

НАНОДИАГНОСТИКА ПРИРОДНОЙ и ТЕХНОГЕННОЙ СРЕДЫ и СУПЕРВЫЧИСЛЕНИЯ

© Т.А. Сушкевич, С.А. Стрелков, С.В. Максакова,
В.В. Козодеров, А.Н. Волкович, А.Б. Гаврилович,
А.Н. Андрианов, К.Н. Ефимкин

tamaras@keldysh.ru

Институт прикладной математики имени М.В. Келдыша РАН

**Седьмая Всероссийская Открытая конференция
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА**

**(Физические основы, методы и технологии мониторинга
окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)**

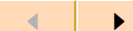
16-20 ноября 2009 года, Москва, ИКИ РАН

*Работа при поддержке РФФИ (проекты 09-01-00071, 08-01-00024,
08-07-13515-офи-ц с Роскосмосом) и Программы фундаментальных
исследований РАН (проект ПФИ № 3 (3.5)ОМН РАН).*

Home Page

Title Page

Contents



Page 1 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

ГЛОБАЛЬНОЕ РАДИАЦИОННОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ, РАДИАЦИОННЫЙ ФОРСИНГ и СУПЕРВЫЧИСЛЕНИЯ

Т.А. Сушкевич, С.А. Стрелков, С.В. Максакова,
Б.А. Фомин, Л.Д. Краснокутская, А.Н. Андрианов,
К.Н. Ефимкин

tamaras@keldysh.ru

Институт прикладной математики имени М.В. Келдыша РАН

**Седьмая Всероссийская Открытая конференция
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА**

**(Физические основы, методы и технологии мониторинга
окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)**

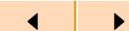
16-20 ноября 2009 года, Москва, ИКИ РАН

*Работа при поддержке РФФИ (проекты 09-01-00071, 08-01-00024,
08-07-13515-офи-ц с Роскосмосом) и Программы фундаментальных
исследований РАН (проект ПФИ № 3 (3.5)ОМН РАН).*

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 2 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 3.

В подготовке и открытии космической эры и космических исследований очень велика роль Мстислава Всеволодовича Келдыша. Он считался "Главным Теоретиком космонавтики" и действительно был организатором математической школы, которая обеспечила решение многих практических задач ракетодинамики и космонавтики.

Home Page

Title Page

Contents



Page 3 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 4.

В феврале 1954 года в кабинете М.В. Келдыша прошло первое совещание по искусственному спутнику Земли.

В соответствии с Постановлением ЦК КПСС и Правительства СССР "Об увековечивании памяти академика М.В. Келдыша" в июле 1978 года создан и функционирует *Мемориальный кабинет-музей академика М.В. Келдыша при Президиуме РАН.*

Музей находится в знаменитом здании - Главном корпусе Института прикладной математики имени М.В. Келдыша на Миусской площади, дом 4, которое ЮНЕСКО включило в Список охраняемых памятников и оно должно охраняться государством...

Home Page

Title Page

Contents



Page 4 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 5.

В 1954 году М.В. Келдышем, С.П. Королевым и М.К. Тихонравовым было представлено письмо в ЦК КПСС и Совет министров с предложением о создании и запуске искусственного спутника Земли (ИСЗ).

Правительство поддержало эту инициативу. **ОДНАКО**, потребовалось обоснование для столь масштабных и дорогих проектов...

Home Page

Title Page

Contents



Page 5 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 6.

М.В. Келдыш — идеолог и организатор космических исследований.

По его указанию летом 1955 года из Академии наук разо-
слали письма ученым разных специальностей с одним во-
просом: ***"Как можно использовать
космос?"***

This is Slide No. 7.

Мнений и предложений было много и разных.

Для убеждения руководителей СССР в необходимости освоения космического пространства и запусков космических спутников и кораблей М.В. Келдыш выделил

**две главные задачи:
разведка и наблюдения Земли,**

вокруг которых сформировались многие научно-исследовательские проекты.

В ноябре 1955 года из АН СССР в ЦК КПСС и Совет Министров было направлено письмо с программой космических исследований.

Так появилось новое научное направление "REMOTE SENSING" или аэрокосмическое дистанционное зондирование Земли.

Home Page

Title Page

Contents

◀◀ ▶▶

◀ ▶

Page 7 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 8.

Между СССР и США БЫЛ ДОСТИГНУТ ПАРИТЕТ по межконтинентальным баллистическим ракетам и остро стояла проблема разработки и создания ПРО (противоракетной обороны).

М.В.Келдыш предложил концепцию УПРЕЖДЕНИЯ СТАРТОВ РАКЕТ из КОСМОСА. Этот фантастический проект до сих пор актуален и является мощным сдерживающим фактором. Не случайно уже около 40 стран "присутствуют" в космосе.

30 января 1956 года М.В. Келдыш был назначен председателем Специальной комиссии Академии наук по ИСЗ; С.П. Королев и М.К. Тихонравов — его заместители.

Home Page

Title Page

Contents



Page 8 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 9.

28 января 1960 г. решением Правительства для координации работ был образован *Межведомственный научно-технический совет по космическим исследованиям при Президиуме Академии наук СССР* и *М.В. Келдыш* назначен его председателем.

Заслугой Мстислава Всеволодовича на этом посту было проведение *сбалансированной программы исследований, обеспечившей органичное сочетание всех аспектов освоения космического пространства.*

Подтверждением тому явились мировое признание успехов нашей страны, уважение и авторитет *М.В. Келдыша*, избранного *в мае 1961 года Президентом Академии наук. Он руководил Академией 14 лет...*

Home Page

Title Page

Contents

◀◀ ▶▶

◀ ▶

Page 9 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 10.

С избранием М.В. Келдыша Президентом Академии наук СССР происходят существенные изменения как в работе самого Президиума, так и в общественном положении Академии наук в целом. Часто употреблявшееся тогда выражение "**Академия стала штабом советской науки**" все больше наполнялось реальным содержанием.

Home Page

Title Page

Contents



Page 10 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 11.

04 октября 1957 года в СССР был запущен первый в истории человеческой цивилизации искусственный спутник Земли.

12 апреля 1961 года советский космонавт Юрий Алексеевич Гагарин совершил первый полет человека в космос.

16 марта 1962 года запуск первого искусственного спутника Земли (ИСЗ) серии "Космос" положил начало осуществлению **КОМПЛЕКСНОЙ НАУЧНОЙ ПРОГРАММЫ** оптических исследований околоземного космического пространства и Земли.

Home Page

Title Page

Contents



Page 11 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 12.

Хотела бы обратить внимание на то, что *на заре космической эры к работам были привлечены самые сильные специалисты, среди которых было много молодых — выпускников МГУ, ЛГУ, МФТИ, и разрабатывались самые сложные модели радиационного поля Земли и передаточных характеристик, практически с нулевого уровня.*

При этом многие *методические работы советских ученых превосходили аналогичные работы зарубежных ученых, которые со всего мира приглашались в США.* Эта ситуация привела к тому, что первопроходцы ушли по возрасту, а новых специалистов не готовили... Тут пригодились наши бывшие соотечественники...

Home Page

Title Page

Contents



Page 12 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 13.

К середине 70-ых годов благодаря работам советских и американских ученых фактически уже были заложены методические основы современных космических технологий дистанционного зондирования, которые в настоящее время являются массовыми и в них принимают участие ученые и специалисты из более 40 стран.

Существенное отличие современных технологий от предыдущих касается, преимущественно, технологий приема, обработки и представления космических данных, т.е. лежит в области информационных технологий.

Home Page

Title Page

Contents



Page 13 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 14.

На пленарных заседаниях были сделаны представительные доклады с большими перспективами развития не только аэрокосмических систем дистанционного зондирования, но и наземной инфраструктуры для сбора, обработки и распространения космических данных.

Естественно стоит вопрос: а в каких вузах готовят молодых специалистов для работы в этих перспективных высокотехнологичных направлениях? И достаточно ли для их подготовки овладение только персональными компьютерами или графическими системами?

Мой ответ — без супервычислений и суперкомпьютеров прорывных достижений не получится!

Home Page

Title Page

Contents



Page 14 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 15.

С 1992 года, когда в Рио-де-Жанейро состоялся саммит правительств и была принята "Конвенция по климату", практически все страны, входящие в ООН, приобщились к климатическим проблемам.

В последние годы всё чаще высказывается мнение: почти ежедневно в средствах массовой информации идет речь об угрожающих климатических изменениях и это есть один из "*современных подходов*" к получению финансирования сложившимися "*группировками*".

Home Page

Title Page

Contents



Page 15 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 16.

В настоящее время мировое научное сообщество располагает практически достаточными фундаментальными знаниями и научными потенциалами, чтобы, *объединив совместные усилия*, провести достоверные комплексные и системные исследования на основе *сценариев*, реализуемых на суперкомпьютерах с привлечением данных длительных временных рядов космических наблюдений двойного назначения.

Но такого объединения не происходит...

Причина: "интерес" представляют не проблемы изменений климата и их последствий, а "деньги"... Пришло "новое" поколение "исследователей", которое без опыта старшего поколения самостоятельно решить эту проблему не может и "не желает делиться"...

Home Page

Title Page

Contents



Page 16 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 17.

Наглядной иллюстрацией огромной роли компьютерного моделирования в решении стратегических глобальных проблем атомного проекта, космического проекта, управляемого термоядерного синтеза, генома и т.п. является создание *Института прикладной математики АН СССР*, в котором до 80% финансирование обеспечивалось целевыми заказами!

При этом разрабатывались универсальные методики и программы, которые позволяли выполнять и частные заказы на бесплатной основе в форме Соглашения о сотрудничестве.

Home Page

Title Page

Contents

◀◀ ▶▶

◀ ▶

Page 17 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 18.

Такую систему обеспечения компьютерными расчетами в конце 70-ых годов стали развивать в США, когда первый большой компьютер Cray-1 установили в Goddard-центре, Wooldary, и прием заказов на расчеты и передача результатов осуществлялись по 50-канальной связи.

Чтобы "подавить" конкурентов в разработке теории, методик и программ, США распространяет бесплатно или совсем дешево устаревшие программы, адаптированные к персональным компьютерам.

И тем самым *КОНТРОЛИРУЕТ* уровень фундаментальных и прикладных исследований в других странах. Но иногда приглашают наших специалистов по частным контрактам.

Home Page

Title Page

Contents



Page 18 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 19.

В настоящий момент, когда объявлены **ПЯТЬ** приоритетов "модернизации" и среди них (под большим давлением российских ученых!) видим *супервычисления и грид-системы*, **НЕОБХОДИМО** консолидироваться и вновь занять ведущие позиции в компьютерном моделировании радиационных задач дистанционного зондирования Земли и других планет, радиационного балланса Земли, радиационного форсинга и радиационных блоков в моделях климата и прогноза (где до сих пор используются упрощенные плоские приближения!).

Home Page

Title Page

Contents

◀◀ ▶▶

◀ ▶

Page 19 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 20.

Фундаментальная научная проблема, на решение которой направлена работа, – это *исследование фундаментальных основ применения нанотехнологий в космических исследованиях*, связанных с перспективами использования аэрокосмических и наземных систем гиперспектрального дистанционного зондирования природных, техногенных и искусственных сред и объектов с целью их диагностики.

