

---

## Вступительное слово руководителей проекта

---

Представляемая российскому читателю книга является результатом сотрудничества между Всероссийским научно-исследовательским институтом автоматики (ВНИИА, РФ), Ливерморской национальной лабораторией им. Лоуренса (ЛЛНЛ, США) и Лос-Аламосской национальной лабораторией (ЛАНЛ, США) по изданию русскоязычной версии книги “Passive Nondestructive Assay of Nuclear Materials” (известной как PANDA), осуществляемого при поддержке Отдела международного сотрудничества в области защиты, контроля и учета ядерных материалов Министерства энергетики США.

Приказом Министерства РФ по атомной энергии ВНИИА была поручена поддержка аппаратного обеспечения СЗУиК ЯМ на предприятиях Минатома. С 1995 г. ВНИИА сотрудничает с ЛЛНЛ и ЛАНЛ в области гамма-спектрометрических измерений высокого разрешения, активных и пассивных измерений нейтронных совпадений плутония и урана для СЗУиК. В процессе этого сотрудничества мы осознали, что для внедрения и устойчивости работы всех систем СЗУиК очень важно использовать российское приборное обеспечение. В 1998 г. по программе СЗУиК был инициирован ряд проектов по долгосрочной эксплуатации оборудования и методов измерений СЗУиК на предприятиях Минатома. Одной из задач этих проектов является помощь в развитии инфраструктуры для обеспечения и поддержки оборудования СУиК в России. Эта помощь включает предоставление документации и информации о современных методиках и оборудовании СУиК на русском языке. В рамках этой программы и был инициирован перевод книги.

Англоязычное издание было подготовлено в 1991 г. коллективом признанных американских специалистов под руководством Научно-технической группы ЛАНЛ по гарантиям на основании контракта с Комиссией США по ядерному регулированию (КЯР) и выпущено в серии отчетов Комиссии под номером NUREG/CR-5550. Редакторами издания были Хэйстингс Смит, Норберт Энслин и Дуглас Райлли. Монография логичным образом завершила комплекс работ, проводимых учеными США и Европы в области контроля ядерных материалов с сохранением их целостности и структуры. Центральной идеей такого контроля является отсутствие вмешательства в измеряемый образец и, насколько это возможно, в технологический процесс. Монография описывает международный, национальный и, одновременно, неинтрузивный подход к обеспечению контроля, учета и, следовательно, нераспространения ядерных материалов. Она призна-

на классической энциклопедией по измерениям характеристик ядерных материалов и используется в качестве соответствующего справочного пособия для англоязычных специалистов на предприятиях ядерного топливного цикла. Мы надеемся, что эта книга станет справочником также и для специалистов российских институтов, предприятий, а также для разработчиков и поставщиков приборного обеспечения СЗУиК ЯМ.

Российские специалисты ознакомились с книгой в 1993 г. Выяснилось, что аналогичной русскоязычной энциклопедии нет. Поэтому в 1994-1995 гг. группа специалистов ВНИИА выполнила рабочий перевод книги, который использовался в первую очередь для обучения. Рукопись была передана в УМЦУК (ФЭИ) и ВНИИЭФ. Она обладала рядом существенных недостатков: местами неадекватный перевод, плохой стиль изложения, отсутствие единой терминологии, отсутствие единого редактирования. В то же время стало очевидно, что необходимо более широкое распространение русскоязычного варианта книги среди специалистов стран СНГ. Руководители программы СЗУиК ЯМ ВНИИА неоднократно обсуждали с менеджерами ЛАНЛ и ЛЛНЛ проект перевода книги PANDA. И наконец, в 1999 г. благодаря усилиям Вэйна Рютера (ЛЛНЛ) была получена поддержка Министерства энергетики США в рамках программы СЗУиК ЯМ, а ЛАНЛ получил у КЯР разрешение на подготовку российской версии книги во ВНИИА, и в сентябре 1999 г. начались совместные работы ВНИИА, ЛЛНЛ и ЛАНЛ по проекту.

Эта книга является результатом восьмимесячных усилий ВНИИА по кропотливой подготовке российской версии PANDA для специалистов ядерных предприятий России и стран СНГ. Много времени было затрачено на новый перевод книги. Проведено многократное редактирование и исправление текста. Здесь необходимо отметить усилия независимых экспертов из ФЭИ Валерия Буланенко, Владимира Фролова и Андрея Можяева. Они были не только рецензентами, но и весьма требовательными и конструктивными научными редакторами.

