре внимания этих трех факторов в подтверждающих доказательствах Категория является оценка трех элементов процесса модели и моделирования, которые могут косвенно повлиять на достоверность результатов модели и моделирования. Факторы, включенные в целях История, модели и моделирования Управление, и люди квалификация. Коэффициент использования История описывает степень предварительного использования модели и моделирования в подобных ситуациях для принятия критически важных решений. Коэффициент модели и моделирования с функцией управления оценивает уровень формальности, применяемой программы или проекта в надзоре за модели и моделирования. Люди Квалификация фактором оценивает подготовку и опыт разработчиков, операторов и аналитиков, проводящих деятельность модели и моделирования. Определения уровня для этих трех факторов приведены в таблице 4.

**Таблица 4 — Определение уровней для факторов в категории подтверждающих данных**

Уровень	История использования	Управление модели и моделирования	Квалификация людей
<b>4</b>	Фактический стандарт.	Непрерывное улучшение процесса: попытка модели и моделирования использует измерения процессов модели и моделирования, чтобы улучшить повторяемость результатов модели и моделирования.	Обладает прогрессивное техническое или ученую степень или большой опыт работы в модели и моделирования, имеет обширный опыт разработки и использования пересматриваются модели и моделирования, и нанял конкретных рекомендуется практики, связанных с текущим приложением.
<b>3</b>	После принятия решения в реальном мире события были точно представлены в результатах (например, подтверждено данными миссии).	Предсказуемый процесс: попытка модели и моделирования измеряет повторяемость результатов модели и моделирования, порожденных процессами модели и моделирования.	Обладает прогрессивное техническое или ученую степень или большой опыт работы, имеет общую подготовку модели и моделирования, имеет определенный опыт работы с пересматриваются модели и моделирования, и прошел подготовку по конкретным рекомендованной практики, имеющих отношение к текущему приложению.
<b>2</b>	Использовано ранее для выполнения анализа, на котором важные решения были сделаны.	Созданная процесса: попытка модели и моделирования установила документированный процесс для модели и моделирования разработке и осуществлении ее.	Обладает инженерное или ученую степень, получил формальное обучение в формулировке модели и моделирования и общего обучения в рекомендованной практики для модели и моделирования, и разработала продукты модели и моделирования.
<b>1</b>	Конкретные сценарии были созданы, чтобы проверить заявление или результаты сопоставимы с выходов от других аналогичных инструментов.	Управляемый процесс: роли и обязанности в модели и моделирования были определены.	Обладает инженерное или ученую степень, была введена к теме модели и моделирования, и подвергся воздействию общих рекомендуемых практик в модели и моделировании.
<b>0</b>	Недостаточно данных.	Недостаточно данных.	Недостаточно данных.

#### В.3.3.1 Фактор использования истории

Использование История оценивает, насколько интенсивно модели и моделирования в текущем приложении были использованы в тех же или аналогичных целях в прошлом. Это оценивает «Происхождение» модели и моделирования. Нетривиальные уровни колеблются от благоприятных сравнений с другой модели и моделирования (уровень 1) до модели и моделирования, которые были использованы ранее для критических решений с подтверждением после полета и ставших де-факто стандарты (уровень 4).

Для фактора Использование истории, уровень 3 рейтинг требует, чтобы условия на уровне 2 также будут удовлетворены. Для того чтобы претендовать на уровне 4 не только должны условия на уровне 2 и уровне 3 довольны, но и модели и моделирования должны быть широко использованы для конкретного применения.

#### В.3.3.2 Фактор Управлени моделью и моделированием

Термин модели и моделирования с функцией управления используется для описания степени, в которой попытка модели и моделирования обладает свойствами управления работы продукта; Определение процесса; Измерение процесс; управления процессом; изменение процесса; постоянное совершенствование, в том числе СМ; и поддержка и обслуживание модели и моделирования. Уровни аналогичны тем, которые в большинстве моделей зрелости процесса. Этот фактор оценивает, насколько строго пункт (е) Диас действий # 4 (см. 7) адресован. Оценки на уровне 1 и выше требуют доказательств адресации каждой из тем в пункте (е) Диас действий # 4.

Для фактора управления модели и моделирования, оценка уровня  $n$  ( $n > 2$ ), требует, чтобы все условия для уровней 1, ...,  $n-1$ , удовлетворяются в дополнение к условиям на уровне  $n$ , т.е., уровень 3 рейтинг требует что условия в уровнях 1 и 2 также будут удовлетворены.

#### В.3.3.3 Люди Квалификация фактор

Люди Квалификация относится к квалификации персонала в использовании и / или интерпретировать результаты модели и моделирования. Квалификация персонала оцениваются с точки зрения общего образования, общего опыта, специальной подготовки для субъекта модели и моделирования, и конкретного опыта с предметом модели и моделирования. Образование и опыт включают рекомендуемой практики в целом и для субъекта модели и моделирования.

