

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОБЛУЧАТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ИМПУЛЬСНЫХ РЕАКТОРАХ И КРИТСТЕНДАХ

Г. В. Афонина, Г. А. Семёнов, И. Ю. Дроздов, М. А. Иошкина

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Введение

В Институте Ядерной и Радиационной Физики (ИЯРФ) сотрудниками научно-исследовательского отделения ядерно-физических установок проводятся экспериментальные исследования на критсборках и облучательные эксперименты на импульсных ядерных реакторах. За время проведения работ накопился большой объем экспериментальных данных и сопутствующей информации, который продолжает увеличиваться по мере проведения новых экспериментов.

Накопленная за последние 20 лет информация находится в разрозненном и фрагментарном виде (рабочие журналы, отчеты, протоколы, отдельные файлы), она требует систематизации и унифицированной обработки наряду с вновь поступающими данными.

В настоящей работе предложена единая концепция организации данных и выработано решение по разработке программного обеспечения (ПО), предназначенного для обработки и хранения данных, получаемых при проведении облучательных экспериментов на пяти реакторах и двух критстендах института.

Требования к программному обеспечению

Сотрудниками научно исследовательского отделения ядерно-физических установок были предъявлены следующие требования к разрабатываемому ПО:

- открытая, модульная архитектура программы, позволяющая добавлять новые программные модули;
- многопользовательский режим работы;
- основные режимы работы: ввод, корректировка и удаление данных, математические алгоритмы обработки данных;
- вывод информации в текстовом, табличном или графическом видах по установленной форме;
- ПО должно функционировать в системах в защищенном исполнении.

Реализация поставленной задачи

При разработке программного обеспечения были рассмотрены следующие варианты выполнения поставленной задачи:

- использование коммерческого программного продукта;
- использование специализированного ПО разработки ВНИИЭФ;
- разработка нового программного обеспечения.

Коммерческие программные продукты не отвечают всем требованиям к функционалу ПО, который необходим для проведения исследований и испытаний на реакторах и критических стендах ИЯРФ. Наиболее часто используемые программные пакеты это MathCad, Matlab, MATHEMATICA, которые обладают мощным потенциалом математической обработки, являясь во многом специфическими средами программирования. В данных программах невозможно обеспечить гибкий и удобный пользовательский интерфейс и настройки узкоспециализированных алгоритмов.

Второй вариант – это использование программы «КАСКАД-Д». Эта комплексная вычислительная программа для расчета характеристик полей нейтронов по результатам измерений с интегральными детекторами (обобщенная совокупность методов, базирующихся на использовании формы отклика нейтронного детектора для определения формы спектра нейтронов и применения полученного спектрального распределения в прикладных целях).

Программа автономная и использует файловую систему организации хранения данных, что вызывает трудности с анализом информации, возникает избыточность данных или возрастает вероятность потери накопленных данных.

После изучения функционала программы, было принято решение на основе программы «КАСКАД-Д» разработать новое программное обеспечение, которое позволит хранить, систематизировать и использовать математические алгоритмы расчета данных.

Для решения вышеперечисленных задач требуется организация сервера баз данных и клиентских рабочих мест для инженера-исследователя, кроме этого необходимы средства локального доступа к серверу. Разработанное программное обеспечение представляет собой информационную систему – клиент-сервер.

Разработка программного обеспечения проводилась с учетом технических и программных возможностей подразделения – разработчика.