Большую роль сыграла Галина Балацкая (ЛАНЛ), которая помогала установить взаимоднозначное соответствие между русскими и американскими терминами и аббревиатурами.

Кроме того, Хэйстингс Смит сделал казалось бы невозможное — взаимодействовал с более чем 10-ю авторами монографии и обеспечил издательство подлинниками фотографий, схем и графиков. Это позволило обеспечить практически одинаковое качество российского и американского изданий книги.

При подготовке российского издания книги ставилось несколько основных целей:

- обеспечить качественный перевод на русский язык;
- обеспечить преемственность и однозначное соответствие русских и американских терминов;
- поддержать внедрение и эксплуатацию систем СЗУ и КЯМ, установленных в рамках сотрудничества РФ и США.

Надеемся, что наш труд будет способствовать распространению книги "Пассивный неразрушающий анализ ядерных материалов" и она еще много лет будет настольной у специалистов по СЗУиК ЯМ в России и странах СНГ.

*Вступительное слово руководителей проекта*

---

В заключении, мы хотели бы особо поблагодарить Наталью Мошкину и Игоря Сазонова (ВНИИА), которые вложили много сил, времени, знаний и энтузиазма в подготовку издания.

Заранее благодарим читателей за все критические и конструктивные замечания по русскому переводу книги.

*Вэйн Рутер  
Хэйстингс Смит, мл.  
Андрей Свиридов*

---

## От рецензента русского издания

---

Предлагаемая читателю в русском переводе книга написана коллективом американских авторов, в основном из Лос-Аламосской лаборатории, и содержит подробное описание неразрушающих ядерно-физических методов пассивного анализа концентраций и масс ядерных материалов на основе обогащенного урана и плутония, а также методов контроля сохранности ядерных материалов внутри периметра ядерного объекта, где они перерабатываются, используются или хранятся. Книга имеет прямое отношение к решению проблемы нераспространения ядерного оружия и ядерных материалов. Данная проблема продолжает быть актуальной во всем мире, включая и Россию, обладающую крупномасштабной атомной промышленностью. В настоящее время количество ядерных материалов в так называемой "балк"-форме возрастает в связи с конверсией оружейных ядерных материалов при снятии с эксплуатации ядерных установок и, как следствие, образованием новых отходов, содержащих уран или плутоний. В этом плане материалы книги очень актуальны для российских специалистов в области ядерных технологий и обеспечения их безопасности.

Прежде всего отметим, что основное достоинство книги — ее *фундаментальность*, т.е. глубокое рассмотрение естественных процессов и явлений, исходных для понимания методов анализа и проектирования соответствующих средств измерений.

В книге использованы несколько сотен источников информации в виде статей, докладов, монографий, опубликованных преимущественно американскими авторами в 1970-80 годах. В этом плане книга отражает ситуацию в области неразрушающего анализа урана и плутония к началу 90-х годов, когда установки контроля стали применять в атомной промышленности многих стран мира, чему постоянно содействует МАГАТЭ.

Пассивные методы неразрушающего анализа урана и плутония *впервые* представлены в *одном* издании, в котором систематизированы результаты многолетних исследований, начиная с 50-х годов. *Полнота* их представления определила значительный объем книги (23 главы, 700 страниц текста). Несмотря на то, что она написана большим коллективом специалистов, ее содержание и построение характеризуются логикой и единством изложения, присущим монографиям. В известной мере книгу можно сравнить с широко распространенными в России учебниками для ВУЗов по основам экспериментальных методов ядерной физики с тем, однако, отличием, что в книге даются многочисленные примеры их применения в атомной промышленности.

Помимо научного интереса и своего значения как учебного руководства для студентов и преподавателей данная книга станет и справочным пособием для широкого круга лиц, непосредственно занятых решением вопросов контроля и учета

ядерных материалов. Следует далее отметить, что представленные в книге методы измерений в принципе аналогичны тем, которые используются в учете и контроле любых радиоактивных веществ. Это обстоятельство существенно расширяет круг ее читателей.

В книге представлены пассивные неразрушающие методы анализа урана и плутония по проникающим излучениям, к которым относятся гамма- и рентгеновское излучения (одна группа методов) и нейтронное излучение (вторая группа). В практике контроля и учета ЯМ используют не только пассивные, но и активные методы, называемые так в связи с применением радиоактивных источников для возбуждения аналитического излучения. Активные методы из-за своей сложности менее распространены в производстве ЯМ. Некоторые из них также представлены в данной книге.