Если нет рекомендуемой практики не были определены (см. Треб. 4.5.1.), То условия, относящиеся к рекомендуемой практики в определениях уровня не применяются; т.е., они не имеют никакого влияния на уже или нет было достигнуто частности уровень. Прилагательное «обширный» в определении термина уровне 4 означает, что человек (или руководитель команды) имеет достаточный опыт наставника новичков на тему модели и моделирования без дополнительной технической надзор, и для уровня 3 это означает, что человек (или руководитель команды) имеет достаточный опыт, чтобы наставник новичков на тему дисциплины (не обязательно модели и моделирования) без дальнейшего технического надзора. Термин «формальное обучение» означает обучение под руководством инструктора классе, по крайней мере в глубине семестрового университетского курса в старших курсов или выпускников уровне.

#### В.3.4 Подфакторы технического обзора

Пять из восьми факторов имеют технический обзор подфактор, который оценивает уровень обзора, которая была успешно завершена отношение к этому фактору. Под «экспертной оценки» мы имеем в виду оценку, проводимую путем отзывы одного или нескольких лиц, имеющих одинаковую техническую репутацией, лица (лиц), ответственного за работу. «Неформальная рецензирование» является тот, который не проведенных ею в соответствии с процессом, установленном рецензируются и рассмотрения организации, в то время как «формального рецензирования» это тот, который санкционирован программы/проекта и проводится в соответствии с правилами явно установленных отзывы или пересмотре организации. Экспертные оценки, классифицируются как «внутренний» или «внешний» в зависимости от того или нет члены группы тянутся в первую очередь изнутри ведущего центра проекта.

Это подфактор появляется в каждой из следующих факторов: верификации и валидации, Входных данных происхождение, Результаты неопределенности, и результаты надежности. Причина этого повторения, что многочисленные отзывы, как правило, составляли на протяжении всей жизни программы или проекта, с каждым обзор, посвященный конкретным темам. Это не было бы необычным для различных экспертов по конкретным вопросам, участвует в различных обзоров, в зависимости от их наличия в определенное время и их конкретных областях знаний. Точно так же, те же самые люди могут служить в качестве рецензентов в различных мощностей на протяжении всей жизни программы или проекта, опять же в зависимости от их доступности и экспертизы.

Определения уровня для всех технического рассмотрения подфакторов предоставляются в таблице 5. Это то же самое на уровне 0 до 3 на уровне 4, курсивом фраза должна быть заменена на соответствующее название фактора. Например, уровень 4 для проверки технического рассмотрения читает «благоприятный отзыв внешнего партнера в сопровождении независимой проверки». В целом, на уровне 4, обзор будет также включать независимую воспроизводство соответствующих выводов со стороны внешних рецензентов или их агентами.

**Таблица 5 — Определение уровней для технического обзора подфакторов**

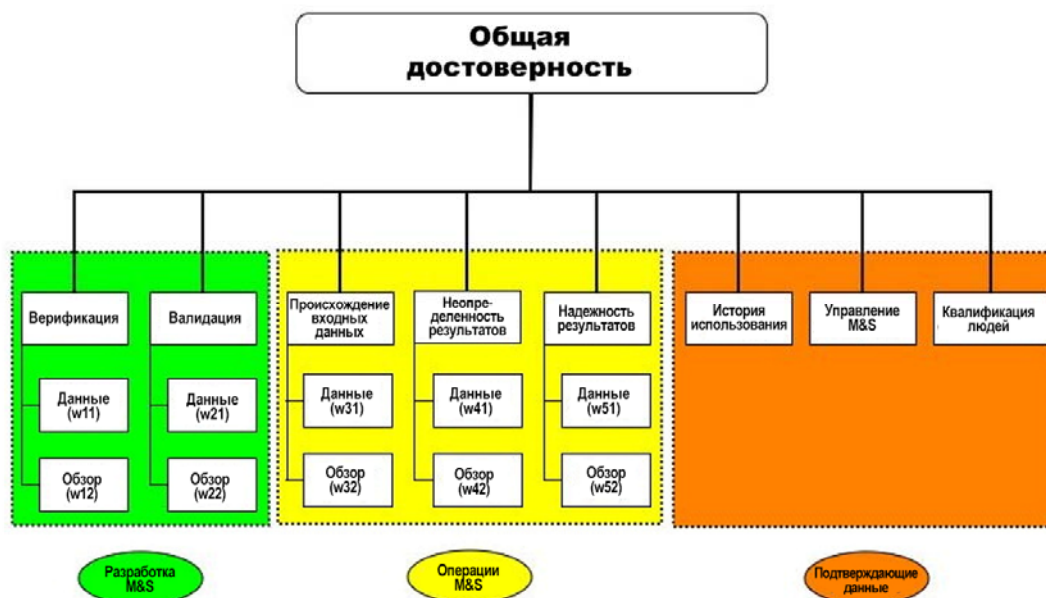
Уровень	Технический обзор
<b>4</b>	Благоприятная внешняя экспертная проверка, сопровождаемая независимой <i>оценкой факторов</i> .
<b>3</b>	Благоприятная внешняя экспертная проверка.
<b>2</b>	Благоприятная официальная внутренняя экспертная проверка.
<b>1</b>	Благоприятная неофициальная внутренняя проверка.
<b>0</b>	Недостаточно данных.