В настоящей презентации речь идет об информационно-математическом аспекте изучаемой проблемы и перспективах использования супервычислений.

Home Page

Title Page

Contents



Page 20 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 21.

В масштабах планеты стоит актуальная проблема создания международного глобального мониторинга Земли с целью исследования её эволюции и прогнозирования естественно-природных стихийных бедствий и антропогенно-техногенных катастрофических процессов.

Это грандиозные задачи, решение которых требует разработки нанотехнологий для космических проектов, в частности, гиперспектральной аппаратуры дистанционного зондирования и миниспутников.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)

◀◀ ▶▶

◀ ▶

Page 21 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

Home Page

Title Page

Contents



Page 22 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 22.

Важнейшей современной тенденцией развития подходов и технологий дистанционного аэрокосмического зондирования, наряду с улучшением пространственного и спектрального разрешения, является переход от измерений относительных градаций яркостей, представляемых с помощью многоспектральных изображений (обычно не более десятка спектральных каналов), к получению **абсолютно калиброванных данных в нескольких десятках, сотнях и даже тысячах каналов (гиперспектральные измерения)**.

This is Slide No. 23.

Информационная продукция, получаемая в результате обработки многоспектральных и гиперспектральных данных, открывает широкие возможности реализации инновационных технологий, **главная особенность которых — получение количественных оценок параметров состояния наблюдаемых объектов природно-техногенной сферы в сравнении с их качественными оценками в традиционных подходах, а также установление элементного состава объектов. В изображениях от условных "псевдоцветов" можно перейти к "природным" цветам.**

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 23 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 24.

Цель исследований - теоретически обосновать возможности новых перспективных гиперспектральных методик аэрокосмического и наземного дистанционного зондирования системы атмосфера-Земля по спектрам солнечного и собственного излучения.

Первые гиперспектрометры использовали в 1981-1983 гг. "Спектр-256" испытывался на ДОС "Салют-7". В 80-ые годы такие работы проводились активно...

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 24 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 25.

Научная идея основана на использовании *существенных различий в спектральном ходе поглощения, рассеяния, излучения и пропускания основных компонент системы атмосфера-Земля и спектральных характеристик отражения объектами природно-техногенной сферы* для выделения интервалов длин волн спектра многократно рассеянного солнечного и собственного излучения, информативных в отношении конкретных компонент, и на этой основе дискриминировать компоненты по их спектральным характеристикам.

Такие возможности появились в связи с новой элементной базой и усовершенствованными ПЗС-матрицами.

Home Page

Title Page

Contents



Page 25 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

Одна из фундаментальных задач — это разработка новых моделей для теоретических и методических основ математического моделирования радиационного поля Земли с высоким спектральным разрешением в диапазоне от ультрафиолета до миллиметровых волн с учетом многократного рассеяния, поглощения, поляризации и рефракции в атмосфере, облачности, океане и последних достижений в молекулярной спектроскопии атмосферных газов, аэрозолей, примесей и загрязнений земной поверхности (суша, океан), а также спектральных и угловых зависимостей характеристик отражения объектов разной природы, с целью обеспечения теоретико-расчетных исследований процессов переноса электромагнитного излучения (фотонов) в природных средах и формирования спектральных радиационных характеристик системы "атмосфера-земная поверхность (суша, океан)" в рамках **кинетической теории переноса излучения на базе общих краевых задач для скалярного и векторного интегро-дифференциального уравнения переноса — линейризованного приближения уравнения Больцмана с бинарными столкновениями.**

Home Page

Title Page

Contents



Page 26 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 27.

В настоящее время возросла актуальность таких исследований в связи с подписанием Международного Соглашения (более 40 стран) по организации международного глобального проекта по изучению Земли, международной космической системы аэрокосмического и наземного глобального мониторинга, международных Центров оперативной космической информации по катастрофическим и экологически опасным явлениям, а также в связи с новым этапом развития нанотехнологий для космических исследований, в частности, гиперспектрального (высокого спектрального разрешения) дистанционного зондирования объектов разной природы.

Возможно, уже и не такая далекая перспектива — использование данных аэрокосмического дистанционного зондирования для решения проблем оперативного и системного управления территориями для обеспечения их устойчивого развития.

Home Page

Title Page

Contents



Page 27 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 28.

Новые перспективные возможности математического моделирования атмосферной радиации Земли связаны с разработкой информационно-математической системы для широкой области приложений на суперкомпьютерах и кластерах с распараллеливанием вычислений и распределением ресурсов.

В США, Японии, Германии, Англии, Франции, России появились суперкомпьютеры нового поколения, ориентированные на массовый параллелизм.

Необходимо отметить, что сложные большие трудоемкие многомерные задачи пока что использовались для выполнения стратегических космических проектов.

Home Page

Title Page

Contents



Page 28 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 29.

Гигантский научно-технический прогресс и беспрецедентный рост влияния человека на природу в XX веке в 70-е - 90-е годы привели ученых всего мира, занимающихся анализом нарастающих антропогенных и естественно-природных воздействий на окружающую среду, к выводу: решение задач объективного контроля и прогнозирования качества окружающей среды возможно лишь при создании единой международной системы мониторинга на основе эффективных средств сбора и переработки информации.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 29 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 30.

Для диагностики и прогнозирования требуется серьезное исследование глобальных систем наблюдений и численное моделирование возможности дистанционного зондирования и мониторинга на основе *сценариев развития в атмосфере и на земной поверхности техногенных чрезвычайных аварий и естественно-природных катастроф.*

Всемирная система мониторинга и иерархия моделей — главные инструменты для прогнозирования изменений в природных процессах и разделения естественных и антропогенных воздействий.

Home Page

Title Page

Contents



Page 30 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 31.

В интересах международной кооперации по аэрокосмическому глобальному мониторингу Земли, международного глобального проекта по изучению эволюции Земли, климата и опасных явлений требуется разработка нового математического обеспечения для решения прямых и обратных задач теории переноса излучения в природных средах, реализуемого на высокопроизводительных многопроцессорных супер-ЭВМ.

Важнейшим направлением является расширение сфер внедрения нанотехнологий в космических проектах, в частности, развитие гиперспектральных систем дистанционного зондирования и нанодиагностики природно-техногенной сферы.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 31 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 32.

Сферические многомерные модели переноса излучения, несмотря на их сложность и громоздкость численной реализации на первых поколениях ЭВМ (М-20, БЭСМ-4, БЭСМ-6, АС-6), в 60-е - 80-е годы имели исключительную актуальность в связи с проектированием и созданием ракетно-космических систем, освоением ближнего и дальнего космического пространства, организацией и проведением космических исследований и наблюдений из космоса.

Параллельно развивались исследования по научно-фундаментальным проблемам метеорологии, океанологии, физики атмосферы, изучения природных ресурсов, дистанционного зондирования атмосферы, суши, океана, облачности, гидрометеоров.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 32 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 33.

Две концепции - фотометрия и спектрография, успешно реализованные в первых научных космических экспериментах, позволили на многие годы вперед заложить методические основы дистанционного зондирования атмосферы Земли и других планет.

Эти пионерские работы подтвердили достоверность разработанных сферических моделей поля излучения Земли, которые в дальнейшем использовались для подготовки и реализации уникальных космических проектов, а также в опытно-конструкторских работах по проектированию космических систем разного назначения.

Home Page

Title Page

Contents



Page 33 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 34.

Запуск советской АМС "Зонд-5" впервые в мире позволил увидеть планету Земля с большого расстояния и осуществить ее фотометрирование, которое было продолжено с АМС "Зонд-6, 7, 8".

Важным результатом научного фотографического (в нескольких спектральных интервалах) эксперимента было определение фотометрических характеристик планеты, коэффициентов яркости ее объектов, звездной величины Земли.

При проектировании съемочной аппаратуры и фотометрическом анализе изображений Земли использовались результаты Т.А. Сушкевич по математическому моделированию яркостного поля сферической Земли с разными типами подстилающей поверхности.

Home Page

Title Page

Contents



Page 34 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit



This is Slide No. 35.

Созданный в Институте прикладной математики имени М.В. Келдыша АН СССР в 60-е - 80-е годы вычислительный аппарат использовался

- *для фундаментально-поисковых научных исследований по разработке методов и средств космических наблюдений,*
- *дистанционного зондирования из космоса,*
- *ориентации, стабилизации и навигации КА, астронавигации ракет,*
- *для интерпретации и анализа данных космических и комплексных экспериментов, проводимых на ПКК и ДОС, а также аэростатных, самолетных и наземных наблюдений.*

This is Slide No. 36.

Впервые были получены теоретико-расчетные результаты по моделям излучения Земли для проектов:

- *астронавигации по визированию восходящих и заходящих звезд;*
- *датчиков ориентации лунных аппаратов и космического комплекса "Луна-9", обеспечивающего возвращение ракеты с Луны на Землю, по яркостному лимбу Земли и планете Земля (впервые в мире были рассчитаны звездные величины и фазовые кривые планеты Земля для характерных состояний атмосферы и подстилающих поверхностей);*
- *приборов автоматической и ручной ориентации и стабилизации КА по яркостному горизонту Земли в ближнем космосе;*
- *фотосъемок и картографии Антарктиды ("Космос-2000");*
- *оптико-электронных систем наблюдений и т.д.*

Home Page

Title Page

Contents



Page 36 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 37.

В исследованиях по физике атмосферы и оптических свойств различных компонентов атмосферы (аэрозоль, влажность, газовые примеси) с помощью космических экспериментов, проводимых на ПКК ("Восток-6", "Восход", "Союз-3, 4, 5, 6, 7, 8, 16", ДОС "Салют", "Мир", комплекс "Союз-Аполлон"), а также спектрофотометрии с ракет "Зонд-5, 7, 8" использованы численные результаты по глобальным моделям излучения сферической Земли и математическому моделированию для решения обратных задач восстановления высотной стратификации аэрозоля и озона в атмосфере Земли.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 37 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 38.

Впервые были оценены условия применимости (в частности, размытие за счет многократного рассеяния и подсветки от подстилающей поверхности) рефрактометрического метода при лимбовых исследованиях состава атмосферы из космоса (фото- и киносъемки захода Солнца с ДОС "Салют") и при визировании звезд по горизонтальным трассам через атмосферу с учетом влияния рефракции на пространственную структуру яркости горизонта Земли.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 38 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 39.

Созданные вычислительные средства существенно подняли уровень математического моделирования атмосферно-оптических явлений в земных условиях. Практическое применение результатов математического моделирования в Институте Келдыша осуществлялось в рамках директивных заданий, а также по Договорам о научном сотрудничестве со следующими организациями: ГОИ имени С.И.Вавилова, ГГО, ИФА АН, ИО АН, МГИ АН Украины, ИРЭ АН, ИКИ АН, ИФА АН, ИФ АН БССР, ЦАО, НПО "Планета", Физфак МГУ, ГОСНИЦИПР, ИЭМ, ИПГ, ЛГУ, ВНИИОФИ, Институт астрофизики КазССР, МИЭиА МАП, ИОА СО АН СССР, ЦКБ "Стрела", ЦКБ "Алмаз", ЦНИИ "Комета"МРП, НИИ-2 МО, Гос. НИПЦ "Природа", КБ "Южный", ЦСКБ "Сатурн", НПО им. Лавочкина, ЦНИИ-МАШ, ГИПО, Абастуманская обсерватория, ИАиА и Тартуская обсерватория АН ЭССР, Калининский политехнический институт и др.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 39 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 40.