Представляемая книга полностью посвящена методам неразрушающего анализа ядерных материалов, что делает ее энциклопедией по данному аналитическому направлению. Это и было основной целью авторского коллектива. Не умаляя ее достоинств отметим, что базовым аналитическим направлением в контроле и учете ядерных материалов являются методы разрушающего анализа, прежде всего как более точные и более чувствительные. Выполняя эту роль, разрушающие методы также используются для изготовления стандартных образцов ЯМ, необходимых для неразрушающих методов. Полезные знания о методах разрушающего анализа читатель может получить из российских публикаций.

В книге значительное место уделено техническим средствам реализации методов НРА. Эти средства всегда будут предметом технического прогресса: новые поколения приборов, новые программы и средства вычислительной техники и др. Вполне предсказуемо ожидать, что основные достижения в этой области будут связаны с получением и обработкой значительно большего, чем сейчас, объема информации о контролируемом ядерном материале.

В книге представлены некоторые электронные схемы (например, сдвиговый регистр, дискриминатор по форме импульсов), которые являются частью методических решений и останутся таковыми независимо от новых поколений приборов.

При переводе и редактировании столь фундаментальной и объемной книги специалистам ВНИИА удалось достигнуть приемлемого соответствия между оригиналом и переводом в описаниях физических процессов, сохранить американский стиль изложения (краткость грамматических форм, терминология и др.), а также учесть особенности изложения аналогичных материалов в российских изданиях.

Издание книги в России является особенно важным из-за огромного инвентарного количества ядерных материалов, учет и контроль которых должен отвечать современным требованиям по точности и надежности. Она адресована специалистам предприятий Минатома России, преподавателям и студентам ВУЗов и институтов повышения квалификации. Для всех лиц, интересующихся проблемой контроля урана и плутония в ядерных технологиях и обеспечения их ядерной и радиационной безопасности, данная книга станет руководством на многие годы.

Доктор технических наук  
*В. В. Фролов*

---

## Предисловие к русскому изданию

---

Как известно, в России в последнее время много внимания уделяется проблеме совершенствования системы учета и контроля ядерных материалов, которая состоит из нескольких основных задач: информационной поддержки; обеспечения нормативной документацией; создания, совершенствования и внедрения методик измерений и контроля; создания и обеспечения аппаратурой для измерений и контроля ядерных материалов; обучения персонала современным методам работы.

В связи с этим возникла потребность в справочных материалах, обобщающих мировой опыт в этой области. Представляемая русскоязычному читателю книга, входящая в так называемую "черную серию" книг Комиссии США по ядерному регулированию (серия получила такое неофициальное название из-за цвета обложки книг), является таким справочным пособием практически почти по всем из вышеперечисленных вопросов. В эту серию вошли: книга Ц. Гозани по активному неразрушающему анализу ядерных материалов [1], справочник по методам измерений для обеспечения ядерных гарантий под редакцией Д. Р. Роджерса [2], справочник по статистическим методам в управлении ядерными материалами под редакцией В. М. Боуэна и К. А. Боннета [3] и, наконец, представляемая монография по пассивному неразрушающему анализу ядерных материалов под редакцией Д. Райлли, Н. Энслина, Х Смита и С. Крайнер [4].

Рецензенты перевода этой книги и руководители проекта уже высказались о ее значении и полезности для специалистов России и стран СНГ, поэтому мы не будем повторять эти рассуждения. Следует только отметить, что за время, прошедшее с момента ее издания на английском языке, приведенная в книге информация не устарела, а описанные методы нашли еще большее практическое подтверждение. Конечно в книге отсутствует описание многих современных приборов. Но такую информацию читатель сможет почерпнуть в каталоге приборов для учета и контроля ядерных материалов [5], второе издание которого в 1999 году подготовлено специалистами ВНИИ автоматики (РФ) и Брукхейвенской национальной лаборатории (США). Следует также использовать ряд изданий, выпущенных в России, дополняющих и уточняющих вопросы, изложенные в монографии. К таким источникам можно отнести работы [6-11].

По-видимому, единственным параметром, по которому книгу можно считать устаревшей, это упоминающиеся вычислительные машины, применявшиеся 10-15 лет назад для обработки результатов измерений. За истекшие годы вычислительная техника настолько продвинулась вперед, что эти разделы представляют только исторический интерес для специалистов, использующих сейчас самые современные и весьма эффективные компьютеризированные устройства для управления процессом анализа ядерных материалов и статистической обработки результатов измерений. Приборное оснащение неразрушающего анализа интенсивно развивалось за эти годы. Методики измерений достаточно отработаны, од-

нако значительно увеличивается автоматизация и развивается миниатюризация приборного оснащения.