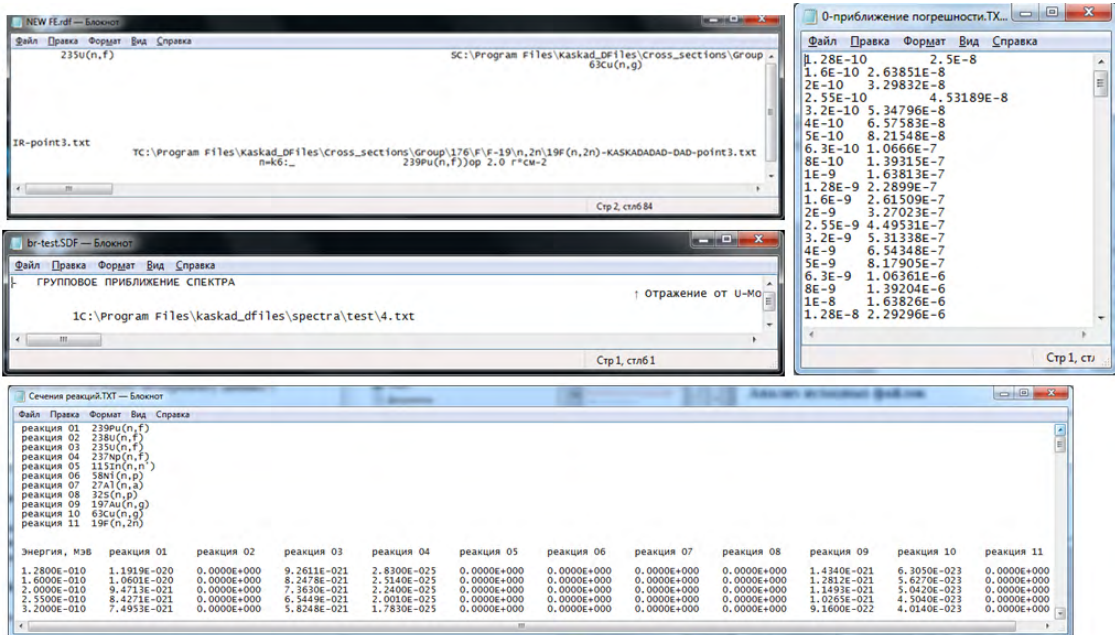


Рис. 1. Различные форматы данных

Анализ исходных данных

Создание базы данных начали с анализа исходных данных и сбора первичной информации.

Было проанализировано множество файлов, в которых в разрозненном виде и в разных форматах хранится информация по экспериментам, проведенным на ядерно-физических установках ИЯРФ, а именно, в файлах *.rdf хранится информация по реакциям, в файлах формата *.sdf по спектрам и в файлах *.txt по сечениям. Данные файлы имеют различную организацию данных (рис. 1).

Для реализации архитектуры клиент-сервер и разработки ядра базы данных (БД) была выбрана система управления базами данных (СУБД) PostgreSQL [2]. Это свободно распространяемая система, СУБД «Postgre Pro» имеет сертификат соответствия по требованиям безопасности информации федеральной службы по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК).

В разработанном программном обеспечении реализован многопользовательский режим работы, обеспечивающий выполнение требований по защите информации от несанкционированного доступа. Организация базы данных и адаптация программного кода программы «КАСКАД-Д» позволили отказаться от файловой системы хранения данных.

На сегодняшний день в БД успешно импортированы все данные, которые были предоставлены научно-исследовательским отделением ядерно-физических установок. Импортированные данные были проверены на контрольных примерах.

Ввод данных по новым экспериментам пользователи осуществляют в БД через пользовательский

интерфейс разработанного программного обеспечения.

Функционирование программы

Клиентская часть разработанного ПО – это программа, состоящая из программных модулей, форм и различных запросов. Разработка клиентской части информационной системы проводилась в среде визуального программирования Borland Delphi 7 [3,4].

При запуске программы пользователю необходимо ввести учетную запись и пароль (рис. 2), после чего программа осуществит проверку учетной записи пользователя.