С 1989 года коллектив проводит работы по проблемам распараллеливания вычислений при решении больших задач в атмосферно-оптических космических исследованиях, в проблемах климата, прогноза, радиационного баланса Земли и т.д., связанных с математическим моделированием переноса излучения в природных и искусственных средах и радиационного поля Земли.

Однако впервые параллельные вычисления были реализованы в 1966 году на ЭВМ БЭСМ-6 путем специального разбиения разностной сетки на непересекающиеся подобласти и использования времени обмена с магнитными лентами.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 40 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 41.

Накоплен огромный опыт по проблемам переносимости, адаптации, наследования программного обеспечения при освоении различных вычислительных систем. По-прежнему имеет место проблема соблюдения международных стандартов и универсальности операционного обеспечения и компиляторов Fortran. В мировой практике космической отрасли предпочтение отдается Fortran, чтобы обеспечить преемственность не только специального тематического программного обеспечения, но и масштабных баз данных как характеристик параметров атмосферы, земной поверхности, океана, так и архивов радиационных характеристик.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 41 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 42.

При дистанционном зондировании и мониторинге технических объектов и окружающей среды носителем информации об их состоянии является электромагнитное излучение, регистрируемое различными средствами.

Представляют актуальность перспективные гиперспектральные системы нанодиагностики природной и техногенной среды на основе данных аэрокосмического дистанционного зондирования атмосферы и поверхности (объектов техносферы на поверхности).

Для решения таких проблем требуется информационно-математическое обеспечение, включающее прямые и обратные задачи теории переноса излучения.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 42 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 43.

Даже на современных высокопроизводительных вычислительных системах стоят проблемы скорости вычислений и оптимальной организации распараллеливания расчета при больших размерностях разностной сетки, а также передачи больших массивов результатов расчета по сетям от суперкомпьютера к рабочей станции оператора для последующей обработки.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 43 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 44.

Новый подход к моделированию радиационных полей в оптически толстых и существенно неоднородных средах на базе модели переноса излучения в гетерогенных системах и метода векторных функций влияния обладает удивительными свойствами распараллеливания вычислений и построения новых алгоритмов декомпозиции: методом векторных функций влияния исходную задачу с областью определения решения большой размерности и большим размером разностной сетки фазового пространства задачи можно факторизовать на ряд малоразмерных подзадач, определенных на подобластях и разностных сетках меньшей размерности. При этом подобласти могут отличаться радиационными режимами и в них можно использовать разные приближения и методы решения краевых задач теории переноса излучения.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 44 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 45.

С одной стороны, радиационное поле - один из неотъемлемых факторов жизнеобеспечения человека, животного и растительного мира на Земле, одна из определяющих компонент земной экосистемы и биосферы, а также климата Земли, для поведения которых характерно взаимодействие отдельных компонент с проявлением синергизма. "Тепличный эффект" почти на 40% обусловлен **радиационным форсингом**, т.е. изменением радиационного поля Земли под влиянием естественно-природного и антропогенно-техногенного воздействия.

Home Page

Title Page

Contents



Page 45 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 46.

С другой стороны, при дистанционном зондировании объектов природно-техногенной сферы электромагнитное излучение, регистрируемое разными средствами, является ***основным источником информации*** о строении и физических свойствах планетных атмосфер и поверхностей, о состоянии окружающей среды и объектов, атмосферы, облачности, океана, гидрометеоров и всевозможных выбросов с загрязняющими примесями (последствия техногенных аварий, военных действий, лесных и степных пожаров, извержений вулканов и т.д.).

Home Page

Title Page

Contents



Page 46 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 47.

Сложность космических исследований и реализации космических проектов обусловлена тем, что приходится иметь дело с "замкнутым кругом":

— чтобы измерить характеристики радиационного поля Земли, нужны предварительные оценочные расчеты этих характеристик на основе моделей теории переноса излучения с учетом многократного рассеяния и поглощения солнечного излучения,

— чтобы смоделировать перенос излучения в системе "атмосфера - земная поверхность", нужны данные о пространственных и спектральных распределениях оптико-геофизических параметров атмосферы, описывающих взаимодействие солнечного и собственного излучения с компонентами земной атмосферы и земной поверхностью.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)

◀◀ ▶▶

◀ ▶

Page 47 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 48.

Следует обратить внимание на несогласованность теории переноса с реальными возможностями натуральных измерений. Практически отсутствуют способы одновременного экспериментального определения всего комплекса входящих в теорию физических параметров среды и тем более их изменчивости для данных конкретных, непрерывно меняющихся ситуаций в реальной окружающей среде.

Поэтому физико-математическое моделирование для восполнения знаний о реальных радиационных процессах, их анализа и прогнозирования является необходимой составной частью любого космического проекта и глобальных моделей циркуляции атмосферы и океана, климата или метеорологии.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 48 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

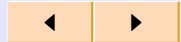
This is Slide No. 49.

Радиационное поле Земли формируется под влиянием двух компонент системы "атмосфера - земная поверхность (суша, океан)"(САП). Связи между радиационными характеристиками и параметрами атмосферы и земной поверхности описываются решениями общей краевой задачи теории переноса излучения в САП, когда важно использовать теорию многократного рассеяния. Сложность задачи заключается в многопараметричности модели среды, большом разнообразии процессов трансформации энергии Солнца, вариантов визуирования и способов измерений.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 49 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 50.

Приходится иметь дело с общими краевыми задачами для интегро-дифференциального кинетического уравнения, описывающего перенос излучения в рассеивающих, поглощающих, излучающих, преломляющих, поляризирующих средах с одномерной, двумерной или трехмерной плоской или сферической геометрией. Используется линеаризованное уравнение Больцмана в приближении бинарных столкновений, основанном на дуализме "волна-частица".

Теория переноса позволяет изучать влияние различных факторов на прохождение излучения в САП и получать связи конкретных параметров среды с характеристиками радиационного поля.

Home Page

Title Page

Contents



Page 50 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 51.

В рамках развития вычислительных средств рассматриваются следующие модели переноса излучения.

I. Спектральная, пространственная и угловая структуры поля яркости — интенсивности светового поля (оптического излучения) при известных условиях освещения рассчитываются как решения общей краевой задачи для уравнения переноса.

II. Спектральные и пространственные структуры интегральных характеристик поля излучения рассчитываются как решения задач, отвечающих (математически) точным или разной степени приближенности линейным и нелинейным моделям, которые получаются из интегро-дифференциального уравнения переноса с помощью аппарата разложений решения по сферическим функциям, при контролируемых условиях и ограничениях.

Home Page

Title Page

Contents



Page 51 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 52.

ПЕРЕДАТОЧНЫЙ ОПЕРАТОР, МЕТОД ФУНКЦИЙ ВЛИЯНИЯ И ЛИНЕЙНО-СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 52 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 53.

Рассматривается задача дистанционного зондирования поверхности через атмосферу планеты. Развита эффективный подход атмосферной коррекции спутниковой информации.

Модель передаточных свойств атмосферы представлена в форме линейного функционала — интеграла суперпозиции, лежащего в основе классического линейно-системного подхода.

Оптический передаточный оператор построен математически строго и физически корректно методом функций влияния и пространственно-частотных характеристик.

This is Slide No. 54.

Функции влияния и пространственно-частотные характеристики системы "атмосфера – поверхность планеты" являются ядрами функционалов и объективными характеристиками, инвариантными относительно конкретных структур зондируемых объектов, условий освещенности и наблюдения.

Пространственно-частотные характеристики вводятся как фурье-образы функции влияния по горизонтальным координатам.

Можно выделить следующие **типы радиационных задач**, требующих учета влияния поверхности планеты, отражающей излучение.

Первый тип - это задачи энергетики и радиационного баланса **Земли**, когда источником служит радиация Солнца и собственное излучение планеты. Такие задачи решаются преимущественно в приближении плоской модели земной оболочки с неявным или явным учетом вклада однородной ламбертовой или неортотропной подстилающей поверхности.

Второй тип - это задачи дистанционного зондирования атмосферы и облачности, когда земная поверхность является помехой.

Третий тип - это задачи дистанционного зондирования **земной поверхности**, когда необходимо устранить (провести атмосферную коррекцию) или достоверно учесть влияние атмосферы.

Home Page

Title Page

Contents



Page 55 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

КОНЦЕПЦИЯ ЛИНЕЙНО-СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

В любой активной или пассивной системе дистанционного зондирования земной поверхности всегда присутствуют **четыре главные компоненты**:

- (1) "сценарий", "сцена", т.е. **распределение яркости** наблюдаемых объектов или ландшафта;
- (2) атмосферный **канал передачи изображения**;
- (3) **прибор регистрации** электромагнитных волн;
- (4) **комплекс обработки и распознавания изображения**.

В трех компонентах проявляется влияние атмосферы: атмосферно-оптические механизмы воздействуют на формирование "сценария", на перенос его изображения через среду и учитываются в радиационной коррекции при анализе "сцен".

Home Page

Title Page

Contents



Page 56 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

Вследствие бесконечного многообразия возможных объектов наблюдения целесообразно использовать **универсальный подход**, который позволяет описывать весь канал наблюдения через **объективные характеристики, инвариантные** относительно конкретных структур зондируемых объектов, условий освещенности и визирования.

Такой подход широко применяется в классической оптике, в теориях видения, электрических цепей, оптико-электронных систем, фотографии, обработки изображений и **известен как линейно-системный подход**.

Под системой следует понимать все то, что осуществляет преобразование ряда входных функций или воздействий в ряд выходных функций или реакций (откликов).

Реакции систем на входные воздействия вследствие их аналогии можно описать некоторыми **обобщенными характеристиками**, определение которых не зависит от конкретного вида системы (электрической, оптической, радиофизической и т.д.).

Home Page

Title Page

Contents



Page 57 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

Общность состоит в том, что **функциональное соотношение**, связывающее входной $E(x, y)$ и выходной $\Phi(x, y)$ двумерные сигналы системы:

$$\Phi(x, y) = (\Theta, E) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Theta(x, y; x', y') E(x', y') dx' dy' \quad (1)$$

имеет **фундаментальный характер** и известно как *интеграл суперпозиции*, означающий, что линейная система полностью характеризуется суммой ее откликов на входные воздействия; x, y — горизонтальные координаты.

Если выполняется условие *пространственной инвариантности* (изопланарности), то *функция рассеяния* (ФР) системы, или *функция рассеяния точки* (ФРТ), $\Theta(x, y; x', y')$ зависит от разности аргументов и **функционал (1) принимает вид свертки**

$$\Phi(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \Theta(x - x'; y - y') E(x', y') dx' dy'. \quad (2)$$

Home Page

Title Page

Contents

◀◀ ▶▶

◀ ▶

Page 58 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

С помощью теоремы о фурье-спектре свертки **двумерный спектр выходного сигнала системы** $B(p_x, p_y) = \mathcal{F}[\Phi(x, y)]$ получается в виде произведения

$$B(p_x, p_y) = \Psi(p_x, p_y)V(p_x, p_y), \quad (3)$$

где спектральная плотность входного сигнала (распределение яркости объекта) $V(p_x, p_y) = \mathcal{F}[E(x, y)]$.