Хотя для описания различных уровней в рамках подфактора технической оценки используется один тот же язык, предполагается, что обзоры для каждого фактора сосредоточены исключительно на материале, относящемся к данному фактору. Это не означает, однако, что обзоры по темам нескольких факторов не может рассматриваться в том же заседании группой авторов.

## В.4 Процессы формирования сводки оценки достоверности

### В.4.1 Предписание значений веса для подфакторов

Основное внимание в CAS уделяется баллам восьми факторов; и далее внимание уделяется общему счету, который является минимумом баллов по восьми факторам. Пять факторов категорий разработки модели и моделирования и операций модели и моделирования средневзвешенные соответствующего доказывания и технический обзор подфакторов. Тем не менее, основной упор делается на оценки на фактором яруса; подфактор технический обзор просто служит для настройки доказательную подфактор по результатам внутренних и внешних оценок. Необязательный отчет в категории яруса рассмотрены в конце этого пункта.



**Рис. 3 — Значения веса подфакторов**

На рисунке 3 изображены 10 значений веса, которые необходимы для сводки подфакторов для фактора яруса. Ограничения на этих весах следующим образом:

- Каждый вес лежит в отрезке  $[0,1]$ .
- Сумма каждой пары подфакторов, например,  $W_{11}$  и  $W_{12}$ , равна 1.
- Вес подфактора для технического обзора далее ограничивается до значения не более 0,3.

Достигнутый результат на самом низком уровне (коэффициент или подфактор) основана на объективной оценке документальные доказательства против определения уровня. В категориях модели и моделирования развития и модели и моделирования операций, достигается оценка фактором является Свидетельство забить раз вес Свидетельство плюс балл отзыв раз вес отзыв. Ограничение с ограничивает сумму, на которую технической оценки может увеличить или уменьшить счет фактором по отношению к партитуре Свидетельство подфактор. В самом крайнем случае, с оценкой Свидетельство от 0-технического счетом рассмотрению 4,0, оценка фактором является 1.2.

Выбор весовых коэффициентов является субъективным обязательно. Как указано в Ур. 4.1.3, ответственная сторона обозначена управления программами и проектами будет выбрать различные веса, подлежащих утверждению программы / управления проектами и технического органа (см. раздел 4.1).

Подъемные баллов фактором 8 в общий счет осуществляется путем снятия минимум баллов фактором 8.

### В.4.2 Примеры сводки

Иллюстрация сводки от подфактор к фактору приводится в таблице 6. В этом случае основной балл подфактора 3 слегка повышен до 3,3 вследствие жесткого технического обзора.



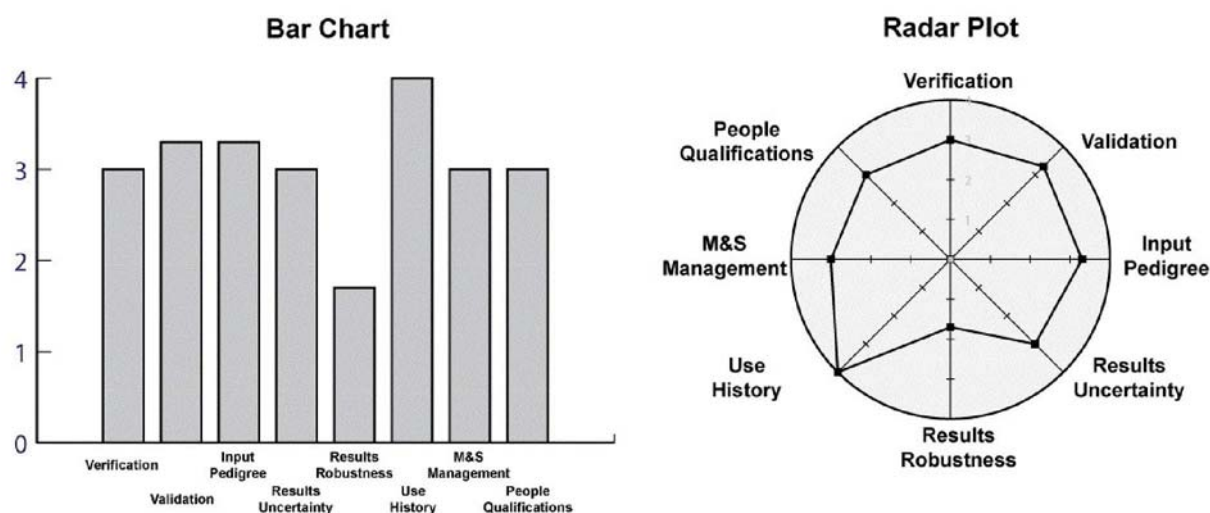
**Таблица 6 — Сводка баллов подфактора в соотношении с фактором**

