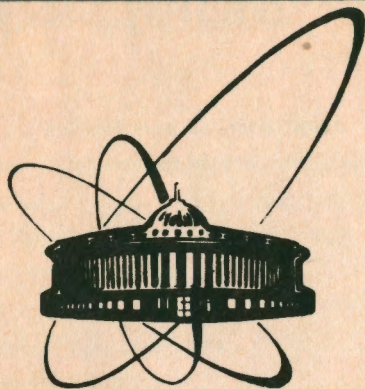


92-509



**ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА**

P11-92-509

**С.Лима, Р.В.Полякова, Ф.Фернандес Нодарсе,  
И.П.Юдин**

**ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА  
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ**

**Направлено на Международную конференцию  
по ускорителям частиц, 17—20 мая 1993 г., США**

**1992**

В работе представлены разработка концепции и основные функции экспертной системы (системы, основанной на знаниях) для исследования магнитных систем. Поставленная задача решается с использованием распределенного искусственного интеллекта и «кооперативных» систем. Представлены применения экспертной системы.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1992

Перевод авторов

Lima S. et al.

P11-92-509

Expert System for Magnetic Systems Investigations

The paper deals with development of the conception and main functions of the system based on knowledge for magnetic systems investigations. The use of distributed artificial intelligence and cooperating systems is discussed. Some applications are presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

# Введение

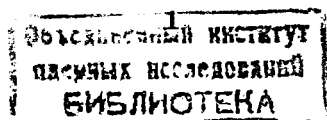
Исследования магнитных систем в настоящее время, как и ранее, представляют большой интерес. Это актуальная проблема и передний фронт исследований современной науки.

Магнитные системы, т.е. системы, образованные токами, присутствуют в природе на самых различных уровнях: это и магниты огромных ускорительных установок, это и атомы, например, кристаллической решетки ферромагнетика и, наконец, это и сами элементарные частицы при рассмотрении их структуры, и т.д.

Исследование состояния магнитных систем представляет интерес прежде всего и потому, что они описываются нелинейными уравнениями, численное решение которых стало возможным лишь с появлением компьютеров.

Под компьютерным исследованием физических явлений или системы подразумеваем построение математической модели, описывающей явление или систему, создание численного алгоритма и реализацию его в виде комплекса программ на ЭВМ с включением системы графических программ для цветной и обычной одноцветной визуализации полученных численных результатов. С появлением современных компьютеров изменилось само понятие, что означает решить задачу. В это понятие входит как численное решение нелинейных уравнений, описывающих явление или систему, так и возможность графического исследования результатов решения с широким использованием удобного для работы сервиса, например, с помощью баз данных и специальных оболочек в виде систем, основанных на знаниях — экспертных систем [1-4].

Представленная в данной работе концепция экспертной системы (системы, основанной на знаниях и являющейся частью автоматизированного рабочего места (АРМ)), использовалась для организации помощи оператору ускорителя в процессе подготовки, запуска, настройки, поиска и устранения неисправностей, эксплуатации, остановки и проведения профилактических работ [5].



Современный ускоритель является достаточно сложным инженерным сооружением, вследствие этого подготовка квалифицированного эксплуатационного персонала занимает в зависимости от квалификации специалиста от нескольких месяцев до года.

При организации АРМ оператора ускорителя предполагается использование сети рабочих станций (ПЭВМ) с графическим дисплеем среднего разрешения, с жестким диском и с операционной системой DOS 3.3 или выше. Мощность процессора, объем памяти и характеристики сети зависят от конкретного применения.

Авторы рассматривали также применение разработанной здесь концепции экспертной системы, объединяющей большой комплекс программ, моделирующих работу всего ускорителя от источника частиц до конкретной физической установки [6]. Еще одним применением послужила магнитная система (модель Ишморы), описывающая состояние ферромагнетика солитоноподобными решениями [7, 8].

