

Ru9302304

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

ИФВЭ - ОМВТ - - 92 - 39 .

ИФВЭ 92-39  
ОМВТ

А.Г. Афонин, Б.С. Волков, В.И. Ухов

**О возможности использования экспертных  
систем в управлении ускорителем**

Протвино 1992

**Аннотация**

Афонин А.Г. , Волков Б.С. , Ухов В.И. О возможности использования экспертных систем в управлении ускорителем: Препринт ИФВЭ 92-39. – Протвино, 1992. – 16 с., 3 рис.; библиогр.: 11.

Работа знакомит с экспертными системами и их использованием в физике высоких энергий. Рассмотрены выполненные ранее работы по применению экспертных систем для управления каналами и ускорителями. Предложен подход к созданию экспертной системы для управления выводом пучка протонов из У-70.

**Abstract**

Afonin A.G. , Ukhov V.I. , Volkov B.S. The possibility of expert system application to accelerator control: IHEP Preprint 92-39. – Protvino, 1992. – p. 16, figs. 3, refs.: 11.

This report gives the introduction to expert system and its utilization in high energy physics. Some examples of expert system applications to the accelerator control are considered. Approach to expert system development for U-70 extraction system is suggested.

## Введение

В 70-х годах нашего столетия в результате исследований в области искусственного интеллекта родились экспертные системы. В следующее десятилетие они вышли из младенческого возраста, окрепли и встали в один ряд с такими признанными информационными технологиями как базы данных и численное моделирование. Современные экспертные системы помогают ставить диагноз и индивидуально подбирать препараты при редких заболеваниях, планировать и проводить военные операции, открывать месторождения полезных ископаемых и устранять неисправности в авиационных двигателях, а также многое другое [1,2].

В последние 5 лет происходило постепенное проникновение экспертных систем в физику высоких энергий. Этот процесс практически впервые обсуждался на конференции в Лионе в 1990 г. [3], посвященной технологии программирования, искусственному интеллекту и экспертным системам в физике высоких энергий и ядерной физике. В настоящее время уже созданы или создаются экспертные системы для проведения аналитических вычислений, для контроля безопасности в больших экспериментах, для управления каналами, для диагностики систем сбора информации и т.д.

Экспертные системы — это новая информационная технология, предлагающая эффективные решения старых задач и позволяющая решать все более сложные задачи. Это замечание актуально для физики высоких энергий с ее уникальными, непрерывно усложняющимися установками и программным обеспечением. Кроме того, современные средства поддержки экспертных систем позволяют быстро их модифицировать по мере внесения изменений в эксперимент или установку.

# 1. Экспертные системы

## 1.1. Что такое экспертная система

Экспертные системы — это программы, которые манипулируют знаниями в целях получения удовлетворительного и эффективного решения в узкой предметной области. Как и человек-эксперт, эти системы используют символическую логику и эвристики (эмпирические правила), чтобы найти решение. И как и настоящие эксперты они могут ошибаться, но обладают способностью учиться на своих ошибках. Однако у этой искусственной экспертизы есть некоторые преимущества перед человеческой экспертизой. Она постоянна, менее противоречива, легко передается, документируется и уточняется. В итоге, соединяя мощь компьютера с богатством человеческого опыта, экспертные системы повышают ценность экспертных знаний, делая их широко применимыми.

В основании экспертных систем лежит концепция, которую можно сформулировать следующим образом: *“Чтобы сделать программу интеллектуальной, ее нужно снабдить множеством высококачественных специальных знаний о некоторой предметной области”* — Уотерман [1].

Технологию построения экспертных систем часто называют *инженерией знаний*. Как правило, этот процесс требует специфической формы взаимодействия создателя экспертной системы, которого называют *инженером знаний*, и одного или нескольких экспертов в некоторой предметной области. Инженер знаний “извлекает” из экспертов процедуры, стратегии и эмпирические правила, которые они используют при решении задач, и встраивает эти знания в экспертную систему.

## 1.2. Как устроена экспертная система

На рис.1 показана структура экспертной системы. Остановимся на функциях, выполняемых ее структурными элементами.

*Во-первых*, основой экспертной системы является совокупность знаний, структурированная в целях упрощения процесса принятия решений экспертной системой. Эта совокупность называется **базой знаний**.

*Во-вторых*, экспертной системе необходим механизм, который на основании знаний, имеющихся в базе знаний, способен делать логические выводы. Этот механизм называется **механизмом логических выводов**. В его задачи входит не только применение имеющихся знаний, но и определение того, какие знания следует использовать в первую очередь.