Спектральная плотность функции рассеяния $\Psi(p_x, p_y) = \mathcal{F}[\Theta(x, y)]$ называется *передаточной функцией* системы (*оптической передаточной функцией* (ОПФ)).

С помощью обратного преобразования Фурье из (3) можно найти значение **выходного сигнала системы** (распределение яркости на выходе оптической системы):

$$\Phi(x, y) = \mathcal{F}^{-1}[B(p_x, p_y)] = \mathcal{F}^{-1}[\Psi(p_x, p_y)V(p_x, p_y)]. \quad (4)$$

This is Slide No. 60.

Следовательно, (оптическая) система осуществляет двумерное преобразование Фурье над произведением спектров ее функции рассеяния и входного сигнала.

Согласно (3) ОПФ $\Psi(p_x, p_y)$ позволяет установить соответствие между двумерными спектрами распределений яркости в плоскости объекта и освещенности в плоскости изображения.

Линейная (оптическая) система представляет собой линейный фильтр пространственных частот с коэффициентом передачи $\Psi(p_x, p_y)$.

Пространственно-частотная характеристика $\Psi(p_x, p_y)$ в общем случае является комплексной функцией:

$$\Psi(p_x, p_y) = A(p_x, p_y) \exp[i\beta(p_x, p_y)].$$

Home Page

Title Page

Contents

◀◀ ▶▶

◀ ▶

Page 60 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 61.

Концепция (оптической) пространственной фильтрации, т.е. манипулирование пространственными частотами с целью изменения или передачи свойств изображения, известна уже более 100 лет как результат работ Эрнста Аббе в 1873–1886 гг. (*Abbe E. // Arch. Microsc. 1873. V.9. P.413.*)

Эти работы оказали глубокое влияние на научную дисциплину, которая позже была названа **фурье-оптикой** (Применение методов фурье-оптики, 1982). Эта наука возникла на стыке классической оптики и теории информации.

Результаты Аббе непосредственно привели к описанию изображающих оптических приборов как **фильтров пространственных частот** поля объекта.

Home Page

Title Page

Contents



Page 61 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 62.

В соотношениях (1)–(4) заключены базовые основы аппарата теории линейных систем.

Пространственная фильтрация оценивается с помощью пространственных и пространственно-частотных характеристик.

Эта методика линейных преобразований в пространственной и пространственно-частотной областях, содержащая такие понятия, как импульсное воздействие (вместо точечного источника), импульсный отклик (вместо изображения точечного источника), **может быть обобщена** на системы с узкими и широкими мононаправленными пучками.

В частности, такие пучки возникают в задачах для функций влияния при анизотропно отражающих поверхностях.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 62 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

Home Page

Title Page

Contents



Page 63 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 63.

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ПЕРЕДАТОЧНОГО ОПЕРАТОРА

Будем рассматривать *атмосферный канал* как элемент *оптической системы переноса излучения* и **сформулируем теорию (оптического) передаточного оператора**, используя **математический аппарат линейно-системного подхода**.

This is Slide No. 64.

Объективные характеристики:

- *функция размытия точки (ФРТ),*
- *оптическая передаточная функция (ОПФ),*
- *частотно-контрастная характеристика (ЧКХ),*
- *функция передачи модуляции (ФПМ),*
- *импульсно-переходная функция (ИПФ),*
- *функция рассеяния системы (ФР),*
- *пространственно-частотная характеристика (ПЧХ) и другие характеристики качества изображения, воспроизводящих и передающих оптических, оптико-электронных, фотографических, кинематографических, телевизионных, радиотехнических, управляющих и прочих систем естественным путем **переносятся на область теории переноса излучения в оптически-активных средах.***

Home Page

Title Page

Contents



Page 64 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 65.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассматривается задача переноса излучения в рассеивающем, поглощающем и излучающем горизонтально-однородном плоском слое, неограниченном в горизонтальном направлении ($-\infty < x, y < \infty$, $r_{\perp} = (x, y)$) и конечном по высоте ($0 \leq z \leq h$), трехмерного евклидова пространства: радиус-вектор $r = (x, y, z)$.

Для удобства записи граничных условий вводим множества

$$t = \{z, r_{\perp}, s : z = 0, s \in \Omega^+\}, \quad b = \{z, r_{\perp}, s : z = h, s \in \Omega^-\}.$$

This is Slide No. 66.

Интенсивность (энергетическая яркость) излучения $\Phi(r, s)$ в САП находится как решение общей краевой задачи (ОКЗ при $\hat{R} \neq 0$) теории переноса

$$\begin{aligned} & \cos \vartheta \frac{\partial \Phi}{\partial z} + \sin \vartheta \cos \varphi \frac{\partial \Phi}{\partial x} + \sin \vartheta \sin \varphi \frac{\partial \Phi}{\partial y} + \sigma(z) \Phi(x, y, z, \vartheta, \varphi) = \\ & = \sigma_s(z) \int_0^{2\pi} d\varphi' \int_0^\pi \gamma(z, \vartheta, \varphi; \vartheta', \varphi') \Phi(x, y, z, \vartheta', \varphi') \sin \vartheta' d\vartheta' + F^{in}(z, \vartheta, \varphi), \end{aligned}$$

$$\Phi(x, y, z = 0, \vartheta, \varphi) |_t = F^0(x, y, \vartheta, \varphi),$$

$$\Phi(x, y, z = h, \vartheta, \varphi) |_b = F^h(x, y, \vartheta, \varphi) +$$

$$+ \varepsilon \int_0^{2\pi} d\varphi^+ \int_0^{\pi/2} q(x, y, \vartheta, \varphi; \vartheta^+, \varphi^+) \Phi(x, y, h, \vartheta^+, \varphi^+) \sin \vartheta^+ d\vartheta^+.$$

Home Page

Title Page

Contents

◀◀ ▶▶

◀ ▶

Page 66 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 67.

Эту **общую краевую задачу** запишем в компактной форме

$$\hat{K}\Phi = F^{in}, \quad \Phi|_t = F^0, \quad \Phi|_b = \varepsilon\hat{R}\Phi + F^h \quad (5)$$

с **линейными операторами: оператор переноса**

$$\hat{D} \equiv (s, grad) + \sigma(z) = \hat{D}_z + (s_\perp, \frac{\partial}{\partial r_\perp}), \quad \hat{D}_z \equiv \mu \frac{\partial}{\partial z} + \sigma(z);$$

интеграл столкновений, описываемый оператором

$$\hat{S}\Phi \equiv \sigma_s(z) \int_{\Omega} \gamma(z, s, s') \Phi(z, r_\perp, s') ds', \quad ds' = d\mu' d\varphi', \quad \hat{S}(1) \leq 1;$$

This is Slide No. 68.

оператор отражения

$$[\hat{R}\Phi](h, r_{\perp}, s) \equiv \int_{\Omega^+} q(r_{\perp}, s, s^+) \Phi(h, r_{\perp}, s^+) ds^+ \quad (6)$$

является равномерно ограниченным оператором:
 $\hat{R}(1) = q^*(r_{\perp}, s) \leq 1$; интегродифференциальный оператор $\hat{K} \equiv \hat{D} - \hat{S}$; одномерный оператор $\hat{K}_z \equiv \hat{D}_z - \hat{S}$.

This is Slide No. 69.

Краевая задача (5) линейная и ее решение можно искать в виде суперпозиции

$$\Phi = \Phi_a + \Phi_q .$$

Фоновое излучение атмосферы Φ_a определяется как решение первой краевой задачи теории переноса (ПКЗ) с "вакуумными" граничными условиями

$$\hat{K}\Phi_a = F^{in}, \quad \Phi_a|_t = F^0, \quad \Phi_a|_b = F^h \quad (7)$$

для слоя с прозрачными или абсолютно черными (неотражающими) границами ($\hat{R} \equiv 0$).

This is Slide No. 70.

Задача для подсветки Φ_q , обусловленной влиянием отражающей подстилающей поверхности, — это **общая краевая задача**

$$\hat{K}\Phi_q = 0, \quad \Phi_q|_t = 0, \quad \Phi_q|_b = \varepsilon\hat{R}\Phi_q + \varepsilon E, \quad (8)$$

где источник $E(r_\perp, s) \equiv \hat{R}\Phi_a$ — яркость (освещенность, облученность) подложки, создаваемая фоновым излучением.

Общая краевая задача (5) для плоского слоя — это математическая идеализация переноса излучения в рассеивающих, поглощающих, излучающих средах, достаточно адекватно описывающая реальные радиационные процессы в САП.

Home Page

Title Page

Contents

◀◀ ▶▶

◀ ▶

Page 70 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

БАЗОВЫЕ МОДЕЛИ ФУНКЦИЙ ВЛИЯНИЯ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ ПЕРЕНОСА

Первая краевая задача

$$\hat{K}\Phi = 0, \quad \Phi|_t = 0, \quad \Phi|_b = f(s^h; r_\perp, s) \quad (9)$$

отвечает линейной системе переноса излучения и ее **обобщенное решение представляется в виде линейного функционала** — *интеграла суперпозиции*

$$\Phi(s^h; z, r_\perp, s) = \hat{P}(f) \equiv (\Theta, f) \equiv$$

$$\equiv \frac{1}{2\pi} \int_{\Omega^-} ds_h^- \int_{-\infty}^{\infty} \Theta(s_h^-; z, r_\perp - r'_\perp, s) f(s^h; r'_\perp, s_h^-) dr'_\perp. \quad (10)$$

This is Slide No. 72.

Ядром функционала (10) является функция влияния $\Theta(s_h^-; z, r_\perp, s)$ — решение первой краевой задачи

$$\hat{K}\Theta = 0, \quad \Theta|_t = 0, \quad \Theta|_b = f_\delta(s_h^-; r_\perp, s) \quad (11)$$

с параметром $s_h^- \in \Omega^-$ и источником

$$f_\delta(s_h^-; r_\perp, s) = \delta(r_\perp)\delta(s - s_h^-).$$

Функция влияния Θ фактически описывает поле излучения в слое с неотражающими границами, создаваемое за счет процессов многократного рассеяния стационарного узкого пучка с направлением s_h^- , источник которого расположен на границе $z = h$ в центре системы горизонтальных координат x, y .

Home Page

Title Page

Contents



Page 72 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

Если источник $f(r_{\perp})$ — изотропный по углам и горизонтально-неоднородный по пространственным координатам, то решение ПКЗ (9) находится через линейный функционал — интеграл суперпозиции, который является интегралом свертки:

$$\Phi(z, r_{\perp}, s) = \hat{P}_r(f) \equiv (\Theta_r, f) \equiv \int_{-\infty}^{\infty} \Theta_r(z, r_{\perp} - r'_{\perp}, s) f(r'_{\perp}) dr'_{\perp} \quad (12)$$

с ядром — функцией влияния

$$\Theta_r(z, r_{\perp}, s) = \frac{1}{2\pi} \int_{\Omega^-} \Theta(s_h^-; z, r_{\perp}, s) ds_h^-, \quad (13)$$

которая совпадает с широко распространенной функцией размытия точки (ФРТ) и удовлетворяет первой краевой задаче

$$\hat{K}\Theta_r = 0, \quad \Theta_r|_t = 0, \quad \Theta_r|_b = \delta(r_{\perp}). \quad (14)$$

This is Slide No. 74.

