

---

---

**Космическое окружение Земли  
(естественное и искусственное).  
Верхние слои атмосферы Земли**

*Space environment (natural and artificial) – Earth upper atmosphere*

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 14222:2013

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5fc4334c-d396-4524-99af-ec1d9eb487cf/iso-14222-2013>

Ответственность за подготовку русской версии несёт GOST R  
(Российская Федерация) в соответствии со статьёй 18.1 Устава ISO



Ссылочный номер  
ISO 14222:2013(R)

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 14222:2013

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5fc4334c-d396-4524-99af-ec1d9eb487cf/iso-14222-2013>



**ДОКУМЕНТ ЗАЩИЩЕН АВТОРСКИМ ПРАВОМ**

© ISO 2013

Все права сохраняются. Если не задано иначе, никакую часть настоящей публикации нельзя копировать или использовать в какой-либо форме или каким-либо электронным или механическим способом, включая фотокопии и микрофильмы, без предварительного письменного согласия офиса ISO по адресу, указанному ниже, или членом ISO в стране регистрации пребывания.

ISO copyright office  
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20  
Tel. + 41 22 749 01 11  
Fax + 41 22 749 09 47  
E-mail [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web [www.iso.org](http://www.iso.org)

Опубликовано в Швейцарии

**Содержание**

Страница

<b>Предисловие</b> .....	<b>iv</b>
<b>Введение</b> .....	<b>v</b>
<b>1 Область применения</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Термины и определения</b> .....	<b>1</b>
<b>3 Символы и сокращения</b> .....	<b>3</b>
<b>4 Общая концепция и предположения</b> .....	<b>4</b>
4.1 Использование модели земной атмосферы.....	4
4.2 Использование модели ветра Земли.....	5
4.3 Надежность стандарта .....	6
<b>Приложение А (информативное) Структура земной атмосферы</b> .....	<b>7</b>
<b>Приложение В (информативное) Природное электромагнитное излучение и индексы</b> .....	<b>29</b>
<b>Библиография</b> .....	<b>42</b>

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 14222:2013

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5fc4334c-d396-4524-99af-ec1d9eb487cf/iso-14222-2013>

## Предисловие

Международная организация по стандартизации (ISO) является всемирной федерацией национальных организаций по стандартизации (комитетов-членов ISO). Разработка международных стандартов обычно осуществляется техническими комитетами ISO. Каждый комитет-член, заинтересованный в деятельности, для которой был создан технический комитет, имеет право быть представленным в этом комитете. Международные правительственные и неправительственные организации, имеющие связи с ISO, также принимают участие в работах. ISO работает в тесном сотрудничестве с Международной электротехнической комиссией (IEC) по всем вопросам стандартизации в области электротехники.

Процедуры разработки документа и дальнейшего ведения его установлены в Директивах ISO/IEC, Часть 1. В частности, следует отметить необходимость других критериев одобрения для различных типов документов ISO. Данный документ разработан в соответствии с правилами, установленными в Директивах ISO/IEC, Часть 2. [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives).

Следует иметь в виду, что некоторые элементы данного документа могут быть объектом патентных прав. Организация ISO не должна нести ответственность за идентификацию какого-либо одного или всех патентных прав. Детали объекта патентных прав размещаются в разделе Введение и/или на сайте ISO в разделе Патентных прав. [www.iso.org/patents](http://www.iso.org/patents)

Любое торговое имя используемое в этом документе является информацией предоставляемой для удобства пользователей и не является передаточной надписью.

Данный документ разработан Техническим комитетом ISO/TC 20 *Авиационные и космические аппараты*, Подкомитетом SC 14, *Космические системы и их эксплуатация*.