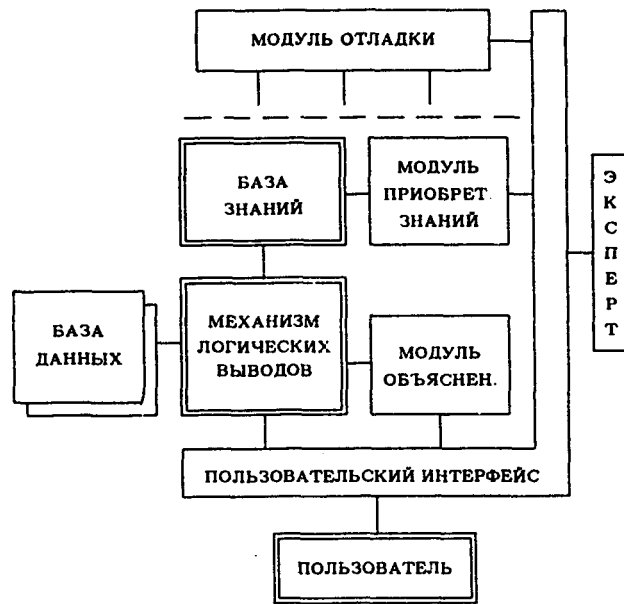


Рис. 1. Структура экспертной системы.

*В-третьих*, в системе должен присутствовать модуль, поддерживающий общение с пользователем. В противном случае работать с такой системой будет крайне неудобно. Компонента экспертной системы, выполняющая эту функцию, называется **пользовательским интерфейсом**. В ее задачи входит поддержание диалога на языке, близком к естественному, независимо от способов кодирования знаний внутри системы и адекватное отображение информации, запрашиваемой пользователем. С ростом графических возможностей современных компьютеров эта компонента становится все более сложной.

*Четвертым* элементом экспертной системы является **модуль объяснений**, поясняющий почему принято то, а не другое решение. Системы без этого модуля обычно не пользуются доверием у пользователей. Кроме того, наличие такого модуля значительно облегчает процесс отладки.

*Пятой* частью экспертной системы является компонента получения знаний от эксперта и дополнения базы знаний. Эта компонента называется **модулем приобретения знаний**.

Как только экспертная система начинает "подавать признаки жизни", разумно предоставить эксперту возможность самому просматривать и изменять базу знаний. Поэтому модуль приобретения знаний должен обеспечивать сервис, достаточный для нормальной работы эксперта *непрограммиста*, даже в том случае, когда концептуальная модель знаний, доступная эксперту, сильно отличается от их компьютерного представления.

Кроме того, знания могут быть получены в результате обобщения или другой обработки больших объемов экспериментального материала. В этом случае мы должны иметь возможность управлять процессами обобщения и дополнения базы знаний.

*Шестая* компонента экспертной системы помогает вести отладку, следит за целостностью и непротиворечивостью базы знаний и проверяет работу экспертной системы на тестовом наборе задач после модификации базы знаний. Эта компонента носит название **модуль отладки**. Нужно подчеркнуть, что для эффективной отладки необходимы значительные вычислительные ресурсы.

Экспертная система может взаимодействовать с базами данных, как делая запросы, так и помещая в них принятые решения. Такой подход расширяет возможности экспертной системы и облегчает интеграцию программного обеспечения.

### 1.3. Достоинства и недостатки экспертных систем

Существуют веские доводы в пользу применения искусственной компетентности с целью усилить возможности человека.

Одним из положительных качеств искусственной компетентности является ее постоянство. Эксперт должен постоянно тренироваться и упражняться, чтобы сохранить свой профессиональный уровень в некоторой предметной области. Искусственная компетентность, однажды полученная, сохраняется навсегда. Ее сохранность не связана с ее использованием.

Другим преимуществом искусственной компетентности является легкость, с которой ее можно передавать и воспроизводить. Передача знаний от одного человека к другому — трудоемкий, долгий и иногда неудачный процесс. Передача искусственной экспертизы — это простой процесс копирования программы или файла данных.

Кроме того, искусственную компетентность намного легче документировать. Существует прямое отображение способа представления искусственной компетентности в системе в описание этого знания на естественном языке. Документировать человеческую компетентность чрезвычайно трудно, и кроме того это занимает много времени.