Современный читатель в дополнение к представляемой монографии может использовать труды ежегодных конференций Американского института по управлению ядерными материалами (INMM). Весьма также полезны труды ежегодных конференций Европейского общества ESARDA. Много информации можно почерпнуть в материалах Российских международных конференций по УиК ЯМ, в том числе доклады РФЯЦ-ВНИИЭФ, РФЯЦ-ВНИИТФ, ГНЦ РФ-ФЭИ, ГНЦ РФ-ВНИИНМ, ВНИИА и других организаций.

При подготовке перевода книги переводчикам и редакторам пришлось пойти на применение ряда российских терминов, в частности, по статистике, метрологии и т.д. (перевод части терминов, по которым отсутствует устоявшаяся терминология, был оставлен в редакции переводчиков). Это связано с отличием систем стандартов по измерениям в России и США. Существующая в России система нормативных документов (стандартов) по радиационной и ядерной безопасности отличается от принятой в США. Все это заставило нас при поддержке рецензентов и руководителей проекта отказаться от приложений А, В и С, посвященных этим проблемам. Все эти вопросы отражены в действующей нормативной документации, а также в ряде доступных справочников.

По нашему мнению представляемая книга будет весьма полезна специалистам в области защиты, учета и контроля ядерных материалов различных организаций в России и странах СНГ, среди которых:

- предприятия, институты и проектные организации Минатома;
- институты и войсковые части Минобороны;
- судостроительные предприятия и эксплуатирующие организации атомного флота;
- инспекционные службы Минатома, Минобороны и Госатомнадзора;
- институты Миннауки и Российской академии наук;
- технические университеты, готовящие специалистов в области методов контроля ядерных объектов;
- отраслевой учебно-методический центр по учету и контролю ЯМ, а также Центральный институт подготовки кадров Минатома;
- предприятия и институты стран СНГ и Балтии;
- коммерческие фирмы России и стран СНГ, разрабатывающие и производящие аппаратуру и программное обеспечение контроля ядерных материалов.

Выражаем надежду, что эта книга станет первой в серии изданий по учету и контролю ядерных материалов, включающей как переводы зарубежной литературы, так и работы российских авторов.

В заключение хочется отметить всех специалистов, без напряженного труда которых издание книги на русском языке было бы невозможно:

- переводчиков: Бабкину Н. В., Григорьева А. Н., Лим Л. Г., Орлову Г. В., Мошкину Н. В., Савосина Л. Г., Сазонова И.Н., Самарина П.И., Свиридову В. В.;
- научно-технических редакторов: Александрова В. Д., Буланенко В. И., Мошкину Н. В., Воробьева Ю. А., Можяева А. В., Сазонова И.Н., Свиридову В. В., Фролова В. В., Янюшкина В. А.;

- научных рецензентов и редакторов: Буланенко В. И., Можаяева А.В., Фролова В. В. (ФЭИ),
- а также поблагодарить Михайлову Л. С. за помощь в корректуре и Свиридова К. А. (издательство БИНОМ), выполнившего техническую подготовку и верстку книги.

Особенно хочется отметить поддержку американских специалистов: доктора В. Д. Рютера (Ливерморская национальная лаборатория им. Лоуренса), доктора Х. А. Смита, мл. и доктора Г. Балацкую (Лос-Аламосская национальная лаборатория).

Мы будем признательны всем читателям и пользователям этого перевода за присланные в наш адрес замечания и советы.