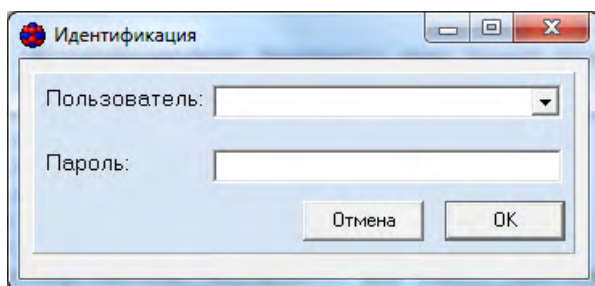


Рис. 2. Диалоговое окно идентификация пользователя

На основном диалоговом окне программы пользователю доступны режимы ввода, корректировки или удаления.

Пользователь может ввести данные по новому эксперименту или работать с информацией уже существующей в системе. В общем представлении данные по эксперименту выведены на основное диалоговое окно программы, как это показано на рис. 3.

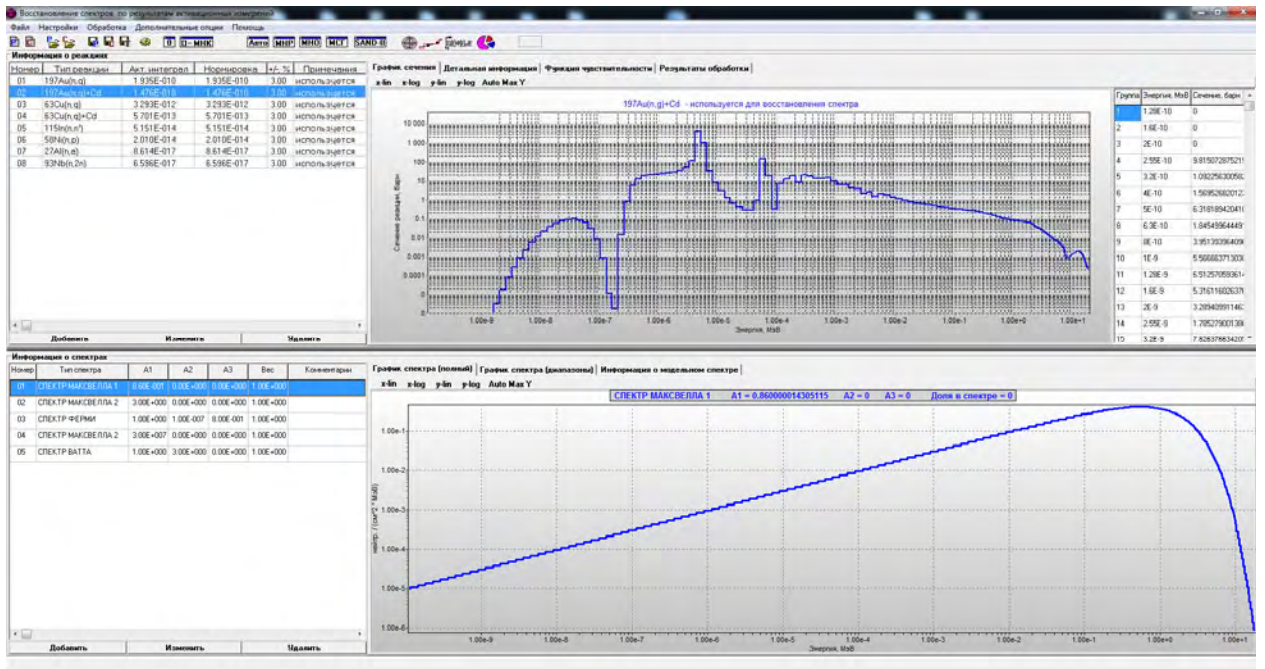


Рис. 3. Основное диалоговое окно программы

Данные в БД можно изменить, удалить, по каждому параметру можно просмотреть детальную информацию: активационный интеграл, погрешность активационного интеграла и т. д.

Экспериментальные данные включают в себя информацию по сечениям используемых реакций активации и спектральному распределению нейтронов, диалоговые окна программы представлены на рис. 4.

Информация по сечениям для изотопов предоставляется в открытом доступе мировыми исследовательскими центрами, такими как, например, Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ).