У искусственной компетентности более устойчивые и воспроизводимые результаты, чем у человеческой. Человек под влиянием стресса может забыть важное правило или пропустить важную информацию.

Еще одно важное преимущество искусственной компетентности — ее невысокая стоимость. Эксперты, особенно высококвалифицированные, обходятся очень дорого. Экспертные системы, наоборот, сравнительно недороги. Высокая стоимость их разработки уравнивается низкой стоимостью эксплуатации и легкостью, с которой можно получать их новые копии.

Хотя экспертные системы хорошо справляются со своей работой, тем не менее в некоторых областях деятельности человеческая компетентность явно превосходит любую искусственную. Это не есть отражение фундаментальных ограничений искусственного интеллекта, но характерно для современного его состояния.

Эксперты справляются с неожиданными поворотами событий, используя знания и аналогии из других предметных областей или реорганизуя информацию для синтеза новых знаний. Современным программам такое поведение недоступно.

Другой областью, где человеческая компетентность превосходит искусственную, является обучение. Эксперты адаптируются к изменяющимся условиям: они приспособливают свои стратегии к новым обстоятельствам. Экспертные системы мало приспособлены к обучению новым концепциям и подходам.

Эксперты могут воспринимать весь комплекс сенсорной информации, будь то визуальная, звуковая, осязательная или обонятельная. Чтобы передать эту информацию экспертной системе, мы должны либо иметь датчики для ее восприятия, либо опрашивать человека. В обоих случаях значительная часть информации может быть утрачена. Здесь уместно вспомнить пословицу: *лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать*.

И, наконец, люди, эксперты и не эксперты, имеют то, что мы обычно называем *здоровым смыслом*, или общедоступными знаниями. Это широкий спектр знаний о мире, о том, какие законы в нем действуют, т.е. знания, которыми каждый из нас обладает и постоянно пользуется. Из-за огромного объема знаний, образующих здоровый смысл, не существует легкого способа встроить их в интеллектуальную программу, тем более в такую специализированную, как экспертная система.

По перечисленным причинам экспертные системы часто используются как советчики — в качестве консультантов или помощников экспертов или новичков в некоторой предметной области.

Дополнительную информацию по экспертным системам можно найти в [1,2,4].

## **2. Экспертные системы в физике высоких энергий**

### **2.1. Триггеры**

В настоящее время делаются попытки использования экспертных систем для создания триггеров разного уровня. Экспертные системы очень хорошо умеют работать с формальными знаниями, и это дает возможность использовать их для триггеров верхнего уровня. Знания в экспертной системе могут быть представлены в форме близкой человеку, что делает несложной процедуру модификации триггера. Знания, представленные в экспертной системе, можно развернуть в оптимизированное *дерево решений* и использовать даже для “быстрых” триггеров нижнего уровня.

### **2.2. Обработка данных**

Данные, полученные на экспериментальной установке, должны быть обработаны. Обработка осуществляется сложными программами и является достаточно трудоемкой процедурой.

В настоящее время экспертные системы разрабатываются для:

- off-line контроля и обработки данных, поступающих с установки;
- реконструкции сложных событий;
- управления многопроцессорной и многозадачной системой интерактивного отображения и анализа событий.

### **2.3. Управление, контроль и поиск неисправностей на больших установках**

Развитие физики высоких энергий сопровождалось увеличением сложности экспериментальных установок. Для эффективной работы с такими установками нужны не менее сложные системы управления.

В настоящее время экспертные системы могут:

- контролировать правильность работы установки;
- управлять работой установки;
- решать задачи поиска неисправностей;
- обеспечивать безопасность.

Традиционные экспертные системы хорошо приспособлены для работы со стандартными или, в крайнем случае, с постоянными частями установок. Это связано с тем, что они ориентированы на работу с “опытными”



знаниями. Относительно физических установок можно сказать, что они не только уникальны, но и часто перестраиваются. Поэтому разработка *традиционной* экспертной системы может оказаться для них слишком долгой и дорогой. Выход здесь может быть найден в использовании “инженерных знаний”, позволяющих работать с интересующим нас классом устройств.

Что касается ускорителя, то он более консервативен и проблема модификации стоит здесь менее остро.

Использование экспертных систем дает возможность сохранять знания и навыки управления и работы с физической установкой при смене персонала. Для сложных и “долгоживущих” установок это немаловажный фактор.