ПЕРЕДАТОЧНЫЙ ОПЕРАТОР

На основе общей теории регулярных возмущений с помощью параметрического ряда

$$\Phi_q(s^h; z, r_\perp, s) = \sum_{k=1}^{\infty} \varepsilon^k \Phi_k$$

ОКЗ (8) сводится к системе рекуррентных ПКЗ типа (9)

$$\hat{K}\Phi_k = 0, \quad \Phi_k|_t = 0, \quad \Phi_k|_b = E_k \quad (15)$$

с источниками $E_k = \hat{R}\Phi_{k-1}$ для $k \geq 2$, $E_1 = E$.

This is Slide No. 75.

Вводится операция, описывающая взаимодействие излучения с границей через функцию влияния Θ :

$$\begin{aligned} [\hat{G}f](s^h; h, r_{\perp}, s) &\equiv \hat{R}(\Theta, f) = \int_{\Omega^+} q(r_{\perp}, s, s^+) (\Theta, f) ds^+ = \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_{\Omega^-} ds^{-'} \int_{-\infty}^{\infty} f(s^h; r'_{\perp}, s^{-'}) dr'_{\perp} \times \\ &\times \int_{\Omega^+} q(r_{\perp}, s, s^+) \Theta(s^{-'}; h, r_{\perp} - r'_{\perp}, s^+) ds^+. \end{aligned}$$

Решения системы ПКЗ (15) находятся как линейные функционалы:

$$\Phi_1(z, r_{\perp}, s) = (\Theta, E),$$

$$\Phi_k(z, r_{\perp}, s) = (\Theta, \hat{R}\Phi_{k-1}) = (\Theta, \hat{G}^{k-1}E).$$

Home Page

Title Page

Contents

◀◀ ▶▶

◀ ▶

Page 75 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

Асимптотически точное решение ОКЗ (8) получается в форме линейного функционала (10) — (оптического) передаточного оператора

$$\Phi_q = (\Theta, Y), \quad (16)$$

где "сценарий" (оптического) изображения или яркость подстилающей поверхности

$$Y \equiv \sum_{k=0}^{\infty} \hat{G}^k E = \sum_{k=0}^{\infty} \hat{R}\Phi_k, \quad \hat{R}\Phi_0 = E, \quad (17)$$

есть сумма ряда Неймана по кратности отражения излучения от подложки с учетом многократного рассеяния в среде через функцию влияния.

This is Slide No. 77.

"Сценарий" удовлетворяет уравнению Фредгольма II-рода

$$Y = \hat{R}(\Theta, Y) + E, \quad (18)$$

которое называют *уравнением "приземной фотографии"*.

Суммарное излучение САП и "*космическая фотография*" описываются линейным функционалом

$$\Phi = \Phi_a + (\Theta, Y). \quad (19)$$

Home Page

Title Page

Contents

◀◀ ▶▶

◀ ▶

Page 77 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 78.

Разные схемы реализации передаточного оператора и структурирования суммарного поля радиации САП (19) отличаются либо **способами представления** "сценария" (17) либо **методами решения** уравнения (18).

В рамках строгой теории ОПО метод ФВ и ПЧХ **обобщен** на задачи с учетом **поляризации** и для **двухсредных систем** переноса (атмосфера-океан, атмосфера-облачность, атмосфера-гидрометеоры, атмосфера-растительный покров) с внутренней границей раздела, а также **горизонтально-неоднородной атмосферы** и **гетерогенных систем** с разными радиационными режимами в разных подобластях.

Home Page

Title Page

Contents



Page 78 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 79.

Сферическая модель

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 79 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 80.

Рассматривается задача переноса излучения в системе "атмосфера–земная поверхность (суша, океан)" в приближении сферической оболочки, на которую падает параллельный солнечный поток.

Нас интересует проблема расчета радиационного поля Земли в масштабах всей планеты (при всех условиях освещения, горизонт, сумерки, область сумерек и тени, полярные регионы и т.д.).

Полное решение $\Phi_\lambda(\mathbf{r}, \mathbf{s})$ в точке $A(\mathbf{r})$ с радиус-вектором \mathbf{r} в направлении \mathbf{s} находится как **решение общей краевой задачи (ОКЗ) теории переноса — линеаризованного приближения уравнения Больцмана при бинарных столкновениях:**

$$K\Phi = F^{in}, \quad \Phi|_t = F^t, \quad \Phi|_b = \varepsilon R\Phi + F^b; \quad K \equiv D - S$$

Home Page

Title Page

Contents



Page 80 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit



This is Slide No. 81.

Оператор переноса

$$D \equiv (\mathbf{s}, \text{grad}) + \sigma_{tot}(\mathbf{r}),$$

$$\begin{aligned} & (\mathbf{s}, \nabla\Phi) = \\ & = \cos \vartheta \frac{\partial\Phi}{\partial r} + \frac{\sin \vartheta \cos \varphi}{r} \frac{\partial\Phi}{\partial \psi} - \frac{\sin \vartheta}{r} \frac{\partial\Phi}{\partial \vartheta} + \\ & + \frac{\sin \vartheta \sin \varphi}{r \sin \psi} \frac{\partial\Phi}{\partial \eta} - \frac{\sin \vartheta \sin \varphi \text{ctg } \psi}{r} \frac{\partial\Phi}{\partial \varphi}; \end{aligned}$$

This is Slide No. 82.

интеграл столкновений — функция источника

$$B(\mathbf{r}, \mathbf{s}) \equiv S\Phi =$$

$$= \sigma_{sc}(\mathbf{r}) \int_{\Omega} \gamma(\mathbf{r}, \mathbf{s}, \mathbf{s}') \Phi(\mathbf{r}, \mathbf{s}') ds', \quad ds' = \sin \vartheta' d\vartheta' d\varphi';$$

оператор отражения — интеграл

$$[R\Phi](\mathbf{r}_b, \mathbf{s}) = \int_{\Omega^-} q(\mathbf{r}_b, \mathbf{s}, \mathbf{s}^-) \Phi(\mathbf{r}_b, \mathbf{s}^-) ds^-, \quad \mathbf{s} \in \Omega^+.$$

This is Slide No. 83.

С первых шагов разработка информационно-математического обеспечения космических проектов проводилась на самых мощных в те времена ЭВМ. При этом один расчет радиационного поля Земли на БЭСМ-6 занимал около 300 часов. В современных условиях такие задачи эффективно реализуются на многопроцессорных высокопроизводительных компьютерах.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 83 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 84.

Используются следующие приемы распараллеливания вычислений:

1) распределенные вычисления по физическим моделям:

- многоспектральные (по длине волны);
- по оптико-геофизической погоде (по коэффициентам обшей краевой задачи);
- по источникам излучения;

Home Page

Title Page

Contents



Page 84 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 85.

2) распределенные вычисления на основе методического распараллеливания – декомпозиции краевых задач:

- по моделям переноса излучения, т.е. по приближениям теории переноса излучения;
- по подобластям;
- по параметрам вектора функций влияния;
- по параметрам вектора пространственно-частотных характеристик;
- по компонентам векторных функционалов;

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 85 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 86.

3) алгоритмическое распараллеливание для многомерных моделей:

- однократное рассеяние по характеристикам;
- многократное рассеяние по интегралам столкновений;
- по квадрантам угловых разностных сеток;
- по подобластям с разными сеточно-характеристическими схемами.

Home Page

Title Page

Contents



Page 86 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 87.

Разработанные авторами метод функций влияния и теория передаточного оператора обладают удивительными свойствами распараллеливания вычислений и построения новых алгоритмов декомпозиции.

Методом функций влияния и передаточного оператора исходную задачу с областью определения решения большой размерности и большим размером разностной сетки фазового пространства задачи можно факторизовать на ряд более простых малоразмерных подзадач, определенных на подобластях и разностных сетках меньшей размерности.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 87 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 88.

ОСНОВЫ информационно-математической системы моделирования радиационных характеристик переноса излучения

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 88 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

Создаваемая информационно-математическая модель носит универсальный характер и имеет широкую область применимости, в частности, для решения научно-фундаментальных и прикладных задач, связанных с проблемами глобальных изменений окружающей среды, климата Земли, изучения механизмов истощения озонового слоя, динамики биопродуктивности Мирового океана, прогнозирования, мониторинга и оценки последствий ряда техногенных и природных аварий и катастроф, развития методов и средств дистанционного зондирования атмосферы, водоемов, земной поверхности для экологического мониторинга наземными и аэрокосмическими комплексами, условий видения, освещения и радиационного (в том числе, спектрально-радиационного) баланса планеты, солнечной энергетики, солнечно-земных связей, глобальных циклов кислорода, углерода, азота и радиационной фото-химии атмосферы с учетом газовых и аэрозольных примесей природного и антропогенного происхождения, загрязнения ("мусора") космоса и верхней атмосферы, воздействия электромагнитного излучения на состояние и здоровье человека и т.д.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 89 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

Вычислительные средства для решения задач дистанционного зондирования:

- физико-математические модели оптических свойств среды;
- физико-математические модели процесса трансформации излучения в системе "атмосфера-Земля";
- алгоритмы численного и полуаналитического решения краевых задач теории переноса;
- физико-математические модели обратных задач дистанционного зондирования;
- алгоритмы численного и аналитического решения обратных задач;
- математическое обеспечение, ориентированное на решение прямых и обратных задач дистанционного зондирования и контроля окружающей среды;
- дисплейные системы тематической обработки изображений и результатов измерений.

Home Page

Title Page

Contents



Page 90 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 91.

Основные составные части математического обеспечения:

— банки данных по оптико-метеорологическим моделям атмосферы и земной поверхности;

— система автоматизированного расчета спектрально-энергетических и других радиационных характеристик атмосферы и Земли в различных диапазонах спектра от УФ до ММВ;

— банки данных радиационных характеристик (функции влияния локальных возмущений параметров или источников в атмосфере, дымах, облаках, гидрометеорах, океане и на земной поверхности, пространственно-угловые и спектральные распределения яркости системы "Земля-атмосфера", функции пропускания и сферическое альbedo атмосферы и т.д.);

— пакеты программ обработки и диагностики результатов численного эксперимента и аэрокосмических данных.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 91 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 92.

Библиотека программ численного решения краевых задач теории переноса излучения в рассеивающих, поглощающих и излучающих средах (атмосфера, океан, облачность, дымы, гидрометеоры, водные бассейны) составляется из набора программ на Fortran, каждая из которых позволяет рассчитывать радиационные характеристики при заданных модели и методике (краевая задача теории переноса, геометрия, численный метод и т.д.) в определенном диапазоне длин волн.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 92 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 93.

С учетом источников и процессов трансформации излучения выделяются четыре основные физико-математические модели, отвечающие следующим спектральным диапазонам:

— оптический диапазон (источник - Солнце, многократное рассеяние);

— ближний ИК-диапазон (источники - Солнце и собственное излучение, многократное рассеяние);

— ИК-диапазон (источник - собственное излучение, без многократного рассеяния, сложная структура спектров поглощения);

— ММВ диапазон (источник - собственное радиоизлучение, многократное рассеяние в гидрометеорах и облаках, сложные спектры поглощения).

