

УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ

КИБЕРНЕТИЗАЦИЯ  
НАУЧНОГО  
ЭКСПЕРИМЕНТА

7

Министерство высшего и среднего специального образования  
Латвийской ССР

Латвийский ордена Трудового Красного Знамени  
государственный университет имени Петра Стучки

Проблемная лаборатория физики полупроводников

Ученые записки

Латвийского государственного университета

имени Петра Стучки

том 255

КИБЕРНЕТИЗАЦИЯ НАУЧНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Выпуск 7



Латвийский государственный университет им. П. Стучки  
Рига 1976

## КИБЕРНЕТИЗАЦИЯ НАУЧНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Выпуск 7, 1976.

В сборнике рассмотрены методические вопросы организации экспериментов в области физики твердого тела и вопросы программного обеспечения систем обработки экспериментальной информации.

В первой части предлагается язык описания экспериментов и сообщается о результатах использования этого языка для анализа около 4000 публикаций по экспериментальным работам. Цель анализа - определение общих закономерностей организации эксперимента.

Во второй части дано описание модуля диалога с ЭВМ М-6000, дисплейного редактора, проекта системы обработки спектров ВАРИАТОР-М, а также теоретические вопросы сглаживания и анализа спектров.

Сборник предназначается для научных работников и студентов, интересующихся вопросами организации экспериментов и обработки результатов эксперимента.

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ю. Кузьмин (главный редактор), Л. Миллер (зам. главного редактора), В. Полмане, Я. Страумен, И. Тале, Э. Тарденак, Я. Янсон.

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
ЛГУ им. П. Стучки от 25 июня 1976 года

© Латвийский государственный университет им. П. Стучки, 1976

К 30500-112у 213-76  
М 812(11)-76

# ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

УДК 53.08:539,8

Ю.Я.Кузьмин

## БАЗОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Предложен язык записи экспериментальных методов в области физики твердого тела. Использование этого языка для анализа современных экспериментов позволило выявить 350 разнообразных экспериментальных методов. Установлено, что около 20 методов использовались в 50% всех экспериментальных работ, результаты которых опубликованы в реферативном журнале "Физика твердого тела" № 1-5 за 1974 г. и в журнале "Физика твердого тела" за 1973 г.

Рассмотрена проблема разнообразия методов обработки результатов экспериментов. Найдено, что наиболее частые процедуры - смена координат кривых и анализ спектров.

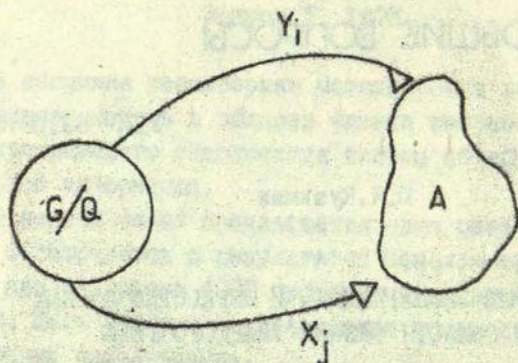
### I. Особенности эксперимента

#### I.1. Предмет анализа

В настоящей статье сделана попытка рассмотреть эксперимент в области физики твердого тела как глобальную систему, получающую и перерабатывающую информацию о твердых телах (рис.1). Подобный подход представляет интерес со многих точек зрения.

Во-первых, он позволяет выработать единую точку зрения при рассмотрении развития экспериментальных методов в области физики твердого тела.

Во-вторых, возникает возможность выявить наиболее популярные методы и их комбинации, что, в свою очередь,



Р и с. 1. Эксперимент в области физики твердого тела как глобальная система исследования объектов (А).

$Y_i$  - измеряемые параметры;  $X_j$  - воздействия на объект исследования,  $Q$  - методы обработки результатов эксперимента,  $G$  - методы экспериментирования.

делает возможным обоснование оснащения научных лабораторий (особенно вновь создаваемых) экспериментальными методами, пригодными для проведения относительно полных по отношению к определенным задачам исследований твердых тел.

В-третьих, становится реальной постановка ряда технических проблем, таких как стандартизация экспериментального оборудования, разработка автоматизированных научно-исследовательских систем и программного обеспечения эксперимента, а также автоматизированных систем обработки результатов эксперимента в области физики твердого тела.