В программу импортированы сечения из библиотеки IRDF (Международные данные реакторной дозиметрии). В связи с этим в разработанной программе реализован широкий выбор реакций.

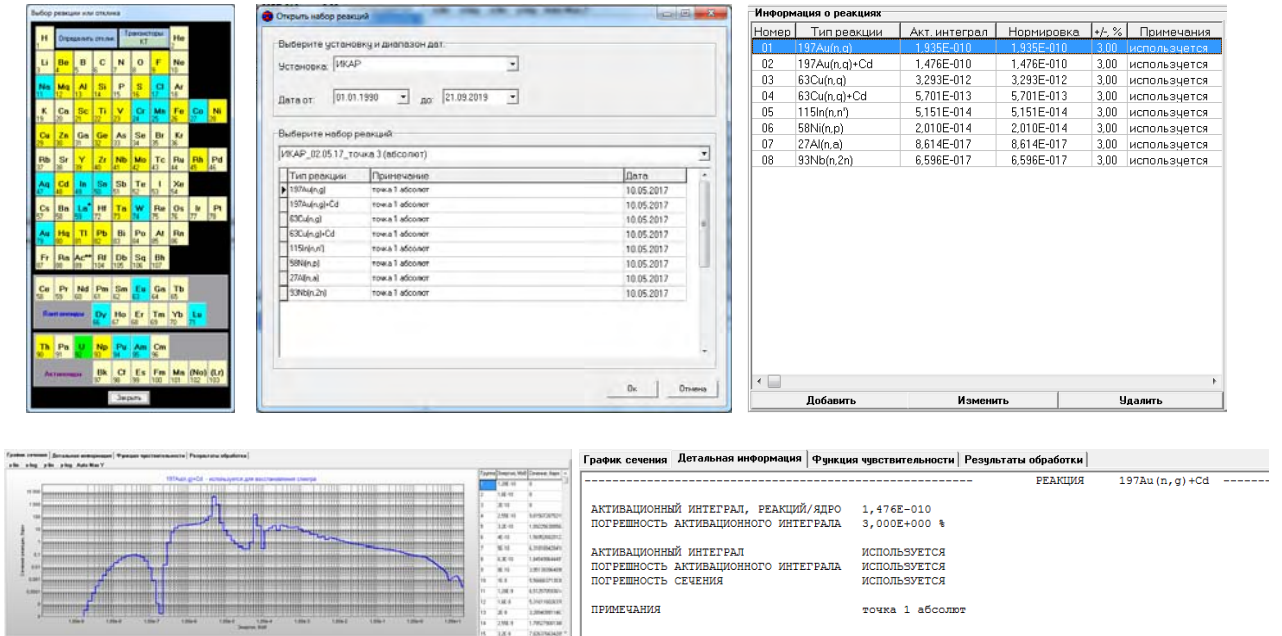


Рис. 4. Диалоговые окна программы «Реакции», «Сечения»