В режиме on-line первоначальная проверка гипотез, выдвигаемых экспертной системой, может осуществляться на моделирующих программах. Такой подход позволяет ускорить методические исследования и уменьшить радиационную нагрузку на оборудование. Моделирующие программы также можно использовать в режиме off-line для накопления знаний о поведении данной установки.

Для работы с большими объемами данных и знаний экспертная система может использовать возможности СУБД, например, *Oracle*.

### 3. Экспертные системы на ускорителях

Задача, которую мы перед собой ставим, — это рассмотреть возможность применения методов искусственного интеллекта для управления ускорителями и каналами частиц. Работы, проводящиеся в этом направлении в Европе (CERN) и Америке (SLAC, TRIUMF) показывают, что задача не является неразрешимой. Прежде чем изложить наш подход к проблеме, мы бы хотели предложить вашему вниманию несколько работ, выполненных ранее.

#### 3.1. Система GOLD

Первой работой, на которой мы хотим остановиться, будет система GOLD (Genetic Orbit & Lattice Debugger) — это интегрированная система, предназначенная для обнаружения и коррекции отклонений траектории пучка [5,6,7]. Авторы Martin Lee и Scott Clearwater сообщают, что система GOLD использовалась на линейных и кольцевых машинах в CERNe и SLACe для решения следующих задач:

- SPS — корректировка ошибок направления;
- EPA — корректировка ошибок направления;
- LEAR — корректировка ошибок направления;
- SLC damping ring — ошибки квадрупольной фокусировки;
- ring-to-linac system SLC — ошибки BPM;
- beam switchyard (SLAC) — ошибки в величине импульса.

Система GOLD состоит из моделирующих программ COMFORT и PLUS, экспертной системы ABLE и графического оборудования (графическая станция  $\mu$ VAX).

Описываемая система может работать в двух режимах — ручном и автоматическом. В ручном режиме оператор предлагает системе проверить, можно ли получить наблюдаемое отклонение орбиты введением ошибок в заданный им ряд элементов. Система варьирует величины ошибок в указанных элементах и пытается свести к минимуму расхождение между наблюдаемой и моделируемой траекториями. Результат минимизации выдается оператору. Анализируя различные варианты, человек может найти наиболее вероятную причину отклонения.

Таким образом, система позволяет сократить количество гипотез, проверяемых непосредственно на оборудовании, что уменьшает вероятность возникновения опасных ситуаций и снижает радиационное облучение оборудования. Кроме того, проверка гипотезы на модели обычно требует гораздо меньше времени, чем проверка на физическом оборудовании и, следовательно, гипотезы при использовании системы GOLD проверяются много быстрее.

В процессе разработки системы выяснилось, что поиск неисправностей можно значительно ускорить, если использовать современные средства организации диалога. В первую очередь здесь идет речь о графическом оборудовании для наглядного изображения орбит и выделения подозреваемых элементов. Использование современных методов визуализации позволяет сосредоточить внимание на отдельных деталях, не теряя из виду всей структуры канала в целом.

Следующим шагом в ускорении поиска ошибок было создание экспертной системы ABLE для автоматического выдвижения гипотез о причинах отклонения траектории. Опыт работы с экспертной системой показал ее высокую эффективность. Система обычно быстро находила то же самое решение, что и эксперт. Если система не находила решение, то она помогала сильно сократить количество подлежащих изучению гипотез. В этом случае оператор мог добавить найденное им решение в базу знаний системы, дабы в будущем она работала лучше. Главным достоинством

экспертной системы было то, что она могла решать проблему много быстрее человека.

### 3.2. Проект ИТА

Следующей работой, которую мы рассмотрим, будет проект ИТА (ISIS<sup>1</sup> Tune Advisor). Авторы David E. Schultz и Pamela A. Brown выполнили ее на циклотроне TRIUMF [8]. Целью работы было создание экспертной системы для настройки линейных структур. В результате был создан работающий прототип для канала инжекции, имеющего два поворота. Длина канала 40 м. В нем расположены устройства электростатической фокусировки и устройства для корректировки положения пучка в двух плоскостях. В канале установлены датчики четырех типов: коллиматоры, скимеры, радиационные и проволочные мониторы. В рассматриваемой экспертной системе коллиматоры использовались для измерения локальных потерь пучка и были основными измерительными устройствами. Скимеры использовались значительно меньше, так как не могли выдержать потери большой интенсивности. Радиационные мониторы давали информацию об интегральных потерях пучка. Проволочные мониторы вообще не использовались.