Подфактор	Вес подфактора	Оценочный балл	Балл по весу	Балл фактора
Данные валидации	0,7	3	2,1	3,3
Технический обзор валидации	0,3	4	1,2	

Пример сводки от фактора уровня в соотношении с общим баллом приведен в таблице 7. Общая оценка представляет собой минимум баллов фактора. Баллы сообщаются только для двух значимых чисел, так как перенос более чем одного числа после десятичной запятой означает ложное ощущение точности.

Фактор	Балл фактора	Общий балл
Верификация	3	1,7
Валидация	3,3	
Происхождение входных данных	3,3	
Неопределенность результатов	3	
Надежность результатов	1,7	
История использования	4	
Управление моделью и моделированием	3	
Квалификация людей	3	

По требованиям 4.7.1, 4.7.3, и 4.8.3, отчетность по результатам МОДЕЛИ И МОДЕЛИРОВАНИЯ будет сопровождаться отчетами по баллам восьми факторов и одного, общего балла. Возможные форматы отчетности для оценки фактора — гистограммы и радарные графики, как показано на рисунке 4.



**Рис. 4 — Гистограмма и радарный график для баллов фактора**

Отчетность из десятков в категории уровня является обязательным. Если это происходит, то это выполняется, принимая минимум всех баллов фактором в категории. См. таблицу 8 с иллюстрацией сводки к категории операций с моделями и моделированием, соответствующие баллам фактора в примере в таблице 7.

**Таблица 8 — Сводка баллов фактора к категории баллов**

Фактор	Балл фактора	Балл категории
Происхождение входных данных	3,3	1,7
Неопределенность результатов	3	
Надежность результатов	1,7	

## В.5 Сравнение с пороговыми значениями достаточности

### В.5.1 Введение

В разделах В.2 и В.3 представлены и описаны CAS — общий уровень, уровень категории, фактора и подфактора, наряду с соответствующими определениями уровня самого низкого уровня, с которым сопоставлены результаты модели и моделирования. В разделе В.4 представлена методика сведения начисленных баллов от

одного уровня к следующему уровню выше. В данном разделе представлены и описаны достаточности или достаточности пороговые значения (так называемые «достаточно хорошей» столбцы), назначенные ответственной стороной, против которой начисленные баллы по сравнению по назначению. Порог концепция больше усилились с помощью соответствующих «дефицит / превышения флаги», чтобы обеспечить основные моменты управления на уровне любой нехватки средств / превышения, по сравнению с пороговыми значениями, предметом измерения фактора доверия модели и моделирования. Эта инфраструктура обеспечивает простые «показателей на панели» для модели и моделирования результатов доверия для топ-менеджмента, еще полного отслеживания до оценок ниже уровня доверие, необходимых для оказания технической обратной связи с разработчиками и пользователями.

#### В.5.2 Определение достаточности для каждого фактора

Ответственная сторона устанавливает желаемые пороги для каждого из факторов в CAS. Это делается с учетом того, что является «достаточно хорошим» для этого фактора по назначению. Пороговые значения должны быть целыми числами от 0 до 4 включительно. Кроме того, пороговые уровни должны (а) изменение в течение всего жизненного цикла проекта, поддерживаемого модели и моделирования, и (б) зависит от тяжести риска, связанного с решением.

Сравнение порогового фактора уровня, установленного ответственной стороной и оценочной счетом используется для определения адекватности применения модели и моделирования для каждого фактора доверия. Если оценочная оценка коэффициента равна порогу, условие удовлетворяется фактора; и флаг дефицит / превышение зеленого цвета, это означает, что модели и моделирования достиг достаточного уровня доверия. Если счет более одной половины единицы ( $> 0,5$ ) ниже порогового значения, флаг дефицит будет установлен, это указывает, что доверие не является адекватным для фактора для применения модели и моделирования. Дефицит разрыв больше, чем на половину единицы ( $> 0,5$ ), но меньше или равна одной единице ( $< 1,0$ ) будет генерировать желтый флаг. Разрыв дефицит больше, чем одна единица ( $> 1,0$ ) по шкале будет генерировать красный флаг (рисунок 5). Если счет превышает порог, синий флаг превышения будет установлен, это указывает, что доверие является более чем достаточным для фактора для применения модели и моделирования (рисунок 6). Эти флаги используются, чтобы показать дефицита / условия превышения всю дорогу к 1-й уровень, общего балла. Изображение из этих флагов на уровне фактора приводится на рисунке 7.