(standards.iteh.ai)

[ISO 14222:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5fc4334c-d396-4524-99af-ec1d9eb487cf/iso-14222-2013)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5fc4334c-d396-4524-99af-ec1d9eb487cf/iso-14222-2013>

## Введение

Данный международный стандарт предоставляет руководящие принципы для определения свойств верхней атмосферы Земли (более 120 км). Хорошее знание температуры, суммарной плотности, концентраций газовых составляющих, и давления является важным для осуществления многих космических миссий на низкой околоземной орбите (НОО) примерно ниже 2 500 км высоты. Действие аэродинамических сил на космический корабль, обусловленное орбитальным движением спутника через разреженный газ, который сам по себе может обладать переменной высокой скоростью ветра, имеют важное значение для планирования времени жизни спутника, поддержания орбиты, маневров для избежания столкновений и мониторинга мусора, и определяют необходимый размер двигательной системы, дизайн системы ориентации, и оценку пиковых ускорений и крутящих моментов, влияющих на чувствительные нагрузки спутника. Эффекты коррозии поверхности из-за воздействия больших потоков атомарного кислорода оцениваются для прогнозирования деградации широкого спектра покрытий космических аппаратов и инструментов. Реакции атомарного кислорода вокруг аппарата могут также привести к интенсивному “сиянию космического аппарата”.

Структура верхней атмосферы Земли, принятые эмпирические модели, которые могут конкретизировать детали атмосфера, и детали этих моделей (Приложение А) включены в настоящий международный стандарт. Приложение В содержит детальное описание нейтрального электромагнитного излучения и индексы.

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

[ISO 14222:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5fc4334c-d396-4524-99af-ec1d9eb487cf/iso-14222-2013)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5fc4334c-d396-4524-99af-ec1d9eb487cf/iso-14222-2013>



# Космическое окружение Земли (естественное и искусственное). Верхние слои атмосферы Земли

## 1 Область применения

Этот международный стандарт определяет структуру атмосферы Земли выше 120 км, предоставляет принятые эмпирические модели, которые могут указать реквизиты атмосферы, и использует приложения, чтобы описать детали этих моделей. Его целью является создание стандартного метода для определения свойств земной атмосферы (плотности и др.) в режиме низкой околоземной орбиты для космических систем и использования материалов.

## 2 Термины и определения

В этом документе используются следующие термины и определения.

### 2.1

**гомосфера**  
**homosphere**

район атмосферы, в котором составляющие хорошо перемешаны, т.е. концентрация составляющих его газов не зависит от высоты и местоположения

ПРИМЕЧАНИЕ 1 к статье: Этот район простирается от 0 км до 100 км и содержит определяемый температурой район тропосферы от поверхности Земли до высоты ~8 – 15 км, стратосферу (от ~10 – 12 км до 50 км по высоте), мезосферу (от 50 км до 90 км по высоте), и нижнюю часть термосферы.

### 2.2

**гетеросфера**  
**heterosphere**

часть атмосферы выше 125 км, где уже доминирует диффузионное разделение компонентов и состав атмосферы зависит от высоты

### 2.3

**термосфера**  
**thermosphere**

область атмосферы между температурным минимумом и мезопаузой (около 90 км) и высотой, где вертикальная шкала высоты примерно равна длине свободного пробега (400 км – 600 км), в зависимости от уровней солнечной и геомагнитной активности

### 2.4

**экзосфера**  
**exosphere**

область атмосферы, которая простирается от верха термосферы до внешних слоев

### 2.5

**NRLMSISE-00**

**модель Naval Research Laboratory Mass Spectrometer, Incoherent Scatter Radar Extended Model**  
**Naval Research Laboratory Mass Spectrometer, Incoherent Scatter Radar Extended Model**

модель, которая описывает нейтральную температуру и плотность составляющих газов в атмосфере Земли

ПРИМЕЧАНИЕ 1 к статье: Она основана на очень большой базе данных от спутников, ракет и радаров, за большой период времени и по большому пространству. Модель была тщательно протестирована на соответствие экспериментальным данным международным научным сообществом. Модель имеет гибкую математическую формулировку.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 к статье: Модель работает от уровня земли до экзосферы. Два индекса используются в этой модели:  $F_{10.7}$  (дневной солнечный поток предыдущего дня и среднее значение потока за 81 день) и  $A_p$  (геомагнитная дневная норма).