Для реализации проекта был выбран именно канал инжекции, поскольку, с одной стороны, он не велик, а с другой — его размеры достаточны для отработки технологии экспертных систем. Еще одной причиной, побудившей выбрать канал инжекции, было то, что эксперт может добиться здесь значительно большей производительности, чем обычный оператор.

Обычно существует ряд факторов, затрудняющих использование математической модели канала для проверки гипотез. При реализации проекта ИТА из-за низкой энергии частиц (300 кэВ) эти факторы оказались особенно существенными. Перечислим наиболее значимые из них:

- рассеянные магнитные поля значительной величины от работающего рядом циклотрона;
- из-за больших нагрузок происходит деформация пола, что приводит к изменению геометрии канала;
- из-за перемещения больших масс металла рядом с каналом (в первую очередь, крана) происходит изменение магнитных полей;
- при замене ионного источника происходит изменение начальных характеристик пучка.

---

<sup>1</sup>Ion Source Injection System

Поэтому в проекте ИТА экспертная система не только выдвигает гипотезы, но и пытается их исследовать. В процессе работы она обращается к трем различным базам знаний. В первой из них содержится опыт оператора, который обычно работает с каналом. Если этих знаний оказывается недостаточно для решения задачи, то система переходит ко второй базе знаний, где представлены знания физика – специалиста по пучкам. Если и здесь она терпит неудачу, то происходит обращение к третьей базе знаний, содержащей самые общие эвристики, основанные на относительном расположении оборудования в канале и применяемые человеком при работе с неизвестной машиной.

Проверка работоспособности экспертной системы проводилась следующим образом:

1. Оператор настраивал канал.
2. В один из элементов вводилась ошибка.
3. Экспертная система пыталась обнаружить причину.

Экспертная система, как правило, была близка к правильному решению, однако не могла справиться с задачей за требуемое время.

Следующая версия экспертной системы будет содержать знания, необходимые для работы с проволочными мониторами. Авторы полагают, что измененная система будет более эффективна.

Для работы над проектом ИТА используется VAXstation 3200 и программное средство разработки экспертных систем KEE. Работу ведут: один приглашенный специалист, занятый полный день, два техника и два менеджера. По мере необходимости к работе привлекаются эксперты для получения детальной информации о канале и способах его настройки.

### **3.3. Прототип экспертной системы для канала инжекции в PS Booster**

В последней работе, на которой мы остановимся, описан прототип экспертной системы для диагностики канала инжекции в PS Booster [9]. В данном случае мы не имеем информации об испытаниях прототипа на физическом оборудовании. Однако работа интересна с точки зрения предложенных в ней идей. Так, E. Malandain использовала несколько качественных и количественных взаимосогласованных моделей для исследования выдвинутых гипотез. Кроме того, детализация гипотез происходит постепенно, что соответствует постепенной локализации причин отклонения или неисправности. Заслуживает внимания также то, что прототип обращается к общей базе данных для получения необходимой информации.

Работа выполнялась на компьютерах Symbolics 3620 и Symbolics 3640, подключенных к компьютерной сети. Через сеть поступала оперативная информация. В качестве программного средства разработки экспертной системы использовалось КЕЕ.

#### 4. О возможности создания экспертной системы для управления выводом пучка протонов из У-70

Теперь мы рассмотрим возможность создания экспертной системы, которая может быть использована на действующем комплексе систем вывода протонного пучка из ускорителя У-70 ИФВЭ. Проанализировав перечисленные выше и некоторые другие работы, мы пришли к выводу, что экспертная система должна быть ориентирована на работу в комплексе существующего программного обеспечения. Планируемое окружение экспертной системы для управления выводом показано на рис.2.

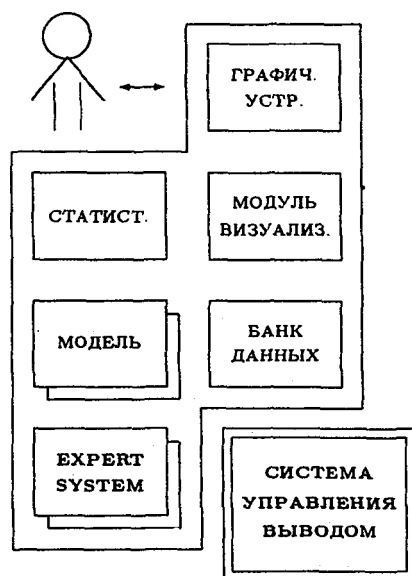


Рис. 2. Окружение экспертной системы.