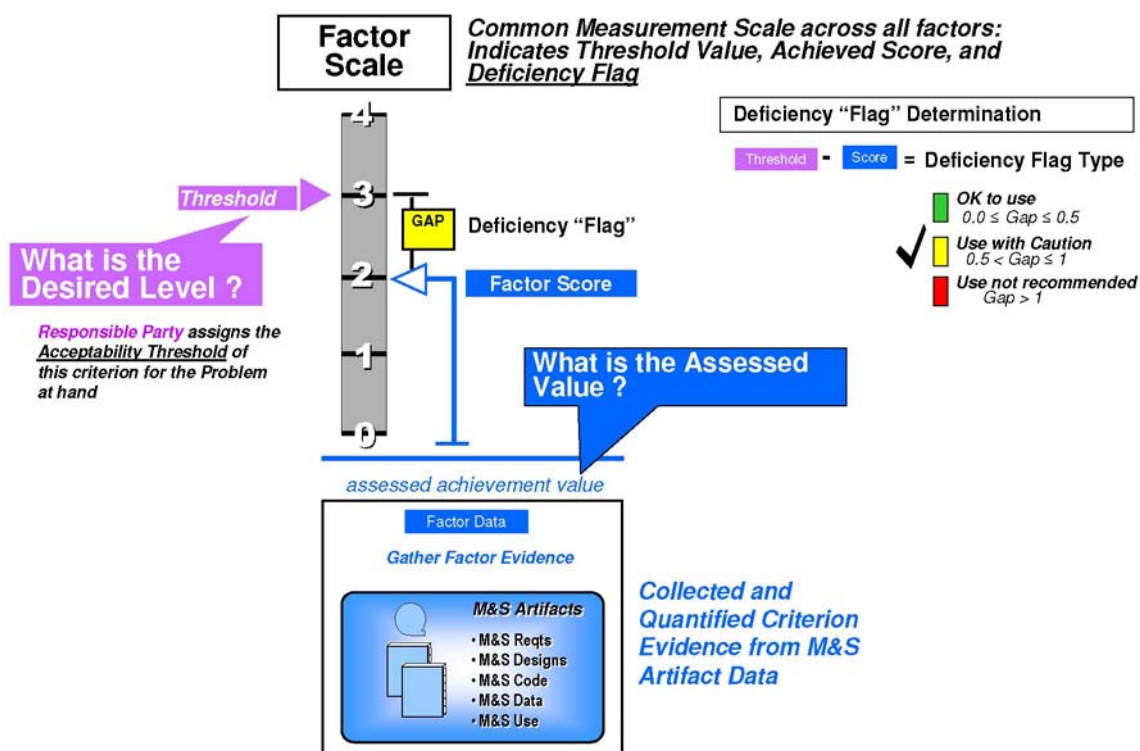


Рис. 5 — Изображение флага недостаточности

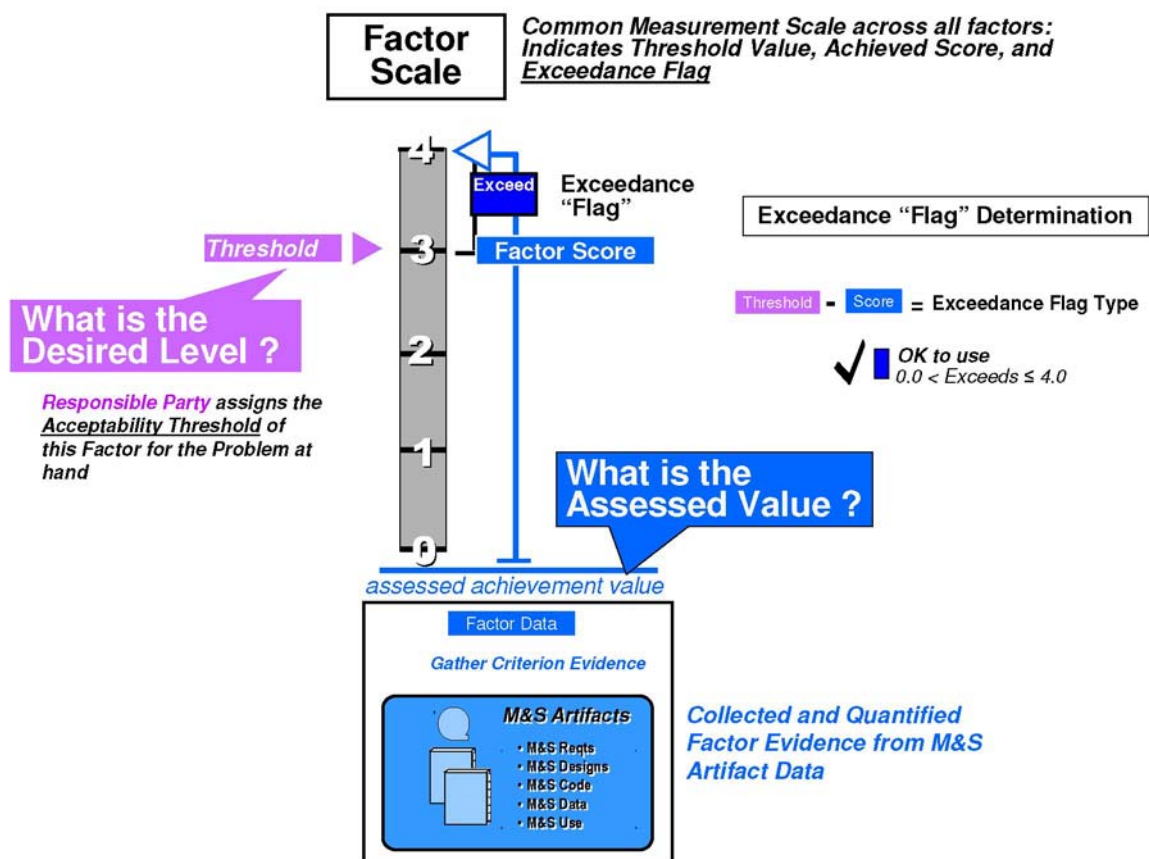


Рис. 6 — Изображение флага превышения

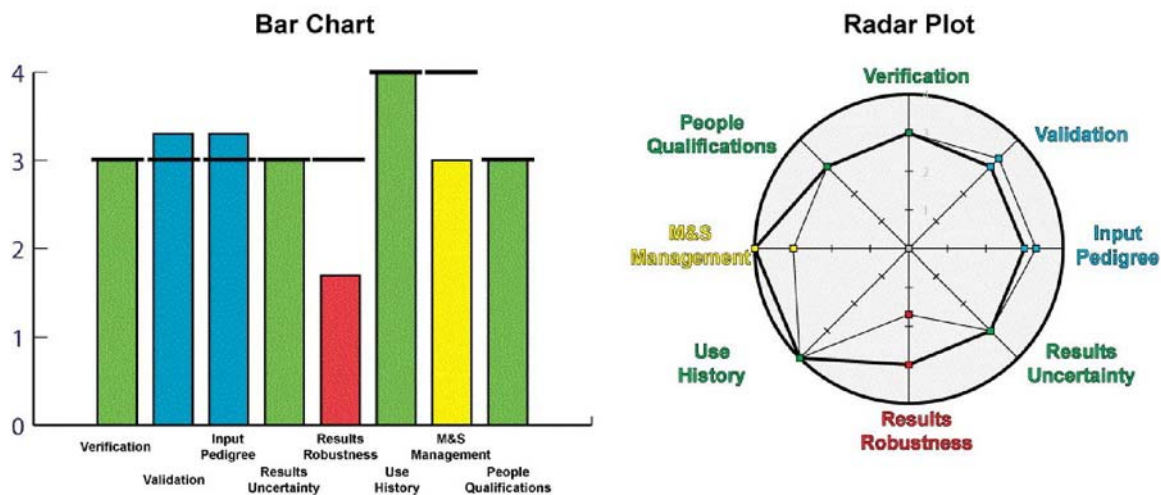


Рис. 7 — Пороговые значения достаточности и цветовое кодирование на гистограмме и радарном графике для баллов фактора

## ПРИЛОЖЕНИЕ С. МАТРИЦА СООТВЕТСТВИЯ

Матрица ниже предоставляет шаблон для оценки соответствия требованиям настоящего стандарта. В первом столбце перечислены требования. Ключ для второй колонки С-совместимый, NC-не соответствует, NA-не применяется. Третий и четвертый столбцы можно использовать для записи метод проверки соблюдения и доказательства соответствия, соответственно.