ПРИМЕЧАНИЕ 3 к статье: См. ссылку <sup>[1]</sup>.

**2.6**  
**модель Jacchia-Bowman 2008**  
**JB2008**  
**Jacchia-Bowman 2008 Model**  
модель, которая описывает нейтральную температуру и полную плотность составляющих газов в термосфере Земли и экзосфере

ПРИМЕЧАНИЕ 1 к статье: Ее новые особенности способствуют более точному модельному представлению средней суммарной плотности по сравнению с предыдущими моделями, включая NRLMSISE-00.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 к статье: Она работает по высоте от 120 км до 2 500 км в экзосфере. В этой модели используются четыре солнечных индекса и два индекса геомагнитной активности:  $F_{10.7}$  (табличное значение активности за предыдущий день и среднее за 81 день с центром в день запроса);  $S_{10.7}$  (табличное значение активности за предыдущий день и среднее за 81 день с центром в день запроса);  $M_{10.7}$  (табличное значение активности пятью днями раньше и среднее за 81 день с центром в день запроса);  $Y_{10.7}$  (табличное значение активности пятью днями раньше и среднее за 81 день с центром в день запроса);  $a_p$  (табличное значение за 3 часа); и Dst (преобразованное от табличного значения изменения температуры  $dT_c$  на момент запроса).

ПРИМЕЧАНИЕ 3 к статье: См. Ссылку <sup>[2]</sup>.

**2.7**  
**модель горизонтального ветра**  
**HWM07**  
**Horizontal Wind Model**  
глобальная эмпирическая модель горизонтальных ветров в мезосфере и термосфере (средней и верхней атмосфере).

ПРИМЕЧАНИЕ 1 к статье: Референсное значение индекса  $a_p$ , необходимое для работы модели ветра дано в Приложении A.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 к статье: HWM07 не содержит в себе зависимости от солнечного ультрафиолетового (EUV) излучения. Циклы солнечной активности мало влияют на ветры в термосфере в течение дня, но могут превышать 20 м/с в течение ночи.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 к статье: В модели HWM07 надо внимательно относиться к трактовке термосферных ветров на высоких геомагнитных широтах в течение тихих периодов геомагнитной активности.

ПРИМЕЧАНИЕ 4 к статье: См. ссылку <sup>[3]</sup>.

**2.8**  
**глобальная референсная модель атмосферы Земли**  
**Earth GRAM 2010**  
глобальная референсная модель атмосферы Земли (последняя версия GRAM 2010) создана по поручению NASA, она описывает земную атмосферу на уровне поверхности для операционных целей

ПРИМЕЧАНИЕ 1 к статье: GRAM 2010 представляет собой глобальную референсную модель земной атмосферы, основанную на комбинации эмпирических моделей, которые работают на разных уровнях высоты вплоть до 120 км. В верхних слоях атмосферы выше 120 км работают три различные атмосферные модели, термосфера Маршала (the Marshall Thermosphere, MET-07), Naval Research Laboratory Mass Spectrometer, Incoherent Scatter



Radar Extended (NRLMISE-00) и модель Jachia-Bowman (JB-2008). В добавок к NRL1993 применяется и гармоническая модель ветров (Harmonic Wind Model HWM-93) для использования в сочетании NRLMISE-00.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 к статье: эти модели доступны по лицензии от NASA для квалифицированных пользователей, они обеспечивают качество информации аналогичное NRLMSISE-00. Earth GRAM 2007 содержит в себе опции для моделей NRLMSIS-00, HWM-93 и JB2006.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 к статье: См. ссылку<sup>[4]</sup>.