## 1 Принципы разработки АРМ

Основное назначение АРМ ускорителя – обеспечение работы оператора ускорителя на уровне высококвалифицированного специалиста. Для этого в основу разработки были положены следующие принципы:

- Управление работой АРМ и его связями с внешним миром системы микро-ЭВМ, которая в принципе может также использоваться и для решения других задач.
- Возможности, которые АРМ предоставляет оператору, определяются характеристиками рабочей станции (workstation), уровнем автоматизации процессов управления ускорителя, интерфейсами между ними и могут расширяться по мере их совершенствования.

- АРМ должен обеспечивать три режима работы оператора:
  - под управлением программного помощника;
  - при использовании программного помощника в качестве консультанта;
  - без программного помощника.
- Основу прикладного программного обеспечения составляют интеллектуальные программные помощники, обеспечивающие выполнение указанных выше функций на высоком профессиональном уровне.
- Общение оператора с АРМ должно в основном производиться с помощью “меню” и системы распределённых окон, электронных таблиц или других вспомогательных средств, включая возможности графических исследований.
- Пользователь с помощью системного программного обеспечения должен иметь возможность комплектовать нужное ему программное обеспечение АРМ.
- В соответствии с режимами работ и назначением АРМ его пользователи делятся на следующие три группы: разработчик, редактор и оператор. Каждый тип пользователя имеет свои атрибуты доступа к системе, не позволяющие ему выйти за заданные пределы действий.

## 2 Схема процесса решения проблемы

С точки зрения методов решения, задача была поставлена как проблема, характеризующаяся неточно и неполно определёнными данными с использованием эвристических знаний для определения значений части переменных модели и её последующего решения.

Структура задачи допускает разбиение исходной задачи на подзадачи, каждую из которых можно решать относительно независимо от других, но подзадачи могут взаимодействовать, в результате чего решение одной подзадачи будет зависеть от решений остальных. Для её реализации потребовалось исследовать и создать интегрированную экспертную систему, базирующуюся на знаниях и взаимосвязи с реляционной СУБД.

Данные используются вместе с пользовательской обратной связью для обеспечения моделирования и внесения изменений в решение. Используется многоуровневая схема принятия решения. Сравнение вариантов решения задач и подзадач выполняется с помощью модели принятия решения с использованием качественной модели, которая описывает режим системы.

Блок – схема процесса включает следующие основные этапы:

1. определение исходных данных, включая оценки части из них, если необходимо, например, исходя из данных измерения,
2. моделирование различных вариантов решения,
3. выбор оптимального варианта и
4. проверка решения.

Но на каждом этапе ввода данных или предварительных результатов пользователь имеет возможность, например, обновлять эти данные, послать запрос системе о предлагаемом решении или просто остановить процесс.

Поскольку большое число решений должно приниматься в реальном масштабе времени, то должен работать счетчик времени, после срабатывания которого автоматически принимается решение.

Эксплуатация ускорителя требует высокой квалификации и опыта, поскольку оператор должен работать с большим объемом информации, поступающей из различных типов систем. Например, из модулей системы контроля ошибок, аварийных сообщений из систем ускорителя, сигналов и статуса самого

процесса и т.д. Загрузка оператора во время работы непрерывно растёт, т.к. постоянно возникают как новые эксплуатационные режимы, так и новые требования к оператору, которые также постоянно растут. Оператор должен скоординировать и использовать средства, которые поддерживают его в процессе принятия решений и позволяющие оценить положение и помочь принять адекватные решения.