Наконец, появляется надежда на создание способа сравнительного анализа различных методик проведения эксперимента.

Существует несколько альтернатив решения подобных задач. Весьма распространен анкетный метод сбора необходимой информации по институтам и лабораториям заданного про-

филя. Организационные сложности этого метода очевидны; кроме того, получаемая при этом информация будет неполной и низкого качества.

Другой метод связан с анализом литературных источников. Он не имеет организационных сложностей, однако требует весьма тщательного выбора анализируемого материала и самой процедуры анализа.

В настоящей работе предпочтение отдано второму методу. При этом в качестве исходного материала выбран реферативный журнал "Физика твердого тела" (№ 1-5 1974 г.) и журнал "Физика твердого тела" (1973 г.).\* Этот выбор, как будет видно из дальнейшего, не был случайным. Реферативный журнал прост в анализе и содержит достаточно полную информацию общего характера в области экспериментов по физике твердого тела, в то же время журнал "Физика твердого тела" позволяет получить конкретные данные по экспериментам, особенно проводимым в СССР. Оба журнала достаточно фундаментальны, чтобы полученные результаты носили общий характер и отражали актуальные вопросы в области экспериментов по физике твердого тела.

При обследовании литературных источников автор, по мере возможности, отмечал следующую информацию:

- 1) используемая методика эксперимента;
- 2) количество авторов статьи и отмеченных ими специалистов, помогавших в проведении эксперимента;
- 3) объекты исследований;
- 4) год создания аппаратуры эксперимента;
- 5) тип измерительных параметров;
- 6) тип параметров физических воздействий;
- 7) диапазон изменения параметров воздействий;
- 8) способ регулирования физических воздействий;
- 9) применение ЭВМ в эксперименте или обработке результатов;
- 10) форма представления результатов эксперимента;

\* Далее эти журналы будем обозначать РФФ(ТТ) и ФТТ, соответственно.

11) способ<sup>63</sup> обработки результатов эксперимента;

12) комбинации, в которых используются различные методы экспериментирования при решении конкретных задач в области физики твердого тела.

Кроме того, автором отмечалась возможность использования ЭВМ для управления экспериментом, упомянутом в реферате или статье.

Систематизация указанной информации позволяет ответить на важные, по мнению автора, вопросы.

1. Имеются ли некоторые закономерности в выборе объектов исследований, или это слабо структуризованное множество объектов?

2. Каковы характерные черты эксперимента в физике твердого тела?

3. В каких областях изменяются физические воздействия и измеряемые параметры в эксперименте?

4. Существует ли определенная структура, объединяющая методы экспериментирования в области физики твердого тела?

5. Велико ли разнообразие экспериментальной информации?

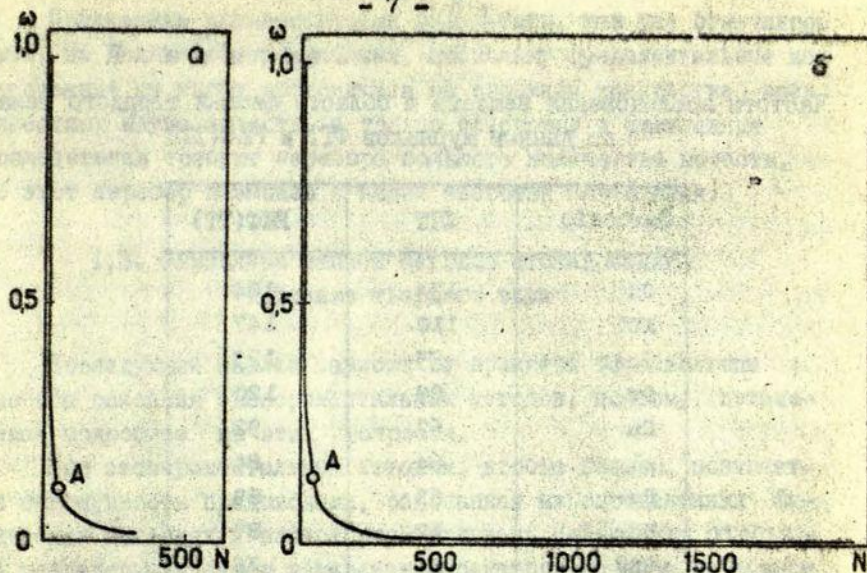
6. Велико ли разнообразие методов обработки экспериментальной информации?