## 2.9

### Модель переноса температуры

#### DTM-2009

#### Drag Temperature Model 2009

эта модель описывает нейтральную температуру и плотности главных и незначительных составляющих в атмосфере Земли на высоте от 120 км до 1 500 км.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 к статье: Работа DTM-2009 основана на большой базе данных, которая собиралась с начала 70-х годов, она аналогична базе данных, на основе которой работает модель NRLMSISE-00 за исключением данных от радаров. Кроме того, в DTM-2009 включены данные о плотностях от датчиков ускорения высокого разрешения CHAMP и GRACE.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 к статье: Модель DTM-2009 работает в экзосфере от 120 до 1500 км. В этой модели используются два индекса:  $F_{10.7}$  для солнечного потока (ежедневного для предыдущего дня и среднего за 81 день с центром в день запроса) и  $K_p$  (величина потока с трехчасовой задержкой и среднее за последние 24 часа).

ПРИМЕЧАНИЕ 3 к статье: Коды модели DTM (DTM-94, DTM-2000, DTM-2009) доступны для загрузки с сайта проекта ATMOP<sup>1</sup>.

ПРИМЕЧАНИЕ 4 к статье: См. ссылку<sup>[5]</sup>.

## 3 Символы и сокращения

$a_p$	Трехчасовой планетарный индекс геомагнитной активности в единицах nT
$A_p$	Ежедневный индекс геомагнитной активности в единицах nT
CIRA	COSPAR International Reference Atmosphere – референсная модель внешней атмосферы
COSPAR	Комитет по космическим исследованиям
Dst	Почасовой индекс кольцевых возмущений в единицах nT
$F_{10}$	$F_{10.7}$ солнечный прокси в единицах солнечного потока $\times 10^{-22} \text{ W m}^{-2}$
$M_{10}$	$M_{10.7}$ солнечный прокси в единицах солнечного потока $\times 10^{-22} \text{ W m}^{-2}$

<sup>1</sup> (<http://www.atmop.eu/downloads.php>)

$S_{10}$	$S_{10.7}$ солнечный индекс в единицах солнечного потока $\times 10^{-22} \text{ W m}^{-2}$
URSI	Международный радиотехнический союз
$Y_{10}$	$Y_{10.7}$ солнечный индекс в единицах солнечного потока $\times 10^{-22} \text{ W m}^{-2}$

## 4 Общая концепция и предположения

### 4.1 Использование модели земной атмосферы

Модель NRLMSISE-00 <sup>[1]</sup> должна использоваться для вычисления нейтральной температуры и детального содержания газов в атмосфере.

Модель JB2008 model <sup>[2]</sup> должна использоваться для вычисления плотностей в атмосфере на высоте 120 км, например для определения аэродинамического сопротивления на LEO (низкой околоземной орбите).

Модель Земля-GRAM 2010 <sup>[4]</sup> может использоваться для вычисления полной плотности атмосферы выше 120 км для, например для определения аэродинамического сопротивления на LEO (низкой околоземной орбите).

Модель DTM 2009 <sup>[5]</sup> может использоваться для вычисления полной плотности атмосферы выше 120 км для, например для определения аэродинамического сопротивления на LEO (низкой околоземной орбите).

Для вычисления плотности воздуха на высоте ниже 120 км должны использоваться модели NRLMSISE-00 или Earth GRAM 2010.

ПРИМЕЧАНИЕ Приведенные модели использования следуют рекомендациям рабочей группы CIRA, спонсируемой COSPAR и URSI, а также решениям Ассамблеи COSPAR в Монреале в июле 2008 года.