*Н. В. Мошкина,  
И. Н. Сазонов*

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Active Nondestructive Assay of Nuclear Materials: Principles and Applications / T.Gozani, 1981.
2. Handbook of Nuclear Safeguards Measurement Methods / Donald R.Rogers, 1983.
3. Statistical Methods for Nuclear Management / W.M.Bowen and Carl A.Bonnett, 1988.
4. Passive Nondestructive Assay of Nuclear Materials / Edited by D.Reilly, N.Ensslin, H.Smith, Jr. and S.Kreiner, 1991.
5. Каталог приборов для учета и контроля ядерных материалов / Ред. Л. Неймотин (БНЛ США), В. Свиридова (ВНИИА РФ), изд. 2, доп. — № BNL-65619-99/01-Rev. — 1999.
6. Абрамов А. И., Казанский Ю. А., Матусевич Е. С. Основы экспериментальных методов ядерной физики / Изд. 3, пер. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1985.
7. Волков Н. Г., Христофоров В.А., Ушакова Н.П. Методы ядерной спектрометрии. — М.: Энергоатомиздат, 1990.
8. Григорьев В. А., Колюбин А.А., Логинов В.А. Электронные методы ядерно-физического эксперимента. — М.: Энергоатомиздат, 1988.
9. Крамер-Агеев Е. А., Лавренчик В. Н., Самосадный В. Т., Протасов В. П. Экспериментальные методы нейтронных исследований. — М.: Энергоатомиздат, 1990.
10. Методы химического и радиохимического контроля в ядерной энергетике / Ред. Л. Н. Москвин. — М.: Энергоатомиздат, 1989.
11. Фролов В. В. Ядерно-физические методы контроля делящихся веществ. — М.: Энергоатомиздат, 1988. и др.

---

## Предисловие к американскому изданию

---

Данная книга является справочным пособием по теоретическим основам и применению методов пассивного неразрушающего анализа (НРА). Эта книга является частью четырехтомника по измерениям и контролю ядерных материалов, выпуск которого финансировался Комиссией США по ядерному регулированию (КЯР США). Хотя в этой книге и рассмотрены несколько активных методов НРА, более подробно они описаны в другой книге этой серии, которая составлена Ц. Гозани.

Круг специалистов, на которых рассчитана данная книга, охватывает как новичков в области НРА, так и опытных практиков. Хотя предложение о написании этой книги исходило от КЯР, в Лос-Аламосе желание подготовить книгу подобного рода зрело долгое время. Многие методы анализа ядерных материалов и измерительные приборы, описанные в данной книге, были разработаны в Лос-Аламосе. Мы приветствуем возможность более полного описания всех основных методов анализа в одной книге, так как ее не могут заменить статьи, доклады и другие научные публикации по отдельным вопросам, охваченным в этой книге.

Мы надеемся, что эта книга окажется полезным и долговременным пособием по интересующей потребителей теме пассивного НРА.

Нам хотелось бы выразить глубокую признательность за поддержку Исследовательскому управлению Комиссии США по ядерному регулированию, финансировавшему написание и подготовку этой книги. Нам особенно хотелось бы поблагодарить д-ра Сандру Фраттали из Отделения гарантий за ее терпение и помощь в руководстве и опеке над этим проектом в течение многих лет. Мы хотели также выразить признательность за постоянную поддержку со стороны Управления гарантий и безопасности Министерства энергетики США, под контролем которого были разработаны методы анализа и измерительная аппаратура, описанные в этой книге.

Много людей было привлечено к созданию этой книги. Она действительно стала плодом коллективных усилий, в которых каждый участник играл жизненно важную роль. Большинство участников процесса создания книги представляли Группу анализа гарантий Лос-Аламосской национальной лаборатории, однако существенный вклад в эту работу был также внесен членами Группы передовых ядерных технологий Университета штата Аризона и колледжем города Форт Льюис. Авторы, внесшие свой вклад в создание книги, указаны в отдельных главах. Мы хотели бы выразить признательность за помощь со стороны Уильяма Б. Уилсона (Группа прикладной ядерной науки) в написании главы 11 и Стенлея Симмондса в написании главы 14. Уолт Стром из Маундской лаборатории и Рон

Перри из Аргоннской национальной лаборатории предоставили существенную информацию по главам 21 и 22, посвященным калориметрии.

Эта книга в большой степени испытала благотворное влияние со стороны маститых рецензентов, которые представили авторам свои замечания по корректировкам и предложения по улучшению книги. Нам хотелось поблагодарить следующих рецензентов: Джеймса Кадьюкса, Поля Клоснера и Рэймонда Дьюберри (Вестингхаус Саванна-Ривер Корпорейшн), Джона Флейсснера (завод Рокки Флэтс), Вилли Хигинботема (Брукхейвенская национальная лаборатория), Уильяма Леинга (Ок-Риджская национальная лаборатория) и Самуэля Унтермейера (частный консультант).