## 1.2. Объекты исследования в физике твердого тела

Известно [1], что ежегодно синтезируется около  $10^5$  новых веществ. Существующее состояние экспериментальной техники в области физики твердого тела не позволяет производить детальное исследование этих веществ. Как показал анализ, лишь незначительная часть веществ подвергается таким исследованиям, причем эти вещества можно условно разбить на два класса.

1. Систематически исследуемые объекты. Сюда прежде всего относятся объекты, на которых проводятся фундаментальные исследования, а также объекты, представляющие особый интерес для промышленности.

2. Несистематически исследуемые объекты, в том числе новые материалы и объекты с выраженными свойствами, легко



Р и с. 2. Ранжированные по частоте ( $\omega$ ) исследования вещества ( $N$ ).

доступными для измерений, а также объекты, интерес к которым по каким-либо причинам упал.

Это деление условно, поскольку, как показывает опыт, популярные технические материалы становятся объектами фундаментальных исследований и, наоборот, некоторые объекты фундаментальных исследований становятся менее популярными и поэтому переходят во второй класс.

Данные по частоте исследований ( $\omega$ ) различных веществ, полученные по материалам ФТТ, изображены в виде графика на рис.2,а.

Точка А делит кривую на два класса - часто исследуемые вещества (3,7% веществ обследуются в 25% работ) и редко исследуемые вещества.

Аналогичная зависимость наблюдается и при анализе реферативного журнала "Физика твердого тела" (рис.2,б).

В табл. I приводятся названия и численные данные частот исследования наиболее популярных веществ из ФТТ и РЖФ(ТТ), соответственно. Зафиксировано около 2000 веществ (сюда также входят органика и сплавы) разных наименований по материалам РЖФ(ТТ).



Т а б л и ц а I

Частоты исследования веществ в области физики твердого тела  
по данным журналов ФТТ и РЖФ(ТТ)

Вещество	ФТТ	РЖФ(ТТ)
Si	134	184
KCl	110	147
GaAs	95	123
Ge	89	120
Cu	67	92
Al	64	84
Fe	63	89
KBr	62	87
CdS	56	76
NaCl	54	72
LiF	46	65
Ni	38	48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33	46
Au	31	41
ZnS	30	37
KJ	29	40
Zn	26	34
Ag	25	34
C	24	55
Se	22	27
GaP	21	27
SiO <sub>2</sub>	21	31
W	21	26
InSb	20	-
Pd	20	28
Te	-	26

Полученные количественные результаты, как уже отмечалось выше, не являются неожиданными, поскольку фундаментальные исследования не могут проводиться на огромном количестве всех известных науке веществ, и только поисковые и прикладные исследования требуют перебора большого количества веществ, но этот перебор возможен с малой частотой повторения.

### 1.3. Символика записи методов исследований в физике твердого тела

Последующий анализ зависит от принятой терминологии и способа описания экспериментальных методов, поэтому остановимся подробнее на этих вопросах.

Под экспериментальным методом, вообще говоря, понимается совокупность предписаний, основанная на определенных физических явлениях и позволяющая получать информацию об объекте исследования путем измерения параметров объекта в искусственно задаваемых исследователем условиях. Вопросу определения экспериментального метода посвящена специальная философская литература. Однако, не вдаваясь в детали этого вопроса, отметим главное, необходимое для последующего анализа.

Боякий эксперимент означает определение (измерение) некоторых параметров, которые сопоставляются с реакцией объекта исследования на физические воздействия, налагаемые на объект в процессе измерений (или до него). В качестве примера рассмотрим исследование люминесценции в условиях изменяющихся тепловых воздействий. В данном случае эксперимент состоит в измерении светового потока (обозначим через  $I$ ), возникающего в ответ на возрастающий, например, линейно тепловой поток (обозначим через  $T$ ). Известно, что свет характеризуется рядом параметров (интенсивность  $0$ , длина волны  $L$ , угол поляризации  $Y$ , частота модуляции  $F$  и др.), то же самое относится и к температурному воздействию. Мы будем различать эти две группы параметров: первую группу, куда относятся  $I, T$ , назовем группой основных параметров, а вторую ( $0, L, Y, F$ ) — группой вспомогательных параметров, определяющих условия задания основных параметров.