Требования	Статус соответствия (С, NC, N/A)	Метод	Данные
Треб. 4.1.1 — Необходимо документировать оценку риска для любой модели и моделирования, используемых в критических решениях.			
Треб. 4.1.2 — Необходимо определить и документировать те модели и моделирование, которые входят в область применения.			
Треб. 4.1.3 — Необходимо определить цели и требования к продуктам модели и моделирования включая следующие: а. Критерии приемлемости для продуктов модели и моделирования, включая одобрить единения для модели и моделирования. б. Основание для значений веса, используемых для подфакторов в шкале оценки достоверности (Приложение В.4). в. Предполагаемое использование. г. Метрики (программные и технические). д. Вычисление верификации и валидации и неопределенности (см. раздел 4.4). е. Отчетность модели и моделирования информация для важных решений (см. раздел 4.8). ж. СМ (артефакты, сроки, процессы) из модели и моделирования.			
Треб. 4.1.4 — Необходимо разработать план (в том числе определение ответственной организации (организаций)) для приобретения, разработки, эксплуатации, технического обслуживания и/или завершения модели и моделирования.			
Треб. 4.1.5 — Необходимо документировать любые технические обзоры, выполняемые в областях верификации и валидации, происхождения входных данных, Результаты Неопределенность и Результаты надежности (см. Приложение В).			
Треб. 4.1.6 — Необходимо документировать процессы отказа модели и моделирования.			
Треб. 4.1.7 — Необходимо документировать степень, в которой попытки модели и моделирования демонстрируют характеристики управления рабочего продукта, определение процесса, измерения процессов, управления технологическими процессами, изменением процесса, и постоянного совершенствования, в том числе СМ и поддержки модели и моделирования и обслуживания.			
Треб. 4.2.1 — Необходимо документировать предположения и абстракции, лежащие в основе концептуальной модели, в том числе их обоснования.			
Треб. 4.2.2 — Необходимо документировать основную структуру и математическую основу модели (например, моделируемую реальность, решаемые уравнения, моделируемое поведение, концептуальные модели).			
Треб. 4.2.3 — Необходимо документировать наборов данных и любую вспомогательную программное обеспечение используемой в разработке модели и подготовки входных данных.			
Треб. 4.2.4 — Необходимо документировать необходимые узлы и систем координат векторов (где применимо) для всех входных/выходных переменных в модели и моделировании.			
Треб. 4.2.5 — Необходимо документировать пределы эксплуатации моделей.			
Треб. 4.2.6 — Необходимо документировать любые методы неопределенности количественного и неопределенность в любых данных, используемых для разработки модели или включенных в модель.			
Треб. 4.2.7 — Необходимо документировать руководство по правильному использованию модели.			

Требования	Статус соответствия (С, НС, N/A)	Метод	Данные
Треб. 4.2.8 — Необходимо документировать любые калибровки параметров и область калибровки.			
Треб. 4.2.9 — Необходимо документировать изменения в документе моделей (например, регулировка решение, изменение параметров, калибровка и тестов) и назначить уникальный идентификатор версии, описание и обоснование обновлений.			
Треб. 4.2.10 — Необходимо документировать критерии устаревания и даты устаревания модели.			
Треб. 4.2.11 — Необходимо обеспечить механизм обратной связи для пользователей сообщать о необычных результатов моделирования разработчиков или сопровождающих.			
Треб. 4.2.12 — Необходимо поддерживать (концептуальные, математические, вычислительной) моделей и соответствующую документацию в контролируемой системе УК.			
Треб. 4.2.13 — Необходимо поддерживать наборы данных и вспомогательного программного обеспечения, на который ссылается Треб. 4.2.3 и сопутствующая документация в контролируемой системе СМ.			
Треб. 4.3.1 — Необходимо выполнять одно из следующих действий: а. Обеспечить, что моделирование проводится в рамках работы моделей, или б. Плакат моделирования и результаты анализа с предупреждением, что моделирование может быть, проведенного за пределами работы и включает тип ограничения, который, возможно, был превышен, в какой мере можно было бы превышено ограничение, и оценка последствий приводит это действие на модели и моделирования			
Треб. 4.3.2 - Необходимо документировать и объяснить любые наблюдаемые предупреждения и сообщения об ошибках в результате исполнения вычислительной модели.			
Треб. 4.3.3 - Необходимо документировать какие вычислительные модели были использованы (в том числе номерами ревизий) при моделировании.			
Треб. 4.3.4 Необходимо документировать версии результатов модели и моделирования.			
Треб. 4.3.5 - Необходимо документировать данные, используемые в качестве входных данных к моделированию, в том числе их происхождению (см. Приложение В).			
Треб. 4.3.6 — Необходимо документировать любые уникальные вычислительные требования (например, программное обеспечение, оперативная память, диск мощностей, процессор, параметры компиляции).			
Треб. 4.3.7 — Необходимо документировать процессы для проведения моделирования и анализа для разработки результатов в отчетности лицам, принимающим решения.			
Треб. 4.3.8 — Необходимо документировать историю использования модели и моделирования, в таких же или аналогичных приложений, которые являются актуальными для установления доверия к текущему приложению модели и моделирования (см. Приложение В).			
Треб. 4.3.9 — Необходимо документировать оценку в отношении уместности моделирования и анализа по отношению к его назначению.			
Треб. 4.3.10 — Необходимо документировать обоснование для установки и исполнения моделирования и анализа.			
Треб. 4.4.1 — Необходимо документировать методы проверки, используемые и любой домен проверки (например, условия, при которых была проведена проверка).			
Треб. 4.4.2 — Необходимо документировать численные оценки погрешности (например, численные приближения, недостаточную дискретизацию, недостаточную итерацию, конечно-арифметическую точность) для результатов расчетной модели.			