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 93 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 94.

Программные комплексы создаваемой системы автоматизированного расчета, обработки и анализа радиационных характеристик Земли и решения задач дистанционного зондирования разрабатываются на многопроцессорных супер-ЭВМ с параллельными вычислениями под управлением через сеть с "рабочего места", организованного на РС. Создаваемая система содержит три группы программных комплексов.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 94 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 95.

Первая группа программ - формирование оптико-метеорологических моделей среды: программы работы с архивом и базами данных моделей атмосферы, облаков, дымов, земной поверхности, океана; банк спектров поглощения атмосферных газов; банк характеристик аэрозольного рассеяния и поглощения; формирование модели атмосферы; пакеты данных к программам расчета радиационных характеристик и т.д.

Home Page

Title Page

Contents



Page 95 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 96.

Вторая группа программ – численное решение скалярного уравнения переноса излучения быстрыми приближенными и репрезентативными высокоточными методами: для плоской и сферической геометрии, для системы свободная атмосфера–дымовая завеса, для системы атмосфера–океан, для системы атмосфера с многоярусными облаками, для функции влияния атмосферы, дымов, облачности, гидрометеоров, океана, для функции пропускания атмосферы, отягощенной многократным рассеянием, и т.д.

Home Page

Title Page

Contents



Page 96 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 97 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 97.

Третья группа программ - обработка и диагностика результатов расчетов: аналитическая аппроксимация и параметризация табличных функций; компьютерная графика и визуализация; решение обратных задач по восстановлению параметров среды и т.д.

This is Slide No. 98.

Предложенная архитектура программного обеспечения с функциональным наполнением, ориентированным на решение задач мониторинга развития и оценки последствий воздействия техногенных аварий и природных катастроф, а также природно-ресурсных, экологических, геоэкоинформационных и т.п. задач, позволяет осуществлять модификацию и адаптацию вычислительно-информационной системы применительно к конкретным проблемам математического моделирования радиационных процессов в системе Земля-атмосфера или восстановления набора параметров зондируемой среды.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 98 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 99.

В настоящее время, в отличие от момента начала работ в 60-е годы, благодаря активному развитию теоретических и экспериментальных исследований по проблемам светорассеяния, а также систем космических наблюдений мы располагаем достаточно достоверными данными

- о тонкой структуре полос поглощения водяного пара и газовых компонент атмосферы и способах учета этих данных для математического моделирования радиационного переноса в поглощающей реальной атмосфере;
- о коэффициентах и индикатрисах рассеяния атмосферы с учетом аэрозольных примесей;
- об отражающих свойствах естественных поверхностей;
- о географических, сезонных, суточных распределениях, вариациях и статистических характеристиках влажности, давления, температуры, концентраций газовых и аэрозольных компонент и облачности, имеющих случайный характер и играющих основную роль в изменчивости радиационного поля Земли.

Home Page

Title Page

Contents



Page 99 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

Каждая из этих моделей описывается совокупностью оптико-метеорологических (геофизических) характеристик атмосферы, облаков, подстилающей поверхности, которые являются входными физическими данными для уравнения переноса (через коэффициенты, граничные условия, источники). Степень близости расчетных полей яркости САЗ к реальным определяется, с одной стороны, адекватностью входных параметров фактическим, с другой стороны, — математической идеализацией процесса переноса излучения, реализованной в модели, методе, расчетном алгоритме.

За основу принято численное решение краевой задачи для стационарного уравнения переноса монохроматического или квазимонохроматического излучения в рассеивающей, поглощающей, излучающей сферической атмосфере (сферической оболочке) сложной пространственной структуры, ограниченной неоднородной отражающей подстилающей поверхностью, роль которой могут играть земная поверхность (суша, океан), верхняя граница облачности или гидрометеоров (осадки).

Home Page

Title Page

Contents



Page 100 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 101.

Разработаны специальные эффективные приемы решения задач с неразрешенными спектрами и учетом селективного и континуального поглощения атмосферными газами при расчете многократного рассеяния. Еще в 1967–1968 годах был предложен и реализован метод подгрупп, когда функция пропускания аппроксимируется суммой экспонент с эффективными коэффициентами поглощения и весами подгрупп. Эффективность метода подгрупп была подтверждена прямыми сравнениями расчетов, проведенных методом подгрупп и методом Монте-Карло с учетом исходной функции пропускания. Позже и по настоящее время такой же прием широко используется за рубежом.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 101 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 102.

Вычислительная среда

Цель разработки обеспечить максимально возможную переносимость "унаследованного" комплекса программ и обеспечить прозрачную работу в распределенной сетевой среде. Комплекс должен без значительных переделок работать на кластере рабочих станций (workstation clusters) и/или массиве параллельных процессоров (massively parallel processor (ММР)). Параллелизм реализуется в системе массовых расчетов большого набора краевых задач теории переноса излучения в широком диапазоне спектра длин волн для наборов "оптической погоды", состояний подстилающей поверхности, источников излучения.

Home Page

Title Page

Contents



Page 102 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 103.

Результаты единичных расчетов накапливаются в архивах решений, которые переформируются в управляемые базы данных и используются в дальнейшем для расчета различных функционалов и для визуальной и графической обработки в интересах конкретных целевых приложений. Программы (вычислительные модули) для расчета "единичного" варианта реализованы на языке Fortran. Существенно, что в процессе счета варианта и при записи в архив решений используются операторы прямого доступа Fortran.

Реализация функции управления и сетевого взаимодействия "унаследованным" комплексом программ производится с помощью оболочек (wrapper's), написанных на языке описания сценариев Perl. Другими словами, производится упаковка Fortran-программ внутрь модулей на языке Perl (Perl scripts).

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 103 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 104.

ГЕТЕРОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕНОСА ИЗЛУЧЕНИЯ

В рамках теории передаточного оператора и метода функций влияния разработан оригинальный универсальный математический аппарат для моделирования переноса оптического излучения с учетом многократного рассеяния и поглощения в многослойных неоднородных гетерогенных природных и искусственных системах с существенно различными радиационными режимами в отдельных областях системы.

Гетерогенной является система "свободная атмосфера - многоярусная слоистая облачность - приземный слой атмосферы - океан" или система "мезосфера - стратосфера - тропосферные многоярусные слоистые облака - шлейфы дымов или выбросов загрязнений - земная поверхность".

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 104 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 105.

Подход основан на построении обобщенных решений в форме матричных функционалов, ядрами которых являются векторы функций влияния отдельных слоев системы.

В свою очередь, функции влияния рассчитываются по аналитическим формулам или численными методами (например, итерационным методом характеристик с процедурами учета сильной анизотропии рассеяния и ускорения сходимости итераций) как решения первых краевых задач для интегродифференциальных кинетических уравнений или их модификаций.

Рассмотрим простейшую одномерную плоскую систему, состоящую из M слоев.

Home Page

Title Page

Contents



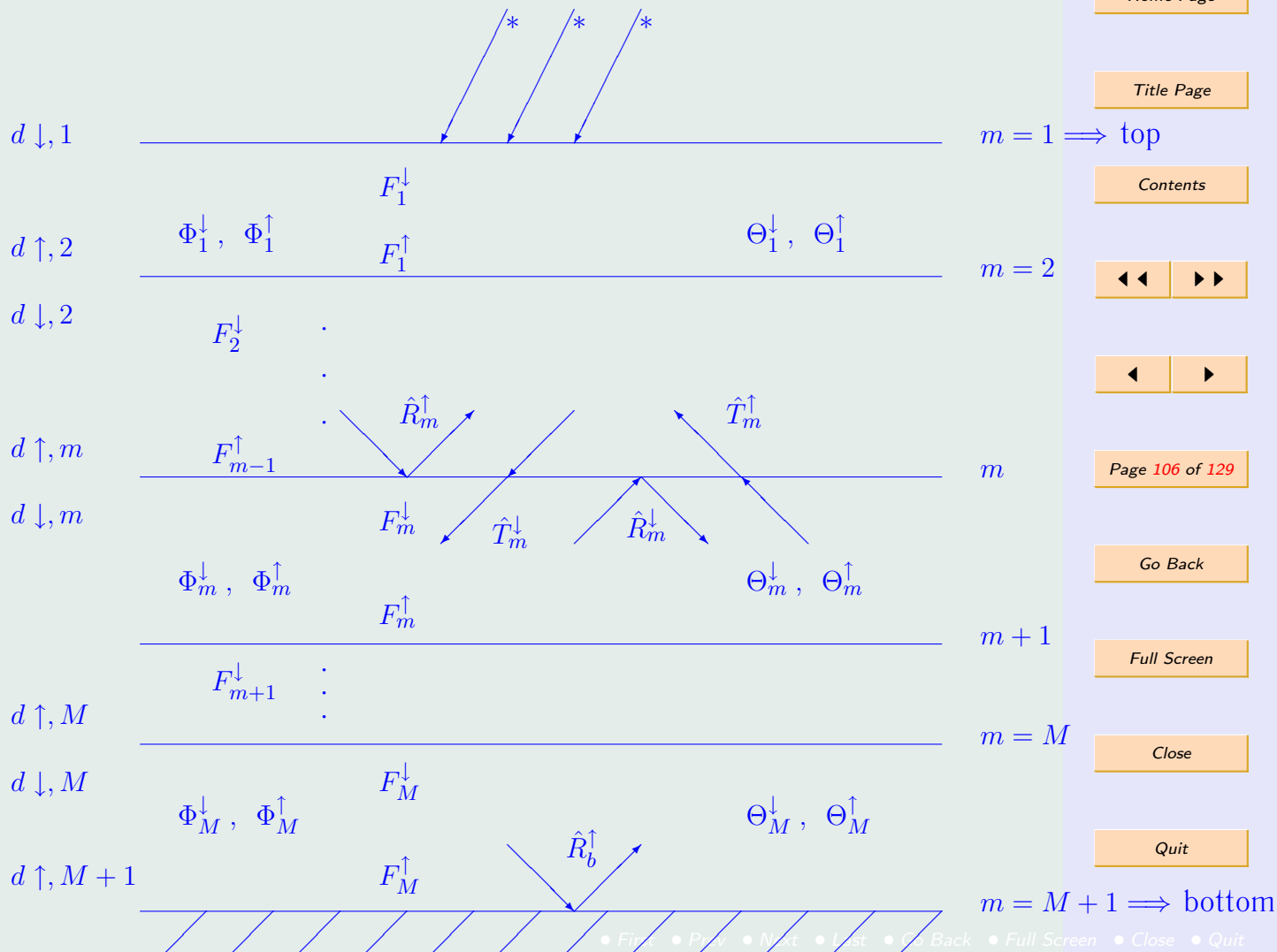
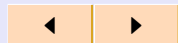
Page 105 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit



This is Slide No. 107.

Вводятся следующие множества для определения интенсивности излучения $\Phi(z, s)$ в направлении s в любой точке z системы переноса, состоящей из M слоев:

$$s = (\mu, \varphi),$$
$$\mu = \cos \vartheta, \quad \mu \in [-1, 1] \text{ — косинус зенитного угла,}$$
$$\varphi \in [0, 2\pi] \text{ — азимутальный угол,}$$

$s \in \Omega = \Omega^+ \cup \Omega^-$ — единичная сфера — множество всех направлений распространения излучения;

$\Omega^+ = \{s^+ = (\mu^+, \varphi) : \mu^+ \in (0, 1], \varphi \in [0, 2\pi]\}$ — полу-сфера направлений нисходящего излучения;

$\Omega^- = \{s^- = (\mu^-, \varphi) : \mu^- \in [-1, 0), \varphi \in [0, 2\pi]\}$ — полу-сфера направлений восходящего излучения;

Home Page

Title Page

Contents



Page 107 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 108.