Анализ задач, выполняемых оператором, показывает, что эти задачи имеют различные уровни необходимой “экспертизы” во время эксплуатации ускорителя, которые можно описывать как:

- эксплуатация с нормальными условиями. Здесь основными задачами операторов являются мониторинг (“monitoring”, т.е. контролирование и управление) работы и исправление параметров, если осуществлялись некоторые изменения, а также оптимизация эксплуатации и модифицирование режима работы ускорителя в зависимости от требований пользователей, таких как, например изменение интенсивности пучка (“beam intensity”).
- высокий уровень сигнала ошибки (“break down”), т.е. экстремальные условия, которые появились в результате, например, неправильной эксплуатации, поломки оборудования и т.д. Такие ошибки должны быть диагностированы. При этом в основном необходимо идентифицировать ошибку (концептуальный уровень), но не обязательно рекомендовать как её исправить или устранить.
- низкий уровень сигнала ошибки (“break down”).

Контроль и эксплуатация ускорителя – это очень сложная совокупность задач, в которой эти задачи должны быть четко определены, идентифицированы. Эти задачи могут зависеть друг от друга. Результаты одной из них могут быть необходимыми для остальных. Многие задачи выполняются с одинаковыми целями, но с разными подходами зрения. Такой класс

задач может решаться с использованием распределенного искусственного интеллекта (Distributed Artificial Intelligence).

Цели эксплуатации и контроля ускорителя можно достигать, если идентифицированные подзадачи (просмотр аварийного сообщения и рекомендация об устранении аварий, доступа к оборудованию, оптимизации, управления в многоуровневой схеме принятия решения, диагностика пучка (beam diagnosis) и диагностика системы контроля (control system diagnosis)) выполняются в кооперации друг с другом, исходя из рекомендуемых (reference) значений параметров.

Параметры такой кооперации (cooperational features) включают анализ состояния в данный момент одной из задач, статуса в данный момент других задач, а также того, как взаимодействие между ними оказывает влияние на контроль.

Поскольку оператор одновременно имеет возможности работать с ограниченным набором средств, то необходимо использовать "cooperating systems" [9] с дружественным интерфейсом. Эта архитектура успешно используется в зарубежных ускорительных центрах для аналогичных целей [10-13].

### 3 Структура прикладного программного обеспечения АРМ

Структура прикладного программного обеспечения АРМ оператора ускорителя, позволяющего реализовать указанные принципы, показана на рис. 1. Программное обеспечение АРМ оператора состоит из следующих основных элементов:

- интеллектуального компьютерного помощника для ускорителя;
- обучающей и проверяющей системы для подготовки оператора ускорителя;
- интеллектуального компьютерного помощника оператора ускорителя;

- диагностической экспертной системы;
- базы эксплуатационных данных, включая программу планирования профилактических работ;
- обслуживающих и вспомогательных программ общего назначения, связей и процедурной помощи.

Компьютерный помощник, проектируемый на основе рассмотренной концепции АРМ ускорителя, характеризуется в первую очередь работой с процессами, оперирующими символами, эвристическим поиском решения задачи, простотой обновления, возможностью изменения и расширения. Его использование позволит получить в большинстве случаев вероятностно правильные (эвристические) ответы. Тогда мы можем сказать, что система является полезным вспомогательным или консультативным средством пользователей АРМ ускорителя.

Также можно применить разработанную здесь концепцию экспертной системы для объединения большого комплекса программ, моделирующих работу всего ускорителя от источника частиц до конкретной физической установки [6]. В качестве конкретного примера использования нашей экспертной системы рассмотрим процесс проектирования модификации спектрометрического магнита СП - 40. В этом случае экспертная система обеспечивает автоматизацию работы пользователя на основных этапах процесса проектирования и принятия решения, таких как:

1. подготовка входных данных;
2. накопление и хранение информации, требующейся в процессе моделирования и принятия решения;
3. моделирование разных вариантов магнита;
4. выбор оптимального варианта;
5. проверка решения.

В процессе проектирования модификации спектрометрического магнита, которая представляет совокупность взаимосвязанных различных технических и программных средств, необходим компромисс между такими факторами, как улучшение технических и эксплуатационных характеристик, сокращение их стоимости и одновременно повышение требований к эксплуатационным характеристикам, необходимым для экспериментов на установке ЭКСЧАРМ [14].