Всякий экспериментальный метод предполагает прежде всего наличие одного или нескольких основных измеряемых параметров ( $Y$ ), одного или нескольких основных параметров, характеризующих физические воздействия ( $X$ ) на объект исследования, а также способы изменения вспомогательных параметров во времени или в зависимости от других координат.

Как показал опыт, учет указанных характеристик позволяет, не перегружая деталями процедуру анализа, получить достаточно нетривиальную информацию об экспериментах [2], однако для этого необходимо принять соглашение о способе записи экспериментальных методов, едином для всех случаев. Этот способ должен прежде всего содержать омонимичную записи основных компонентов метода, по которым можно отличать методы друг от друга.

Можно указать три основных принципа различия методов.

1. Различие по параметрам воздействий ( $X$ ) на объект исследования и параметрам реакций ( $Y$ ) объекта. Запись метода при этом будет следующая:

$$\bar{y} - \bar{x}_1 : \bar{x}_2 : \dots : \bar{x}_k - \quad (1)$$

Здесь  $\bar{y}$  - измеряемый параметр,  $\bar{x}_1, \dots, \bar{x}_k$  - множество воздействий, налагаемых на объект в процессе измерения.

2. Различие по вспомогательным параметрам, задаваемым для каналов воздействий и измерительных каналов. Запись (1) при этом усложняется:

$$\bar{y}(b_1, \dots, b_k) - \bar{x}(b'_1) : \dots : \bar{x}(b'_k) - \quad (2)$$

Здесь  $b_i, b_j$  - множество вспомогательных параметров для измерительных и воздействующих каналов, соответственно.

3. Различие по способам изменения значений параметров в процессе эксперимента относительно упорядоченного множества их значений (например, фиксация длины волны света в одной точке, линейное сканирование длины волны света в определенной области спектра, выборочная установка длины волны в разных точках спектра либо более сложный функциональный режим, когда длина волны устанавливается в зависимости от результатов измерений).

Участь все это можно в следующей записи:

$$Y(b'_1/d_1) - X(b'_2/d_2) - b_1, b'_2 \in B. \quad (3)$$

Здесь  $d$  - функциональный режим.

В дальнейшем будет показано, что в современной экспериментальной физике используются в основном три режима - фиксация, линейное сканирование и ступенчатое изменение параметров. Соответственно введем три упрощенных обозначения  $\cdot, \lambda, \Pi$ .

Физические воздействия в символических строках типа (3) будем отмечать лишь в тех случаях, когда в эксперименте задаются и поддерживаются либо регулируются параметры этих воздействий, иными словами, если эти воздействия отличаются от нормальных (комнатных) условий. Таким образом, вакуум, создаваемый в экспериментальных установках при исследовании твердых тел, будет примером своеобразного воздействия на объект, в то же время неконтролируемое космическое излучение, постоянно присутствующее во время всех экспериментов, мы не будем включать в символические строки.

Для конкретных записей необходимо еще принять неизменные обозначения для физических параметров (табл.2).

Приведем некоторые пояснения к использованию обозначений при построении символических записей экспериментальных методов:

- $I(L/\cdot)$  - световой поток фиксированной длины волны  $L$ ;
- $I(Y/\cdot)$  - световой поток под фиксированным углом к поверхности исследуемого образца;
- $I(L/\lambda, Y/\Pi)$  - световой поток с линейным сканированием по  $L$  при разных углах  $Y$  падения к поверхности образца или выхода из объема образца, если измеряется свет, излучаемый образцом;
- $I(Y_1, Y_2/\lambda)$  - поляризованный световой поток (сканирование по  $Y_2$ ), выходящий под углом  $Y_1$  к образцу;
- $I(L, F)$  - световой поток длины волны  $L$ , модулированный с частотой  $F$ ;
- $I(O/\lambda)$  - линейно сканируемая температура  $T$ ;
- $I(L/\lambda, O/\Pi)$  - световой поток, линейно сканируемый по длинам волн  $L$  при разных интенсивностях  $O$ .

Эти пояснения сохраняют свой смысл при переходе к другим параметрам.