#### 4.1.1 Руководство по использованию

- Модель NRLMSISE-00 для конкретных плотностей не должна смешиваться с моделями JB2008, Earth GRAM 2010 или DTM-2009 для определения полной плотности.
- Для самого плохого случая высокой солнечной активности и периодов анализа меньше одной недели ежедневные значения, приведенные в приложении А, должны использоваться в качестве входной информации для определения ежедневной активности в сочетании с долгосрочными значениями средней за 81 день активности.
- Для периодов анализа дольше одной недели данные о долгосрочной активности Солнца, приведенные в Приложении А, должны использоваться в качестве входной информации как для определения ежедневных, так и для определения средних за 81 день значений.
- Для периодов анализа дольше одной недели и условий, определенных в Приложении А, должны использоваться ежедневные и средние за 81 день активность Солнца, приведенные в Приложении А.
- Данные о краткосрочной ежедневной солнечной активности не должны использоваться вместе с информацией о низкой или средней долгосрочной солнечной активности.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Модели JB2008, NRLMSISE-00 и Earth GRAM 2010 могут предсказывать только крупномасштабные и медленные изменения в масштабе около 1 000 км (это высшие гармоники) и трех часов. Космические корабли могут столкнуться с изменениями плотности гораздо меньшего масштаба и времени, поскольку они движутся (например, +100 % или -50 % за 30 с), а также потому, что эти возмущения на небольшом масштабе возникают в периоды повышенной геомагнитной активности.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Референсные значения ключевых индексов для атмосферных моделей предоставлены в Приложении А.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 Средняя солнечная активность за 81 день  $F_{10.7}$  может быть оценена через усреднение трех последовательных месячных значений.

ПРИМЕЧАНИЕ 4 Сведения о неопределенностях результатов модели плотности можно найти в Приложении А и по ссылкам <sup>[1]</sup> и <sup>[2]</sup>.

ПРИМЕЧАНИЕ 5 Для высокой солнечной активности атмосферные модели дают реалистичные результаты только в сочетании высоких краткосрочных значений и высоких средних значений за 81 день.

ПРИМЕЧАНИЕ 6 Высокие значения Dst могут использоваться в случае низкой, средней или высокой солнечной активности.

## 4.2 Использование модели ветра Земли

Следует использовать модель HWM07 <sup>[3]</sup>.

В худшем случае для определения ежедневной солнечной активности следует использовать высокие величины ежедневной краткосрочной солнечной активности, но средняя активность за 81 день не должна превышать высокое долгосрочное значение.

ПРИМЕЧАНИЕ 1 Значения референсных индексов, необходимых для работы модели ветра, приведены в Приложении А.

ПРИМЕЧАНИЕ 2 Показатель  $F_{10.7}$  средней солнечной активности за 81 день можно оценить с помощью усреднения трех последовательных месячных предсказаний, которые приведены в Приложении А.

ПРИМЕЧАНИЕ 3 При использовании модели HWM07 для высоких широт и для периодов геомагнитных возмущений требуется особая тщательность при интерпретации результатов модели.

### 4.3 Надежность стандарта

Модели верхних слоев земной атмосферы, описанные в данном Международном стандарте, должны с течением времени адаптироваться и улучшаться, по мере того, как международное научное сообщество получает и оценивает высококачественные данные о верхних слоях атмосферы. Таким образом, пользователи описанных моделей должны убедиться, что они используют новейшие версии соответствующих моделей.

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

[ISO 14222:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5fc4334c-d396-4524-99af-ec1d9eb487cf/iso-14222-2013)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5fc4334c-d396-4524-99af-ec1d9eb487cf/iso-14222-2013>

## Приложение А (информативное)

### Структура земной атмосферы

#### А.1 Структура земной атмосферы

Атмосферу Земли можно разделить на несколько регионов на основе различия в их температуре, составе или количеством соударений между атомами и молекулами. В целях этого документа атмосфера делится на три больших региона на основе указанных свойств, как показано на Рисунке А.1:

- i) Гомосфера – это часть атмосферы, состав которой хорошо перемешан, т.е. концентрация основных составляющих не зависит от высоты и местоположения. Она простирается от поверхности Земли до 100 км и включает в себя регионы, определяемые температурой: тропосфера (от поверхности до высоты 8-15 км), стратосфера (от 10-12 км до высоты 50 км), мезосфера (от 50 км до 90 км высоты) и часть термосферы.
- ii) Термосфера – это область атмосферы между температурным минимумом и мезопаузой (около 90 км) и высотой, где вертикальная шкала высоты примерно равна длине свободного пробега (400 км – 600 км), в зависимости от уровней солнечной и геомагнитной активности.
- iii) Экзосфера простирается от верхней части термосферы во внешнее пространство.