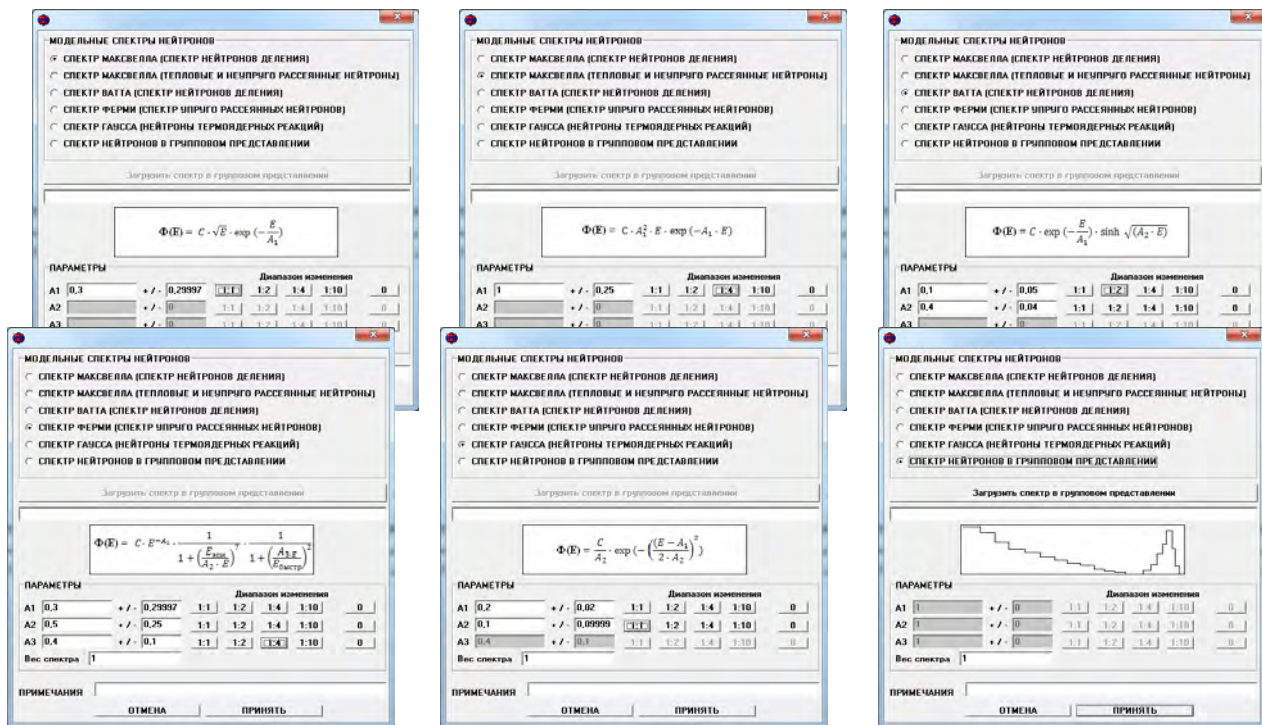


Рис. 5. Диалоговые окна программы «Спектры»

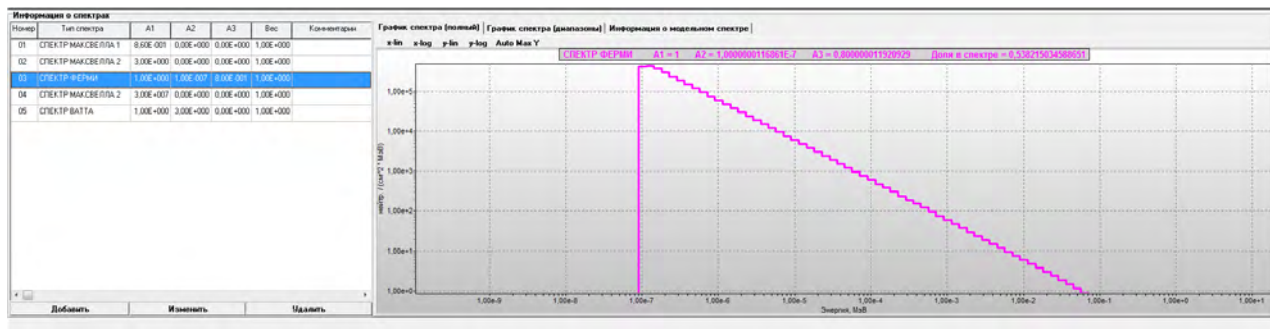


Рис. 6. Диалоговые окна программы «Спектры»

Данные по эксперименту содержат также информацию по спектрам нейтронов. В программе спектры нейтронов описываются аналитическими функциями: распределение Максвелла, спектр Ферми, спектр в виде нормального распределения и распределение Ватта.