Т а б л и ц а 2

Символика обозначений физических параметров

Идентификатор	Обозначаемая величина
I	ИНТЕНСИВНОСТЬ СВЕТА
Z	ИНТЕНСИВНОСТЬ ЗВУКА
J	ПЛОТНОСТЬ ТОКА
U	ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ
H	МАГНИТНОЕ ПОЛЕ
B	МАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ
E	ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ПОЛЕ
W	СВЧ-ПОЛЕ
K	РАДИОЧАСТОТНОЕ ПОЛЕ
D	ДЕФОРМАЦИЯ
T	ТЕМПЕРАТУРА
Q	ПОТОК ЭЛЕКТРОНОВ
G	ПОТОК ГАММА-КВАНТОВ
A	ПОТОК ИОНОВ
N	ПОТОК НЕЙТРОНОВ
P	ДАВЛЕНИЕ-РАЗРЕЖЕНИЕ ГАЗА
R	НАГРУЗКА МЕХАНИЧЕСКАЯ
L	ДЛИНА ВОЛНЫ (СВЕТА, ЗВУКА, РАДИОСИГНАЛА)
F	ЧАСТОТА СИГНАЛА
Y	УГОЛ
V	ВРЕМЯ
C	СКОРОСТЬ
X	РАССТОЯНИЕ
O	ИНТЕНСИВНОСТЬ

Имея в виду введенную выше символику и пояснения, будем считать, что два эксперимента различаются по методу, если им соответствуют две разные символические записи. Приведем примеры различающихся экспериментов.

$I-I(L/L):I(O)$  - эксперимент по замеру спектра люминесценции, возбужденной светом с линейно сканируемой длиной волны при фиксированном значении температуры (отличном от комнатной);

$I-I(L/L):I(O/P)$  - то же, но при функциональном режиме изменения температуры ;

$J-U(O/L)$  - эксперимент по замеру вольт-амперных характеристик вещества при комнатных температурах.

#### 1.4. Формализованный язык описания экспериментов в физике твердого тела

В 1.3. был рассмотрен неформализованный способ записи экспериментов. Более строгий способ записи методов может быть основан на использовании теории формальных грамматик и языков, разрабатываемых в математической лингвистике. Такой подход позволяет создать автоматизированную систему на основе ЭВМ для сбора и систематизации данных по методам исследований в области физики твердого тела. Прочитав некоторые неформальные определения, удачно вводящие в круг вопросов теории грамматик.

"Я з ы к есть множество предложений. Каждое предложение состоит из слов или символов. Предложения составляются из слов (символов) согласно правилам синтаксиса. Для определения синтаксиса какого-либо языка, в свою очередь, нужен некоторый язык. Язык, предназначенный для описания другого языка, называют м е т а я з ы к о м. Язык, используемый для описания синтаксиса языка, называют с я н т а к с и ч е с к и м м е т а я з ы к о м или м е т а с я н т а к с и ч е с к и м я з ы к о м.

Набор правил синтаксиса образует г р а м м а т и к у

языка. Правила синтаксиса могут описывать либо процедуру получения правильных предложений, либо процедуру распознавания "правильности" предложений, т.е. процедуру распознавания принадлежности предложений языку. В первом случае грамматику называют порождающей, а во втором - распознающей" ([3], с.215).

С целью описания грамматик наиболее часто используется так называемая Бэкусова нормальная форма (БНФ) - специальный метаязык Бэкуса, первоначально примененный для описания АЛГОЛА [4]. Основной вид выражений следующий:

$$A ::= x \quad (4)$$

Здесь  $A$  - символ метаязыка,  $x$  - строка, содержащая символы описываемого языка или символы метаязыка. Чтение формулы (4): "A это есть x".

Формальная грамматика - это упорядоченная четверка множеств

$$G(N, T, R, S) \quad (5)$$

Множество  $N$  - это набор нетерминальных символов, относящихся только к метаязыку. Множество  $T$  - набор терминальных символов.  $R$  - множество грамматических правил вида (I). Более конкретный вид правила (4):

$$\langle A \rangle ::= \langle a \rangle | \langle b \rangle \quad (6)$$

Здесь в угловые скобки  $\langle \rangle$  заключены цепочки символов из  $N$ , знак  $|$  означает "или". Чтение (6): "символ  $A$  - это строка  $a$  или строка  $b$ ".