аналогично вводятся множества

$$\Omega = \Omega^\downarrow \cup \Omega^\uparrow,$$

$$\mu^\downarrow = \cos \vartheta^\downarrow, \quad \vartheta^\downarrow \in [0, \pi/2),$$

$$\mu^\uparrow = \cos \vartheta^\uparrow, \quad \vartheta^\uparrow \in (\pi/2, \pi];$$

$\Omega^\downarrow = \{s^\downarrow = (\mu^\downarrow, \varphi) : \mu^\downarrow \in (0, 1], \varphi \in [0, 2\pi]\}$ — полу-сфера направлений нисходящего излучения;

$\Omega^\uparrow = \{s^\uparrow = (\mu^\uparrow, \varphi) : \mu^\uparrow \in [-1, 0), \varphi \in [0, 2\pi]\}$ — полу-сфера направлений восходящего излучения;

Home Page

Title Page

Contents



Page 108 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 109.

пространственная координата $z \in [0, H]$, где H — толщина системы из M слоев;

h_m , $m = 1 \div M+1$, $h_m < h_{m+1}$, $h_1 = 0$, $h_{M+1} = H$,
— границы слоев,

$m = 1 \div M$ — номер слоя,

$m = 2 \div M$ — номера для внутренних границ раздела слоев;

множества для описания краевых условий:

$$d \downarrow, m = \{z, s : z = h_m, s \in \Omega^\downarrow\};$$

$$d \uparrow, m = \{z, s : z = h_m, s \in \Omega^\uparrow\}.$$

Home Page

Title Page

Contents



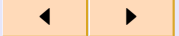
Page 109 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit



This is Slide No. 110.

Краевая задача для многослойной гетерогенной системы

$$\hat{K}\Phi = F^{in}, \quad \Phi|_{t\downarrow} = F_t^\downarrow, \quad \Phi|_{b\uparrow} = \hat{R}_b^\uparrow\Phi + F_b^\uparrow,$$

на границах слоев для $m = 2 \div M$ имеют место краевые условия

$$\Phi|_{d\uparrow,m} = \varepsilon(\hat{R}_m^\uparrow\Phi + \hat{T}_m^\uparrow\Phi) + F_{m-1}^\uparrow,$$

$$\Phi|_{d\downarrow,m} = \varepsilon(\hat{R}_m^\downarrow\Phi + \hat{T}_m^\downarrow\Phi) + F_m^\downarrow;$$

для внешних границ системы

$$F_1^\downarrow = F_t^\downarrow; \quad F_M^\uparrow = F_b^\uparrow; \quad d_{\downarrow,1} = t_{\downarrow}; \quad d_{\uparrow,M+1} = b_{\uparrow};$$

This is Slide No. 111.

Интегродифференциальный оператор $\hat{K} \equiv \hat{D} - \hat{S}$;

линейные операторы: оператор переноса

$$\hat{D} \equiv \mu \frac{\partial}{\partial z} + \sigma_{tot}(z) ;$$

интеграл столкновений

$$\hat{S} \equiv \sigma_{sc}(z) \int_{\Omega} \gamma(z, s, s') \Phi(z, s') ds' , \quad ds' = d\mu' d\varphi' .$$

$\sigma_{tot}(z)$ и $\sigma_{sc}(z)$ — вертикальные профили коэффициентов ослабления и рассеяния; $\gamma(z, s, s')$ — индикатрисы рассеяния.



This is Slide No. 112.

Операторы отражения \hat{R}_m^\uparrow , \hat{R}_m^\downarrow и пропускания \hat{T}_m^\uparrow , \hat{T}_m^\downarrow

определяются через индикатрисы рассеяния сред по следующим правилам:

$$[\hat{R}_m^\uparrow(\gamma_{m-1}^\uparrow)f_{m-1}^\downarrow](h_m, s_{m-1}^-) = \int_{\Omega^+} f_{m-1}^\downarrow(h_m, s_{m-1}^+) \gamma_{m-1}^\uparrow(h_m, s_{m-1}^+, s_{m-1}^-) ds_{m-1}^+;$$

$$[\hat{T}_m^\downarrow(\gamma_m^\downarrow)f_{m-1}^\downarrow](h_m, s_m^+) = \int_{\Omega^+} f_{m-1}^\downarrow(h_m, s_{m-1}^+) \gamma_m^\downarrow(h_m, s_{m-1}^+, s_m^+) ds_{m-1}^+;$$

$$[\hat{T}_m^\uparrow(\gamma_{m-1}^\uparrow)f_m^\uparrow](h_m, s_{m-1}^-) = \int_{\Omega^-} f_m^\uparrow(h_m, s_m^-) \gamma_{m-1}^\uparrow(h_m, s_m^-, s_{m-1}^-) ds_m^-;$$

$$[\hat{R}_m^\downarrow(\gamma_m^\downarrow)f_m^\uparrow](h_m, s_m^+) = \int_{\Omega^-} f_m^\uparrow(h_m, s_m^-) \gamma_m^\downarrow(h_m, s_m^-, s_m^+) ds_m^-.$$



This is Slide No. 113.

Решение ищем в виде ряда регулярных возмущений

$$\Phi = \sum_{n=0}^{\infty} \varepsilon^n \Phi^{(n)}$$

Вводим алгебраические векторы с размерностью $2M$:
полное решение

$$\Phi = \{ \Phi_1^\downarrow, \Phi_1^\uparrow, \Phi_2^\downarrow, \Phi_2^\uparrow, \dots, \Phi_m^\downarrow, \Phi_m^\uparrow, \dots, \Phi_M^\downarrow, \Phi_M^\uparrow \};$$

n -приближение решения

$$\Phi^{(n)} = \{ \Phi_1^{\downarrow(n)}, \Phi_1^{\uparrow(n)}, \Phi_2^{\downarrow(n)}, \Phi_2^{\uparrow(n)}, \dots, \Phi_m^{\downarrow(n)}, \Phi_m^{\uparrow(n)}, \dots, \Phi_M^{\downarrow(n)}, \Phi_M^{\uparrow(n)} \};$$

This is Slide No. 114.

источники в n -приближении

$$\mathbf{F}^{(n)} = \{F_1^{\downarrow(n)}, F_1^{\uparrow(n)}, F_2^{\downarrow(n)}, F_2^{\uparrow(n)}, \dots, F_m^{\downarrow(n)}, F_m^{\uparrow(n)}, \dots, F_M^{\downarrow(n)}, F_M^{\uparrow(n)}\};$$

функции влияния слоев

$$\Theta = \{\Theta_1^{\downarrow}, \Theta_1^{\uparrow}, \Theta_2^{\downarrow}, \Theta_2^{\uparrow}, \dots, \Theta_m^{\downarrow}, \Theta_m^{\uparrow}, \dots, \Theta_M^{\downarrow}, \Theta_M^{\uparrow}\};$$

начальное приближение источников

$$\mathbf{E} = \{E_1^{\downarrow}, E_1^{\uparrow}, E_2^{\downarrow}, E_2^{\uparrow}, \dots, E_m^{\downarrow}, E_m^{\uparrow}, \dots, E_M^{\downarrow}, E_M^{\uparrow}\};$$

"сценарий" на границах

$$\mathbf{Z} = \{Z_1^{\downarrow}, Z_1^{\uparrow}, Z_2^{\downarrow}, Z_2^{\uparrow}, \dots, Z_m^{\downarrow}, Z_m^{\uparrow}, \dots, Z_M^{\downarrow}, Z_M^{\uparrow}\}.$$

This is Slide No. 115.

Расщепление исходной задачи на $2M$ задач со своими граничными условиями.

Нулевое приближение — излучение от источников без обмена излучением между слоями:

$$m = 1 \div M$$

$$\hat{K}\Phi_m^{\downarrow(0)} = F_m^{\downarrow in}, \quad \Phi_m^{\downarrow(0)}|_{d\downarrow,m} = F_m^{\downarrow}, \quad \Phi_m^{\downarrow(0)}|_{d\uparrow,m+1} = 0;$$

$$\hat{K}\Phi_m^{\uparrow(0)} = F_m^{\uparrow in}, \quad \Phi_m^{\uparrow(0)}|_{d\downarrow,m} = 0, \quad \Phi_m^{\uparrow(0)}|_{d\uparrow,m+1} = F_m^{\uparrow}.$$



This is Slide No. 116.

Приближения $n \geq 1$ — система $2M$ уравнений:

$$m = 1 \div M$$

$$\hat{K}\Phi_m^{\downarrow(n)} = 0, \quad \Phi_m^{\downarrow(n)}|_{d\downarrow,m} = F_m^{\downarrow(n-1)}, \quad \Phi_m^{\downarrow(n)}|_{d\uparrow,m+1} = 0;$$

$$\hat{K}\Phi_m^{\uparrow(n)} = 0, \quad \Phi_m^{\uparrow(n)}|_{d\downarrow,m} = 0, \quad \Phi_m^{\uparrow(n)}|_{d\uparrow,m+1} = F_m^{\uparrow(n-1)}$$

с источниками

$$F_1^{\downarrow(n)} = 0; \quad F_M^{\uparrow(n)} = \hat{R}_b^{\uparrow}\Phi_M^{\downarrow(n)} + \hat{R}_b^{\uparrow}\Phi_M^{\uparrow(n)};$$

$$F_m^{\downarrow(n)} = \hat{T}_m^{\downarrow}\Phi_{m-1}^{\downarrow(n)} + \hat{T}_m^{\downarrow}\Phi_{m-1}^{\uparrow(n)} + \hat{R}_m^{\downarrow}\Phi_m^{\downarrow(n)} + \hat{R}_m^{\downarrow}\Phi_m^{\uparrow(n)};$$

$$F_m^{\uparrow(n)} = \hat{R}_{m+1}^{\uparrow}\Phi_m^{\downarrow(n)} + \hat{R}_{m+1}^{\uparrow}\Phi_m^{\uparrow(n)} + \hat{T}_{m+1}^{\uparrow}\Phi_{m+1}^{\downarrow(n)} + \hat{T}_{m+1}^{\uparrow}\Phi_{m+1}^{\uparrow(n)}.$$



This is Slide No. 117.

Решения находятся в виде линейных функционалов для каждого из слоев с $m = 1 \div M$:

$$\Phi_m^{\downarrow(n)} = (\Theta_m^{\downarrow}, F_m^{\downarrow(n-1)}) ; \quad \Phi_m^{\uparrow(n)} = (\Theta_m^{\uparrow}, F_m^{\uparrow(n-1)}) .$$

Ядра функционалов — функции влияния слоев $m = 1 \div M$ определяются из краевых задач

$$\hat{K}\Theta_m^{\downarrow} = 0, \quad \Theta_m^{\downarrow} |_{d_{\downarrow,m}} = f_{\delta,m}^{\downarrow}, \quad \Theta_m^{\downarrow} |_{d_{\uparrow,m+1}} = 0 ; \quad f_{\delta,m}^{\downarrow} = \delta(s - s_m^{\downarrow})$$

$$\hat{K}\Theta_m^{\uparrow} = 0, \quad \Theta_m^{\uparrow} |_{d_{\downarrow,m}} = 0, \quad \Theta_m^{\uparrow} |_{d_{\uparrow,m+1}} = f_{\delta,m}^{\uparrow} ; \quad f_{\delta,m}^{\uparrow} = \delta(s - s_m^{\uparrow}).$$



This is Slide No. 118.