## 4 Общая структура экспертной системы

Интеллектуальные компьютерные помощники разрабатываются в основном на базе пустой экспертной системы, графической подсистемы и взаимосвязью с базами данных.

Общая структура экспертных систем, на базе которых разрабатывается прикладное программное объяснение АРМ оператора микротрона показана на рис. 2.

Экспертная система – это компьютерная программа, использующая экспертные знания для обеспечения высокоэффективного решения задач в узкой предметной области. Такие программы, как правило, представляют знания в символьном виде, исследуют и объясняют логику своих рассуждений и предназначены для тех предметных областей, в которых людям для достижения мастерства необходимо годы специального обучения и практики.

База знаний, например, могла бы состоять из правил типа IF-THEN-ELSE с (или без) коэффициентами уверенности или вероятности.

Механизм вывода (inference engine) – это та часть экспертной системы, в которой содержатся общие знания о схеме управления процессом решения задач.

Модуль объяснения (explanation facility) объясняет, каким образом были получены решения и обосновывает действия, принятые для их получения. Благодаря этому во время экс-

плуатации экспертной системы пользователь может познакомиться с правилами, связанными с вопросами системы и с тем, какие правила были выполнены. Модуль приобретения знаний позволяет разработчику экспертной системы изменять, включать или исключать правила из базы знаний, а также менять их порядок.

Следует отметить что, если необходимо в процессе выполнения некоторых правил, экспертная система вызывает связанные вычислительные программы, СУБД или графические системы, а затем использует полученные ими результаты.

Модуль возвращения предназначен для обеспечения интерфейса экспертной системы с пользователем.

Разработка экспертной системы состоит из пяти сильно взаимодействующих и перекрывающихся этапов: идентификации, концептуализации, формализации, реализации и тестирования.

## Заключение

В данной работе мы проанализировали использование архитектуры системы для эксплуатации ускорителя, основанной на декомпозиции задач оператора в различных условиях и на принципах их кооперации (cooperating agents) для комбинирования отдельных распределенных подсистем решения проблемы, которые работают на основе общей цели.

Использование компьютерного помощника, который интегрирует или объединяет системы, основанные на знаниях, СУБД, графический редактор и другие вспомогательные средства, позволяет создать дружественный интерфейс с пользователем. АРМ ускорителя сокращает время подготовки персонала, облегчает работу и значительно уменьшает вероятность ошибок оператора в процессе эксплуатации.

Основные принципы, рассмотренные в работе, были использованы для разработки АРМ ускорителя МТ-25 ЛЯР ОИЯИ [5], для проектирования модификаций спектрометрического магнита СП-40 [14] и исследования магнитной системы (модель Ишимори), описывающей состояние ферромагнетика солитоноподобными решениями [7, 8].

Представленная здесь концепция экспертной системы рассматривалась также и для применения на ускорителях ЛВЭ и ЛЯП ОИЯИ, У-70 ИФВЭ (Протвино) и на ускорителе института ядерные исследования (Гавана, Куба).