При выборе модельного спектра нейтронов пользователю необходимо заполнить поля ввода на диалоговом окне: параметры для решения уравнения и вес спектра; как это реализовано в программе, представлено на рис. 5.

После ввода всей необходимой информации в основном окне программы, при выборе созданного набора по запросу строится график выбранной модельной функции. При необходимости график можно масштабировать (рис. 6).

Обработка данных

Обработка экспериментальных данных включает в себя восстановление нейтронного спектра по набору интегральных откликов активационных детекторов.

В качестве исходных материалов для разработки алгоритмов обработки данных, получаемых на ядерно-физических установках, были предоставлены методологические материалы и описание методов, применяемых для восстановления спектра. Одна из задач при разработке программного обеспечения состояла в алгоритмизации итерационной процедуры восстановления спектров.

Решение поставленной задачи сводится к решению уравнения, описывающего процесс активации.

$$Q_j = \int_{E_0}^{\infty} \varphi(E) \sigma_j(E) dE$$

Q_j – активационный интеграл (экспериментально получаемая величина); j – номер реакции в списке, $\varphi(E)$ – дифференциальный спектр нейтронов, $\text{см}^{-2} \cdot \text{МэВ}$, $\sigma(E)$ – энергетический ход сечения активации (деления), 10^{-24}см^2 , E_0 – выбираемая нижняя граничная энергия нейтронов в спектре.

В этом уравнении интегральный отклик активационного детектора (активационный интеграл) Q_j связывается с искомым флюенсом нейтронов.

Для решения уравнения также требуется информация о виде сечения активации $\sigma_j(E)$.

Далее формируется начальное приближение спектра $\varphi_0(E)$, а затем, с помощью итерационной процедуры уточняется решение $[\varphi_0(E) \rightarrow \varphi(E)]$.

$$\varphi_0(E) = \sum_{j=1}^J H_j \cdot \varphi_j(E)$$

Начальное приближение задается в виде набора аналитических функций (модельных спектров) $\varphi_j(E)$, имеющих собственный вес H_j .

Итерационная процедура вычисления весов модельных спектров осуществляется по средневзвешенному коэффициенту расхождения R_j измерен-

ных и вычисленных на текущей (k -ой) итерации активационных интегралов для каждой реакции.

$$H_i^{k+1} = H_i^k \frac{\sum_{j=1}^J R_j^k \sigma_{j,i} / Q_j^k}{\sum_{j=1}^J \sigma_{j,i} / Q_j^k}$$

Для остановки итерационных процедур предусмотрены два условия:

первое условие: $\text{SPD} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (1 - Q_j / Q_j^k)^2}{n-1}} \leq \text{eps}$

второе условие: превышение заданного числа итераций.

После проведения расчетов по эксперименту, выполняется процедура сохранения полученных данных.

Помимо результатов измерений и данных, необходимых для работы математических алгоритмов программы, с конкретным экспериментом связана сопутствующая информация: наименование, дата проведения, установка, на которой проводился эксперимент, энерговыделение, единица измерения, программа-методика испытаний, дата и номер приказа, организация и заказчик работы, номер облучения, геометрия эксперимента, описание, наборы реакций и спектров и используемые алгоритмы обработки данных. Диалоговое окно программы представлено на рис. 7.