Требования	Статус соответствия (С, НС, N/A)	Метод	Данные
Треб. 4.4.3 — Необходимо документировать информацию о состоянии проверки (концептуальные, математические, и вычислительных) моделей.			
Треб. 4.4.4 — Необходимо документировать любые методы, используемые для проверки модели и моделирования для использования по назначению, в том числе опытно-конструкторских и анализа, и области проверки.			
Треб. 4.4.5 — Необходимо документировать метрики проверки, референты и наборы данных, используемые для проверки моделей.			
Треб. 4.4.6 — Необходимо документировать проведенные исследования и результаты валидации модели.			
Треб. 4.4.7 — Необходимо документировать все процессы неопределенности количественного используемые для а. Справочных данных. б. Входных данных. в. Результаты модели и моделирования. г. Распространения неопределенностей. д. Величин, полученных из результатов модели и моделирования.			
Треб. 4.4.8 — Необходимо документировать количественные неопределенности, как физические, так и численные, для а. Справочных данных. б. Входных данных. в. Результаты модели и моделирования. г. Распространения неопределенностей. д. Величин, полученных из результатов модели и моделирования.			
Треб. 4.4.9 — Необходимо документировать степень и результаты любого анализа чувствительности осуществляется с модели и моделирования.			
Треб. 4.5.1 — Необходимо определить и документировать любые Рекомендуемые практики, применимые к модели и моделированию для программы/проекта.			
Треб. 4.6.1 — Необходимо определить степень необходимого обучения для разработчиков, операторов и аналитиков.			
Треб. 4.6.2 — Необходимо документировать следующее: а. Темы обучения, необходимые для разработчиков, операторов, и аналитиков модели и моделирования. б. Процесс и критерии для верификации того, что требования к обучению будут выполнены.			
Треб. 4.6.3 — Необходимо определить квалификации разработчиков, операторов и аналитиков.			
Треб. 4.7.1 — Необходимо оценить достоверность результатов модели и моделирования для каждого из восьми факторов в CAS, описанной в Приложениях В.2 и В.3.			
Треб. 4.7.2 — Необходимо обосновать и документально подтвердить оценку достоверности для каждого из восьми факторов, упомянутых в Треб. 4.7.1.			
Треб. 4.7.3 — Необходимо выполнить отчет по общей оценке в соответствии с методом, описанным в Приложении В.4.			
Треб. 4.8.1 — Доклады, принимающих решения должны включать четкие предупреждения о любой из следующих случаев, в сопровождении по крайней мере качественной оценки влияния возникновения: Нереализованные критерии приемки (как указано в Треб. 4.1.3 (а)). Нарушение любых условиях любой модели (как указано в Треб. 4.2.1). Нарушение пределов эксплуатации (как указано в Треб. 4.2.5). Предупреждение о выполнении и сообщения об ошибках (см. Треб. 4.3.2). Неблагоприятные исходы от предполагаемого использования и оценки установки / выполнения (описано в Треб. 4.3.9 и Треб. 4.3.10). Отказы по какому-либо из требований настоящего стандарта.			

Требования	Статус соответствия (С, НС, N/A)	Метод	Данные
<p>Треб. 4.8.2 — Доклады, принимающих решения, результаты модели и моделирования должны включать оценку их неопределенности и описание любых процессов, используемых для получения этой оценки, как это определено в Треб. 4.4.7 и Треб. 4.4.8</p> <p>а. Существующие оценки неопределенности должны включать один из следующих:</p> <p>(1) Количественная оценка неопределенности в результатах модели и моделирования или</p> <p>(2) Качественная оценка неопределенности в результатах модели и моделирования или</p> <p>(3) Четкое представление, что ни количественная или качественная оценки неопределенности не доступны.</p>			
<p>Треб. 4.8.3 — Доклады в адрес лиц, принимающих решения, должны включать уровень достоверности результатов модели и моделирования и значения веса подфакторов с использованием процесса, указанного в разделе 4.7.</p>			