Здесь нужно заметить, что значительная часть программ, окружающих экспертную систему, для эксплуатируемых установок уже существует и может быть непосредственно использована. При этом экспертная система должна быть способна адаптироваться к изменению этих программ или даже к их замене.

Отдельно хотелось бы остановиться на модели. В работе [10] использовалась модель матрицы производных в процедуре коррекции траектории пучка. Коррекция происходила следующим образом:

1. Обработывались данные с датчиков положения пучка и определялся его центр тяжести.
2. Используя модель матрицы производных, программа минимизировала взвешенную сумму квадратов отклонений пучка в местах расположения мониторов и в случае, если отклонения превышали заданную погрешность, вычисляла значения токов в отклоняющих магнитах системы вывода и корректорах канала транспортировки.
3. Выдавалась команда на исполнительные механизмы и устанавливались вычисленные значения токов. После чего процедура повторялась с п.1.

Эксперименты проводились для трассы ( 18 - 20 - 22 - 26 - 30 - 8к ). Максимальное число датчиков положения 7, число использовавшихся магнитов 6. Если пучок был виден на всех датчиках, то коррекция трассы осуществлялась за 1-3 итерации при статистике 3 цикла на одну коррекцию.

Таким образом, модель матрицы производных показала свою эффективность для коррекции трассы вывода. Отметим, что эта модель хорошо работает в условиях больших дипольных возмущений. Возмущения более высоких порядков могут изменить матрицу производных, однако существование простых процедур экспериментальной коррекции самой матрицы позволяет использовать ее и в этих случаях. Поэтому отказ от использования модели в проекте ИТА представляется нам не достаточно обоснованным. В планируемой экспертной системе модель матрицы производных будет выступать как существенный источник знаний для коррекции трассы.

Сформулируем теперь в общем виде задачу для экспертной системы так, как она стоит перед оператором систем вывода: 1) обеспечить максимальное значение величины  $E = I_{\text{вывод}}/I_{\text{забир}}$  при минимальном отклонении других характеристик пучка от требуемых значений; 2) минимизировать время включения, настройки и диагностики комплекса. Эта задача на практике разделяется на ряд подзадач:

1. Выбор рабочего режима, включение систем, установка выбранного режима.
2. Включение вывода, оценка параметров вывода, выработка рекомендаций о дальнейших действиях.
3. Применение моделирующих программ для настройки и диагностики (трассировка с помощью координатных детекторов, трассировка с помощью мониторов потерь, фокусировка).

4. Использование *ручных* процедур настройки и диагностики.
5. Выключение систем.

Каждая такая подзадача может решаться при помощи подчиненной экспертной системы. В рамках экспертной системы могли бы быть решены еще две очень важные задачи, которые на сегодня не решены полностью. Одна из них — полное описание порядка включения и наладки системы быстрого вывода. Вторая задача — использование экспертной системы как тренажера для подготовки операторов и повышения их квалификации.

Целесообразно было бы использовать в экспертной системе не только ту информацию, которая вводится в ЭВМ с помощью АСУВ<sup>2</sup> [11], но и информацию с обзорных дисплеев, телевизионной системы, другую визуальную информацию (прохождение синхроимпульсов, блок-сигналы и т.д.), воспринимаемую оператором, которая может быть введена в режиме диалога. Тем самым мы в какой-то степени уменьшим недостатки, перечисленные в разделе 1.3 ("отсутствие сенсорной информации" и "отсутствие здравого смысла"). Такая система должна достаточно наглядно отображать информацию о состоянии дел, о предпринятых и предпринимаемых действиях, а также о возможных альтернативах. В случаях, когда система сама не может справиться с задачей, работая *в линию* с оборудованием вывода, она должна дать совет, что необходимо сделать дальше.