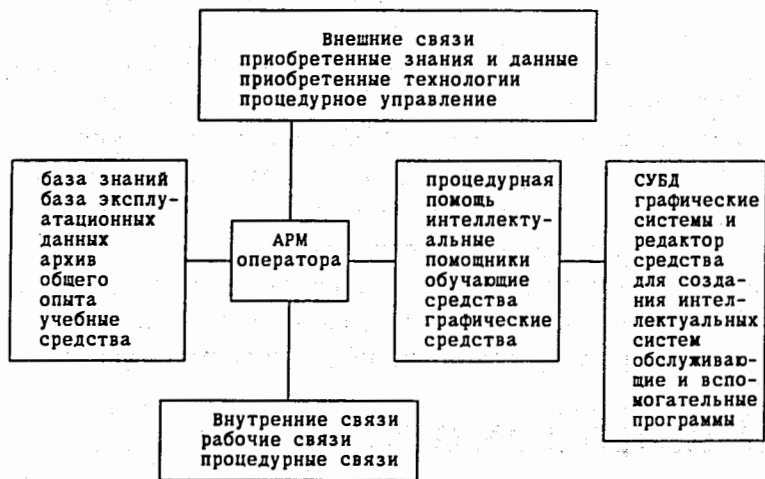


Рис. 1

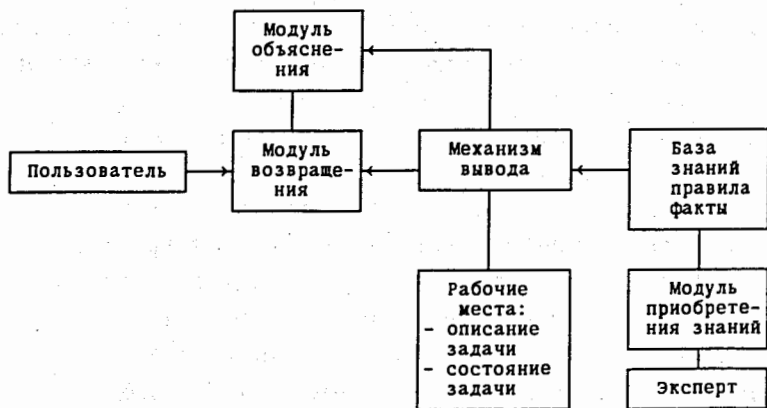


Рис. 2

## Литература

1. New Computing Techniques in Physics Research. DU CNRS, Paris, 1990. Proc. of First International Workshop on Software Engening, Artificial Intelligence and Expert Systems for High Energy Physics. Lion (France), March 19-24, 1990.
2. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему. М., Энергоатомиздат, 1991.
3. Уотерман Д. Руководство по экспертным системам. М., Мир, 1989.
4. Построение Экспертных систем / Под ред. Ф.Хейес-Рот, Д.Уотерман, Д.Ленат./ М., Мир, 1987.
5. В.Г. Иванов, Ф. Фернандес Нодарсе, А.Г. Белов, Х. Зунига, Автоматизированное рабочее место оператора микротрона МТ-25. - Сообщение ОИЯИ Р10-91-302, Дубна.
6. И.П.Юдин. Символьные вычисления на ЭВМ для задач динамики пучков заряженных частиц. В трудах Международной школы для молодых учёных по проблемам ускорителей заряженных частиц (ОИЯИ, октябрь 1988), ОИЯИ Д9-89-801, Дубна, 1989, с.191-203.
7. С. Лима, В.Г.Маханьков. Сообщение ОИЯИ Р-4-92-415, Дубна 1992.
8. С. Лима, О. Пашаев. Сообщение ОИЯИ Р-4-92-418, Дубна 1992.
9. ARCHON - Architecture for cooperating heterogeneous Online Systems Status Report. In ESPRIT Conference Week 1990 and Technical Report No.9 (ESPRIT - Project 2256 ARCHON) , 1990



10. Lee M., Clearwater S. GOLD: Integration of Model-Based Control Systems with Artificial Intelligence and Workstations. Preprint SLAC-PUB-4396, August 1987.
11. Lee M. Model-Based Expert System for Linac Computer Controls. Preprint SLAC-PUB-4724, September 1988.
12. Malandain E. Application of a Diagnostic Expert System in the Accelerator Domain. Preprint CERN/PS 89-52 (OP), September 1989.
13. Schultz D., Brown P. The Development of an Expert System to Tune a Beam Line. NIM. A293(1990) p.486-490, Elsevier Science Publishers B.V.
14. Е.П.Жидков и др. Математическое моделирование некоторых модификаций спектрометрического магнита СП-40. Сообщение ОИЯИ Р11-92-490, Дубна, 1992.

Рукопись поступила в издательский отдел  
7 декабря 1992 года.