Дуглас Райлли, Норберт Энслин и Хэйстингс Смит работали руководителями проекта и главными научно-техническими редакторами, а также авторами нескольких глав. Сара Крайнер была техническим редактором на протяжении длительного периода времени создания этого тома. Большая доля труда, обеспечившего легкость прочтения книги, непосредственно связана с тщательным и кропотливым редактированием со стороны Сары. Любой том такого объема требует большого труда со стороны литературных редакторов. С нами умело работали София Ховард и Селина Ортиз, которые терпеливо мирились со многочисленными изменениями текста. Фотомонтаж и окончательное редактирование были выполнены Джойсом А. Мартинесом из группы поддержки технологии систем и Мартой Ли Деланой из редакционной группы Лос-Аламоса. Всем этим людям мы хотим выразить душевную благодарность.

*Дуглас Райлли,  
Норберт Энслин  
Хэйстингс Смит, мл.*

---

## Введение

---

Термин *неразрушающий анализ* (НРА) используется для ряда методов измерения ядерных топливных материалов. Эти методы измеряют вынужденное или спонтанное излучение, испускаемое ядерным материалом. Такие измерения являются неразрушающими в том смысле, что они не изменяют ни физическое, ни химическое состояние ядерного материала. В некоторых случаях испускаемое излучение является уникальным для исследуемых изотопов, а его интенсивность часто может быть связана с массой изотопов. Другие методы измерений ядерных материалов связаны с отбором пробы материала и ее анализом с помощью процедур разрушающего химического анализа. НРА устраняет необходимость пробоотбора, снижает облучение оператора и выполняется намного быстрее, чем химический анализ. К сожалению, НРА обычно менее точен, чем химический анализ. Разработка методик НРА отражает тенденцию к автоматизации процесса и снижению трудозатрат, которая существует в нашем обществе. Измерения НРА применяются на всех предприятиях топливного цикла для учета материалов, управления технологическим процессом, контроля критичности и мониторинга периметра.

Первоначальным стимулом разработки методик НРА была потребность в принятии повышенных гарантий в отношении ЯМ. Когда организациям, обеспечивающим гарантии, потребовалось большее число измерений ядерных материалов, то стало ясно, что необходимы методы оперативных измерений, которые не изменяли бы состояние изделий из ЯМ. Усилия по их разработке, которые были направлены на удовлетворение этих потребностей, были поддержаны Комиссией США по ядерному регулированию, Министерством энергетики США и Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ). Также методы быстрого неразрушающего анализа (НРА) необходимы инспекторам по гарантиям, которые должны контролировать инвентарные количества ядерных материалов на установках во всем мире.

Методики НРА разделяются на пассивные и активные в зависимости от того, измеряется ли излучение спонтанного распада ядерного материала или излучение, вызванное внешним источником. Эта книга в основном посвящена пассивным методикам НРА, хотя также рассматриваются некоторые активные методы, например, гамма-абсорбциометрия и рентгеновская флюоресценция, тесно связанные с методами пассивного анализа.

Основные методы НРА классифицируются как анализ гамма-излучения, нейтронный анализ и калориметрия. Методы анализа гамма-излучения рассмотрены в главах 1-10. В главах 1-6 рассматриваются основные вопросы, включая природу гамма-излучения, взаимодействие гамма-излучения с веществом, детекторы, измерительную аппаратуру и общие принципы проведения измерений. В

главах 7-10 рассматриваются задачи измерения обогащения урана, изотопного состава плутония, методы плотнометрии и рентгенофлуоресценции.

Методы нейтронного анализа обсуждаются в главах 11-17. В главах 11-13 рассматривается природа нейтронного излучения, взаимодействие нейтронов с веществом и детекторы нейтронов. В главах 14-17 рассматриваются теоретические вопросы и практическое применение методов регистрации полного потока нейтронов и нейтронных совпадений.

Глава 18 описывает анализ облученного ядерного топлива с использованием методов анализа гамма- и нейтронного излучения. В главе 19 рассматриваются высокочувствительные мониторы контроля периметра с детекторами гамма- и нейтронного излучений, которые отслеживают несанкционированное перемещение ядерного материала за границы объекта (установки). Глава 20 посвящена качественным и полуколичественным измерениям, целью которых является быстрая проверка содержимого контейнеров с ядерными материалами при подтверждении результатов физической инвентаризации. В этой главе также рассматриваются вопросы измерения отходов и отложений. В главах 21 и 22 описываются принципы калориметрического анализа и области его применения. Заключительная глава 23 является кратким руководством по применению методов неразрушающего анализа ядерных материалов и предназначена в помощь пользователю книги при подборе аппаратуры в соответствии с задачами контроля.