На практике границы между этими регионами, определенные по высоте или давлению, меняются в зависимости от солнечной активности, сезонных, широтных и других условий.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5fc4334c-d396-4524-99af-ec1d9eb487cf/iso-14222-2013>  
Из-за ветра и турбулентного перемешивания гомосфера имеет почти однородный состав около 78,1 % азота, 20,9 % кислорода и 0,9 % аргона. Профиль температуры в термосфере быстро возрастает от минимума ~180 К в мезопаузе, затем постепенно слабее выше ~200 км до асимптотического значения, известного как температура экзосферы.

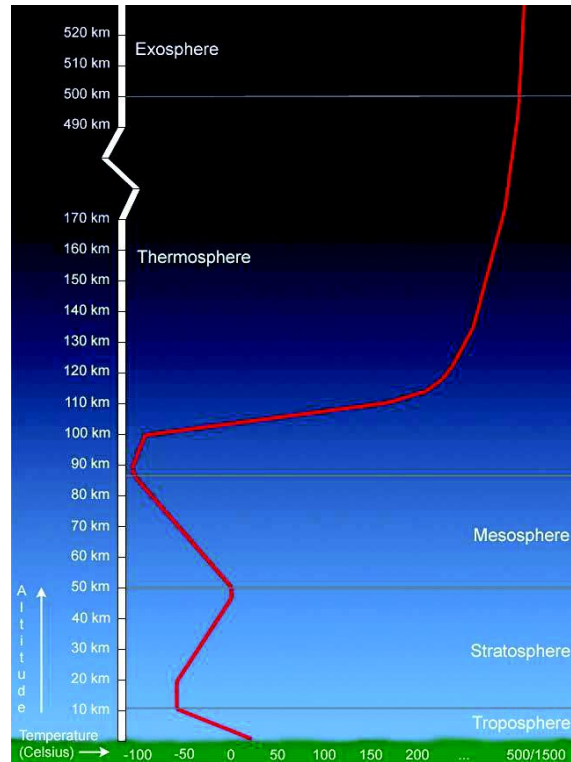


Рисунок А.1 — Температурный профиль Земной атмосферы

Экзосфера  
Термосфера  
Мезосфера  
Стратосфера  
Тропосфера

## A.2 Развитие моделей Земной атмосферы

“Стандартная атмосфера” определяется как вертикальное распределение температуры атмосферы, давления и плотности, которые по международному соглашению считаются представлением земной атмосферы. Первая “стандартная атмосфера”, учрежденная международным соглашением, была разработана в 1920-е годы прежде всего для целей калибровки барометрического высотомера, летно-технических расчетов, конструирования самолетов и ракет, баллистических таблиц и т. д. Позже, некоторые страны, в частности США, также разработали и опубликовали “Атмосферный стандарт”. Термин “Референсная атмосфера” используется для определения вертикального описания атмосферы в конкретных географических точках или в глобальном масштабе. Они были разработаны специальными организациями для специфических применений, особенно на предприятиях космической отрасли, которая начала развиваться после Второй Мировой Войны. Термин “Стандартная атмосфера” в последние годы также используется национальными и международными организациями для описания вертикального распределения атмосферных микросоставляющих, ионосферы, атомарного кислорода, аэрозолей, озона, ветра, водяного пара, планетных атмосфер и др.

Наиболее часто используемые сегодня примеры Стандартной и Референсной атмосферы включают в себя <sup>[6]</sup>: Стандартная Атмосфера ISO 1975, 1982; the U. S. Standard Atmosphere Supplements (дополнения к стандартной атмосфере), 1962, 1966, 1976; COSPAR International Reference Atmosphere (Международная референсная атмосфера) (CIRA), 1986 (ранее обозначаемый, как CIRA 1961, CIRA 1965 и CIRA 1972); NASA/MSFC Global Reference Atmosphere Model (Глобальная модель референсной атмосферы), Земля GRAM 2010 (ранее обозначалась как GRAM-86, GRAM-88, GRAM-90, GRAM-95, GRAM-99 и GRAM-07); NRLMSISE-00 Thermospheric Model, 2000 (ранее обозначаемая как MSIS-77, -83, -86 и MSISE-90); и самые последние модели плотности JB2006 и JB2008.