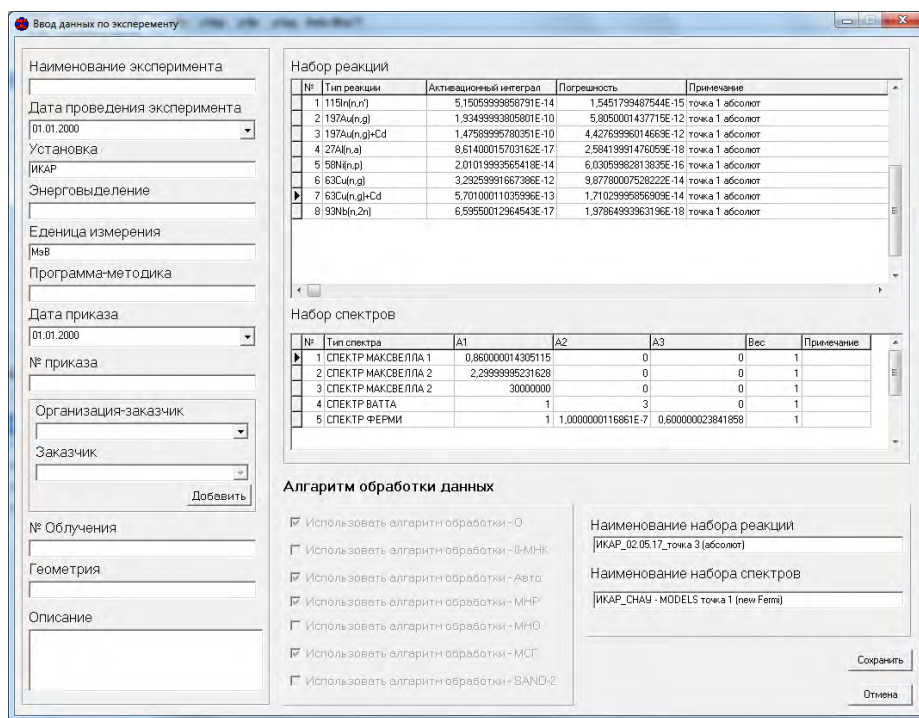


Рис. 7. Диалоговое окно «Эксперимент»

В программе реализована функция поиска данных, например: поиска эксперимента по дате, по наименованию установки, номеру программы работ или приказа, количество экспериментов, проведенных для конкретного заказчика и т. п. По запросу пользователю предоставляется полная информация по выбранным параметрам, пример представлен на рис. 8.

Сформированные массивы информации могут использоваться для формирования отчетов по проведенным экспериментам, шаблоны выходных документов представлены на рис. 9. Отчеты можно вывести на экран или печать.