Компоненты векторного линейного функционала для $z \in [h_m, h_m + 1]$

$$(\Theta_m^\downarrow, f_m^\downarrow)(z, s) = \int_{\Omega^+} \Theta_m^\downarrow(s_m^\downarrow; z, s) f_m^\downarrow(h_m, s_m^\downarrow) ds_m^\downarrow;$$

$$(\Theta_m^\uparrow, f_m^\uparrow)(z, s) = \int_{\Omega^-} \Theta_m^\uparrow(s_m^\uparrow; z, s) f_m^\uparrow(h_{m+1}, s_m^\uparrow) ds_m^\uparrow;$$

$f_m^\downarrow(h_m, s_m^\downarrow)$ — источник излучения на границе $z = h_m$ при $s_m^\downarrow \in \Omega^\downarrow$;

$f_m^\uparrow(h_{m+1}, s_m^\uparrow)$ — источник излучения на границе $z = h_{m+1}$ при $s_m^\uparrow \in \Omega^\uparrow$.

This is Slide No. 119.

В векторной форме n -приближение решения — это векторный линейный функционал

$$\Phi^{(n)} = (\Theta, \mathbf{F}^{(n-1)}) .$$

Источник в $(n - 1)$ -приближении

$$\mathbf{F}^{(n-1)} = \hat{P}\Phi^{(n-1)} .$$

Два последовательных n -приближения связаны рекуррентным соотношением

$$\Phi^{(n)} = (\Theta, \hat{P}\Phi^{(n-1)}) = (\Theta, \hat{G}^{n-1}\mathbf{E}) ,$$

где \mathbf{E} — начальное приближение.

This is Slide No. 120.

Асимптотически точное решение получается в форме векторного линейного функционала — оптического передаточного оператора:

$$\Phi = (\Theta, \mathbf{Z}) .$$

"Сценарий" — вектор \mathbf{Z} распределений яркостей на границах

$$\mathbf{Z} \equiv \hat{Z}\mathbf{E} \equiv \sum_{n=0}^{\infty} \hat{G}^n \mathbf{E} = \sum_{n=0}^{\infty} \hat{P} \Phi^{(n)}$$

это сумма ряда Неймана по кратности прохождения излучения через границы с учетом вклада многократного рассеяния и поглощения в каждом слое с помощью функций влияния отдельных слоев.

Home Page

Title Page

Contents

◀◀ ▶▶

◀ ▶

Page 120 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 121.

Матрица ленточного типа с характеристиками отражения и пропуска границ

$$\hat{P} =$$

i,j	1	2	3	4	5	6	7	...	$2M$
1	0	0	0	0	0	0	0	...	0
2	\hat{R}_2^\uparrow	\hat{R}_2^\uparrow	\hat{T}_2^\uparrow	\hat{T}_2^\uparrow	0	0	0	...	0
3	\hat{R}_2^\downarrow	\hat{R}_2^\downarrow	\hat{T}_2^\downarrow	\hat{T}_2^\downarrow	0	0	0	...	0
4	0	0	\hat{R}_3^\uparrow	\hat{R}_3^\uparrow	\hat{T}_3^\uparrow	\hat{T}_3^\uparrow	0	...	0
5	0	0	\hat{R}_3^\downarrow	\hat{R}_3^\downarrow	\hat{T}_3^\downarrow	\hat{T}_3^\downarrow	0	...	0

...



This is Slide No. 122.

i,j	1	...	$2(m-2)$	$2(m-1)-1$	$2(m-1)$	$2m-1$	$2m$	$2(m+1)-1$	$2(m+1)$	$2(m+2)-1$...	$2M$
$2(m-1)$	0	...	0	\hat{R}_m^\uparrow	\hat{R}_m^\uparrow	\hat{T}_m^\uparrow	\hat{T}_m^\uparrow	0	0	0	...	0
$2m-1$	0	...	0	\hat{R}_m^\downarrow	\hat{R}_m^\downarrow	\hat{T}_m^\downarrow	\hat{T}_m^\downarrow	0	0	0	...	0
$2m$	0	...	0	0	0	\hat{R}_{m+1}^\uparrow	\hat{R}_{m+1}^\uparrow	\hat{T}_{m+1}^\uparrow	\hat{T}_{m+1}^\uparrow	0	...	0
$2(m+1)-1$	0	...	0	0	0	\hat{R}_{m+1}^\downarrow	\hat{R}_{m+1}^\downarrow	\hat{T}_{m+1}^\downarrow	\hat{T}_{m+1}^\downarrow	0	...	0



This is Slide No. 123.

i,j	1	...	$2(M-3)$	$2(M-2)-1$	$2(M-2)$	$2(M-1)-1$	$2(M-1)$	$2M-1$	$2M$
$2(M-2)$	0	...	0	\hat{R}_{M-1}^{\uparrow}	\hat{R}_{M-1}^{\uparrow}	\hat{T}_{M-1}^{\uparrow}	\hat{T}_{M-1}^{\uparrow}	0	0
$2(M-1)-1$	0	...	0	$\hat{R}_{M-1}^{\downarrow}$	$\hat{R}_{M-1}^{\downarrow}$	$\hat{T}_{M-1}^{\downarrow}$	$\hat{T}_{M-1}^{\downarrow}$	0	0
$2(M-1)$	0	...	0	0	0	\hat{R}_M^{\uparrow}	\hat{R}_M^{\uparrow}	\hat{T}_M^{\uparrow}	\hat{T}_M^{\uparrow}
$2M-1$	0	...	0	0	0	\hat{R}_M^{\downarrow}	\hat{R}_M^{\downarrow}	\hat{T}_M^{\downarrow}	\hat{T}_M^{\downarrow}
$2M$	0	...	0	0	0	0	0	\hat{R}_b^{\uparrow}	\hat{R}_b^{\uparrow}

This is Slide No. 124.

Компоненты матрицы

$m = 1, i = 1$ — первая строка: $P_{1,j} = 0, j = 1 \div 2M$;

$m = 1 \div M - 1, i = 2m, i = 2 \div 2M$ — четные строки:

$$P_{2m,j} = \begin{cases} 0, & j = 1 \div 2(m-1) \\ \hat{R}_{m+1}^{\uparrow}, & j = 2(m-1) + 1, 2(m-1) + 2 \\ \hat{T}_{m+1}^{\uparrow}, & j = 2(m-1) + 3, 2(m-1) + 4 \\ 0, & j = 2(m-1) + 5 \div 2M ; \end{cases}$$

Home Page

Title Page

Contents



Page 124 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

This is Slide No. 125.

$m = 2 \div M$, $i = 2m - 1$, $i = 3 \div 2M - 1$ — нечетные строки:

$$P_{2m-1,j} = \begin{cases} 0, & j = 1 \div 2(m-1) \\ \hat{T}_m^\downarrow, & j = 2(m-1) + 1, \quad 2(m-1) + 2 \\ \hat{R}_m^\downarrow, & j = 2(m-1) + 3, \quad 2(m-1) + 4 \\ 0, & j = 2(m-1) + 5 \div 2M; \end{cases}$$

$m = M$, $i = 2M$ — последняя строка:

$$P_{2M,j} = \begin{cases} 0, & j = 1 \div 2(M-1) \\ \hat{R}_M^\uparrow, & j = 2M - 1, \quad 2M. \end{cases}$$

Home Page

Title Page

Contents



Page 125 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

Матрично-векторная операция, описывающая один акт взаимодействия излучения с границами и учитывающая многократное рассеяние в слоях через функции влияния:

$$\hat{G}\mathbf{F} = \hat{P}(\Theta, \mathbf{F}) = \begin{bmatrix} 0 \\ \hat{R}_2^\uparrow(\Theta_1^\downarrow, F_1^\downarrow) + \hat{R}_2^\uparrow(\Theta_1^\uparrow, F_1^\uparrow) + \hat{T}_2^\uparrow(\Theta_2^\downarrow, F_2^\downarrow) + \hat{T}_2^\uparrow(\Theta_2^\uparrow, F_2^\uparrow) \\ \vdots \\ \hat{T}_m^\downarrow(\Theta_{m-1}^\downarrow, F_{m-1}^\downarrow) + \hat{T}_m^\downarrow(\Theta_{m-1}^\uparrow, F_{m-1}^\uparrow) + \hat{R}_m^\downarrow(\Theta_m^\downarrow, F_m^\downarrow) + \hat{R}_m^\downarrow(\Theta_m^\uparrow, F_m^\uparrow) \\ \hat{R}_{m+1}^\uparrow(\Theta_m^\downarrow, F_m^\downarrow) + \hat{R}_{m+1}^\uparrow(\Theta_m^\uparrow, F_m^\uparrow) + \hat{T}_{m+1}^\uparrow(\Theta_{m+1}^\downarrow, F_{m+1}^\downarrow) + \hat{T}_{m+1}^\uparrow(\Theta_{m+1}^\uparrow, F_{m+1}^\uparrow) \\ \vdots \\ \hat{T}_M^\downarrow(\Theta_{M-1}^\downarrow, F_{M-1}^\downarrow) + \hat{T}_M^\downarrow(\Theta_{M-1}^\uparrow, F_{M-1}^\uparrow) + \hat{R}_M^\downarrow(\Theta_M^\downarrow, F_M^\downarrow) + \hat{R}_M^\downarrow(\Theta_M^\uparrow, F_M^\uparrow) \\ \hat{R}_b^\uparrow(\Theta_M^\downarrow, F_M^\downarrow) + \hat{R}_b^\uparrow(\Theta_M^\uparrow, F_M^\uparrow) \end{bmatrix}$$

Home Page

Title Page

Contents



Page 126 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit

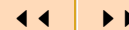
This is Slide No. 127.

Разработан алгоритм параллельных вычислений угловых и пространственных распределений излучения внутри системы и на ее границах на многопроцессорных компьютерах. Предложены средства автоматизации расчетов и обработки результатов на языке управления сценариями.

[Home Page](#)

[Title Page](#)

[Contents](#)



Page 127 of 129

[Go Back](#)

[Full Screen](#)

[Close](#)

[Quit](#)

This is Slide No. 128.

НУЖНЫ АКТИВНЫЕ ТВОРЧЕСКИЕ МОЛОДЫЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ, которые могли бы продолжить ОБЩЕЕ БОЛЬШОЕ ДЕЛО, начало которому положили советские гражданские и военные ученые, конструкторы, инженеры и техники, весь советский народ!

**БЛАГОДАРЮ
ЗА ВНИМАНИЕ
THANK YOU
FOR ATTENTION**

**Ждем вас на научном
сайте Института Келдыша
www.keldysh.ru**

Home Page

Title Page

Contents



Page 129 of 129

Go Back

Full Screen

Close

Quit