### A.3 NRLMSISE-00 и JB2008 — дополнительная информация

**A.3.1** Серия моделей MSIS (The Mass Spectrometer and Incoherent Scatter), разработанная между 1977 и 1990 гг. активно используется научным сообществом для описания нейтральных составляющих атмосферы. Эти модели используют данные об атмосферном составе и ее температуре от спутников и наземных радаров. Первая модель MSIS 1977 использовала температурный профиль Бейтса-Валкера (Bates-Walker) (который интегрировался аналитически в определение плотности) и давала возможность плотности до 120 км меняться в зависимости от времени и других геофизических параметров, чтобы обеспечить соответствие измерениям. Параметры температуры и плотности, описывающие вертикальный профиль атмосферы, распространяются в виде сферических гармоник, чтобы отразить географические изменения. Следующие версии модели включают в себя изменения по долготе, более точно учитывают эффекты геомагнитных штормов, учитывают изменения в высоких широтах, данные о потоках солнечного ветра и переход к нижним слоям атмосферы до уровня моря.

Модель NRLMSISE-00 дает информацию о составе атмосферы, ее температуре и распределению плотности от поверхности Земли до экзосферы. Ее формулы накладывают физические ограничения гидростатического равновесия, чтобы произвести самосогласованные оценки температуры и плотности. NRLMSISE-00 включает в себя следующие улучшения по сравнению с MSISE-90:

- i) данные, полученные на основе определения орбиты,
- ii) самые последние данные от акселерометров,
- iii) новые данные о температуре, полученные от наблюдений радаров в Millstone Hill и Arecibo,
- iv) данные о концентрации  $O_2$  с помощью Solar Maximum Mission (SMM) во время солнечных затмений,
- v) новая информация об “аномальном кислороде”, которая позволяет оценить вклад  $O^+$  и горячего атомарного кислорода в общую плотность на больших высотах.

**A.3.2** Модель плотности Jacchia-Bowman (JB2008) базируется на предшествующей модели Jacchia. Она включает в себя два ключевых новшества. Во-первых, появилась новая формулировка, касающаяся полугодовых вариаций плотности, наблюдающихся в термосфере, которые ранее не были включены в любую полуэмпирическую модель атмосферы. Во-вторых, появилась новая формулировка солнечных индексов, связанная с более реалистичной оценкой зависимости тепла и энергии от солнечного излучения в конкретных регионах по высоте и от тепловых процессов в верхней атмосфере. Индекс DST (экваториальное магнитное возмущение) используется в JB2008 как индекс, представляющий отклик геомагнитной активности. JB2008 вставляет улучшенную формулировку температуры  $J70$  в модель CIRA1972 для разрешения интегрирования уравнения диффузии в каждой точке, чтобы не полагаться на просмотрные таблицы (интеграция должна осуществляться численно, в отличие от аналитически интегрируемых формулировок Бейтс-Уокер, используемых в MSIS). Для того, чтобы оптимально представлять орбитально полученные данные о массе и плотности, на которых основывается JB2008, формулировка модели жертвует физическим ограничением гидростатического равновесия, поскольку оно не включает в себя все физические процессы, которые могут реально присутствовать в термосфере, влияя на температуру и плотности.

### A.4 Последовательность атмосферных моделей GRAM

Глобальная модель NASA/MSFC – Глобальная модель референсной атмосферы (Global Reference Atmospheric Model версия 2007, Earth GRAM 2010) – это результат работы Natural Environments Branch, NASA Marshall Space Flight Center. Эти модели можно по лицензии получить заинтересованным пользователям, они по простоте работы с ними и предоставляемому качеству информации аналогичны модели NRLMSISE-00. Как и предыдущие версии GRAM, модель предоставляет оценки средних и стандартных отклонений для таких параметров атмосферы, как плотность, температура и скорость ветра, для любого месяца, любой высоты и места в атмосфере Земли. GRAM может также