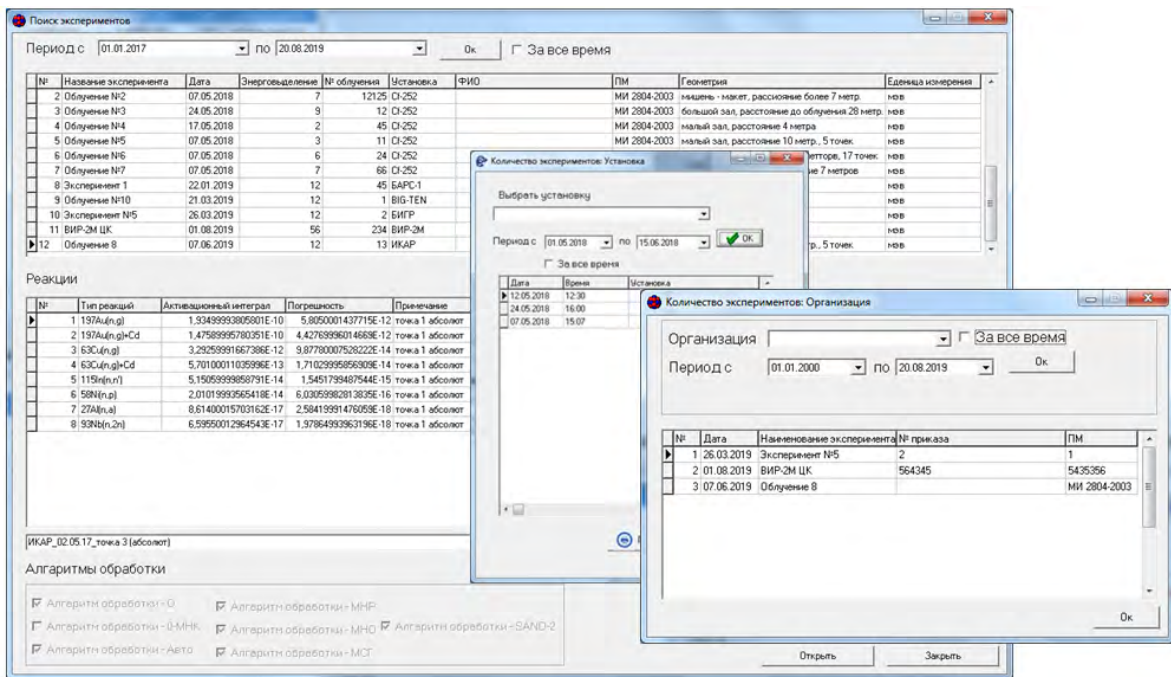


Рис. 8. Диалоговые окна программы «Поиск информации»

№ _____

ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ № _____

Дата _____
 Время _____
 Установка _____
 Организация _____
 Приказ от № _____
 Программа-методика _____

Набор спектров

№	Наименование спектра	A1	A2	A3
1.				
2.				
3.				
...				
N				

ВОССТАНОВЛЕНИЕ СПЕКТРА

№	реакция	расчет	эксперимент	расчет/эксп
1.				
2.				
3.				
...				
N				

Спектр 01 СПЕКТР МАКСВЕЛЛА 1 доля в общем спектре = _____
 Спектр 02 СПЕКТР МАКСВЕЛЛА 2 доля в общем спектре = _____
 Спектр 03 СПЕКТР ВАТТА доля в общем спектре = _____

ПОЛНЫЙ ФЛЮЕНС = _____ [нейтр./см²]
 СРЕДНЕКВАДРАТИЧНОЕ ОТКЛОНЕНИЕ = _____ %
 СРЕДНЯЯ ЭНЕРГИЯ = _____ [МэВ]

СПЕКТР В ВЫБРАННЫХ ИНТЕРВАЛАХ

001 ГРАНИЦЫ ИНТЕРВАЛА _____ - _____ [МэВ]
 ФЛЮЕНС = _____ [нейтр./см²]
 Доля в спектре = _____ %
 002 ГРАНИЦЫ ИНТЕРВАЛА _____ - _____ [МэВ]
 ФЛЮЕНС = _____ [нейтр./см²]
 Доля в спектре = _____ %

Измерения выполнены:

ФИО _____ Должность _____ дата, подпись _____
 ФИО _____ Должность _____ дата, подпись _____

№ _____

ОТЧЕТ

Установка _____
 Период с _____ по _____

№	Установка	Дата	Время	Описание эксперимента
1.				
2.				
3.				
...				
N				

Измерения выполнены:

ФИО _____ Должность _____ дата, подпись _____
 ФИО _____ Должность _____ дата, подпись _____

Рис. 9. Шаблоны выходных документов «Протокол измерений», «Отчеты»

В заключение можно отметить, что разработанное ПО обеспечивает целостность данных, защиту информации, позволяет систематизировать информацию и применять алгоритмы обработки данных, получаемых в результате проведенных облучательных экспериментов на ядерно-физических установках ИЯРФ.

Разработанное программное обеспечение успешно прошло этап предварительных испытаний и этап опытной эксплуатации.

1. Маслов Г. Н., Севастьянов В. Д., Кошелев А. С. Метод расчета спектра нейтронов по результатам измерений с интегральными детекторами, реализованный в новой версии программы КАСКАД // Измерительная техника. 2003. С. 62–68.
2. Панченко И. PostgreSQL: вчера, сегодня, завтра // Открытые системы СУБД. 2015. № 3.
3. Фаронов В. В., Шумаков П. В. Delphi 7. Руководство разработчика баз данных. М.: Нолидж, 2013.
4. Дарахвелидзе П. Г., Марков Е. П. Программирование в Delphi 7. С-Пб.: БХВ, 2012.