Что касается базы данных, то в данном случае она может состоять из нескольких частей:

1. База текущих данных о работе У-70 и систем вывода, включающая в себя:
  - а) информацию о токах (напряжениях) магнитооптических элементов;
  - б) данные о пучке (интенсивность, положение и размеры пучка, "потери");
  - в) дозиметрическую обстановку.
2. База "накопленной" информации, включающая в себя:
  - а) библиотеку режимов и обработанную информацию о реализованных режимах вывода;
  - б) технические параметры систем У-70 и вывода (геометрию и расположение, апертурные ограничения, кривые намагничива-

---

<sup>2</sup>автоматизированная система управления выводом

ния магнитооптических элементов, параметры профилометров и т.д.);

- в) характеристики оптимизационных процедур, применявшихся на практике, систематизированные в виде экспериментальных зависимостей вида  $V_i = f(I_j)$ ;
- г) некоторые эксплуатационные зависимости, например, связь между задаваемой величиной (уставка), физической величиной (ток в системе) и величиной, которую оператор желает изменить (положение пучка).

Строго говоря, пункты 2.в и 2.г можно рассматривать не как данные, а как часть базы знаний, ибо в них содержится определенная совокупность знаний.

Для иллюстрации возможностей использования настроечных процедур обратимся к рис.3.

На нем представлены зависимости отбираемой интенсивности пучка от тока в системе локального искажения орбиты (бамп). Эта простая картинка дает возможность сделать следующее:

- оценить работу бампа;
- сделать заключение о работе измерителей положения пучка;
- сделать вывод о качестве ускоренного пучка;
- рекомендовать и обосновать режим работы бампа;
- выставить рабочий режим или
- дать команду на выключение вывода до устранения обнаруженных неисправностей.

Экспертная система может быть размещена на персональной ЭВМ, которая будет являться также средством общения оператора вывода с АСУВ и экспертной системой. В целях ускорения работы в экспертной системе целесообразно использовать быстрые процедуры обработки данных и манипулирования знаниями. С этой же целью значительная часть экспертной системы может быть написана на языке "С". Работу с графикой следовало бы собрать в отдельный модуль, содержащий небольшое число *различных* графических функций, что облегчило бы переход к широко распространенным графическим стандартам в будущем.

В заключение авторы хотели бы выразить признательность оперативному персоналу ОКУ, а также Ю.В. Миличенко и А.Г. Невскому за плодотворные обсуждения и поддержку данной работы и М.Л.Фоломешкиной за помощь в подготовке рукописи.



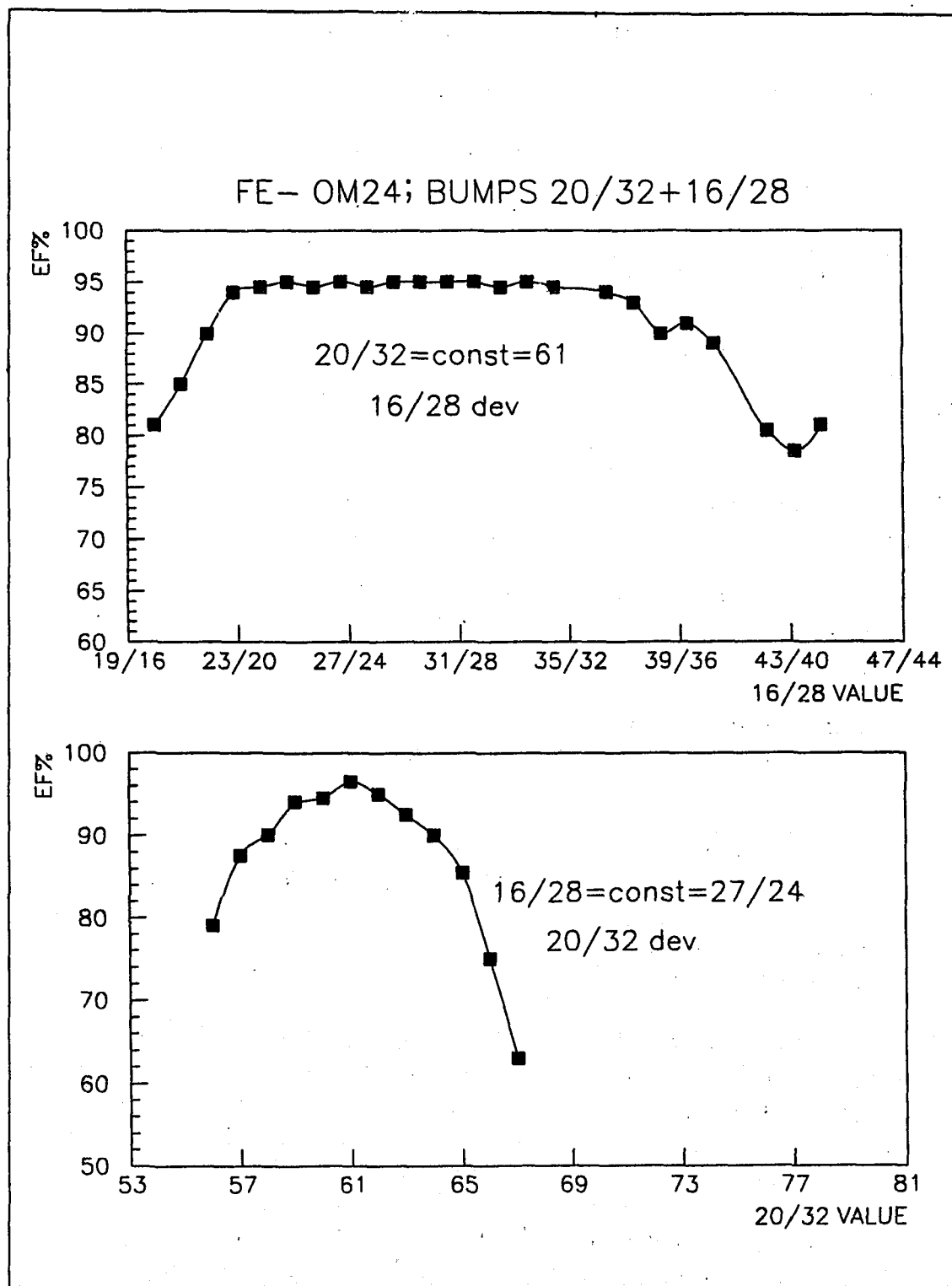


Рис. 3. Зависимость отбираемой интенсивности пучка от тока бампа.

## Список литературы

- [1] Уотерман Д. *Руководство по экспертным системам*. – М., Мир, 1989.
- [2] Нейлор К. *Как построить свою экспертную систему*. – М., Энергоатомиздат, 1991.
- [3] *New Computing Techniques in Physics Research*. DU CNRS, Paris, 1990. *Proceeding of first International Workshop on Software Engineering, Artificial Intelligence and Expert System for High Energy Physics. Lyon (France), March 19-24, 1990.*
- [4] *Построение экспертных систем* / Под ред. Ф. Хейес-Рот, Д. Уотерман, Д. Ленат. – М., Мир, 1987.
- [5] Lee M. *Model-based Expert System for Linac computer controls*: Prep. SLAC-PUB-4724, September 1988.
- [6] Lee M., Clearwater S. *GOLD: Integration of Model-Based Control Systems with Artificial Intelligence and Workstations*: Prep. SLAC-PUB-4396, August 1987.
- [7] Lee M., Clearwater S., Kleban S., Selig L. *Error-finding and error-correcting methods for the start-up of the SLC*: Prep. SLAC-PUB-4214, February 1987.
- [8] Schultz D., Brown P. *The Development of an Expert System to Tune a Beam Line*: NIM. A293 (1990) 486-490, Elsevier Science Publishers B.V.
- [9] Malandain E. *Application of a diagnostic Expert System in the Accelerator domain*: Prep. CERN/PS 89-52 (OP), September 1989.
- [10] Афонин А.Г., Волков Б.С., Максимов А.В., Самойлов А.В. *Коррекция трассы быстрого и медленного выводов на протонном синхротроне ИФВЭ*. – В сб.: Труды 5-го Всесоюзного семинара по программе экспериментальных исследований на мезонной фабрике ИЯИ АН СССР. – М., 1987, с.114-116.
- [11] Афонин А.Г., Присяжных С.Г., Соколов С.В. *Развитие прикладного ПО в системе вывода пучка*: Препринт ИФВЭ 91-151, Протвино, 1991.

Рукопись поступила 12.03.92

А.Г. Афонин и др.

О возможности использования экспертных систем в управлении ускорителем.

Оригинал-макет подготовлен с помощью системы  $\text{\LaTeX}$

Редактор М.Л. Фоломешкина. Технический редактор Л.П. Тимкина.

Подписано к печати 17.03.1992.

Формат 60 × 90/16.

Офсетная печать. Печ.л. 1.00. Уч.-изд.л. 1.16. Тираж 260. Заказ 190.

Индекс 3649

Цена 1 руб. 70 коп.

Институт физики высоких энергий, 142284, Протвино Московской обл.

1 руб. 70 коп.

Индекс 3649

---

ПРЕПРИНТ 92-39, ИФВЭ, 1992

---