$S$  - это единственный нетерминальный символ, который встречается в правилах  $R$  лишь в левой части ( $S$  называется начальным символом).

Пусть:  $V = N \cup T$ , т.е.  $V$  - состоит из всех символов  $N$  и  $T$ ;  $\varphi, \psi, \omega$  - цепочки, составленные из символов  $V$ ;  $A, B$  - нетерминальные символы;  $a, b$  - терминальные символы. Хомский предложил [5] формальные грамматики классифицировать по типу правил  $R$  следующим образом.

Грамматика типа 0 задается правилами вида:

$$\varphi ::= \psi \quad (7)$$

где  $\varphi$  и  $\psi$  - любые цепочки из  $V$ .

Грамматика типа 1 задается правилами вида:

$$\varphi_1 A \varphi_2 ::= \omega \varphi_2 \quad (8)$$

Это контекстно-зависимая грамматика.

Грамматика типа 2 задается правилами

$$A ::= \omega \quad (9)$$

Это контекстно-свободная грамматика.

Наконец, грамматика типа 3 задается правилами

$$A ::= \omega, \omega = aB \quad \text{либо} \quad \omega = a \quad (10)$$

Теперь, после краткого рассмотрения исходных положений теории формальных грамматик, перейдем к построению грамматики языка записи методов экспериментальных исследований в области физики твердого тела. Обозначим этот язык через  $L_I$ , а соответствующую грамматику - через  $G_I$ .

Чтобы последующее изложение не было громоздким, введем естественные сокращения для символов метаязыка (нетерминальные символы):

символика метода = CM,

измеряемый параметр = ИП,

список вспомогательных параметров измерительного канала = СВИИ;

список воздействий одного метода = СВ,

идентификатор измеряемого параметра = ИИП;

идентификатор вспомогательного параметра измерительного канала = ИВИП,

список вспомогательных параметров каналов воздействия на объект исследования = СВВП;

идентификатор режима изменения параметра = ИРИП,

воздействие = В;

идентификатор воздействия = ИВ,

идентификатор вспомогательного канала воздействия = ИВВ,

идентификатор параметра = И,

идентификатор режима фиксации = ИРФ,

идентификатор режима последовательного сканирования = ИРИ,

идентификатор режима скачкообразных изменений = ИРС,

буква = Б,

целое число = ЦЧ,

цифра = Ц.



Зададим список терминальных символов

$T ::= \cdot - ( | ) | , | . : | \emptyset | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | A | B | C | \dots | Z$

Здесь  $\emptyset$  - обозначение нуля.

Теперь можно привести множество правил вывода грамматики языка символической записи экспериментальных методов в области физики твердого тела.

- $\langle SM \rangle :: = \langle ИП \rangle - \langle СВ \rangle - \quad (I1)$
- $\langle ИП \rangle :: = \langle ИИП \rangle (\langle СВИИ \rangle) | \langle ИИП \rangle \quad (I2)$
- $\langle СВИИ \rangle :: = \langle ИВИИ \rangle \langle ИРИИ \rangle | \langle СВИИ \rangle, \langle ИВИИ \rangle \langle ИРИИ \rangle \quad (I3)$
- $\langle СВ \rangle :: = \langle В \rangle | \langle СВ \rangle : \langle В \rangle \quad (I4)$
- $\langle В \rangle :: = \langle ИВ \rangle (\langle СВВ \rangle) | \langle ИВ \rangle \quad (I5)$
- $\langle СВВ \rangle :: = \langle ИВВ \rangle \langle ИРИВ \rangle | \langle СВВ \rangle, \langle ИВВ \rangle \langle ИРИВ \rangle \quad (I6)$
- $\langle ИИП \rangle :: = \langle И \rangle \quad (I7)$
- $\langle ИВ \rangle :: = \langle И \rangle^2 \quad (I8)$
- $\langle ИВИИ \rangle :: = \langle И \rangle \quad (I9)$
- $\langle ИВВ \rangle :: = \langle И \rangle \quad (20)$
- $\langle И \rangle :: = \langle Б \rangle | \langle Б \rangle \langle Ц \rangle \quad (21)$
- $\langle Б \rangle :: = A | \bar{B} | \dots | Z | \emptyset \quad (22)$
- $\langle Ц \rangle :: = \langle Ц \rangle \langle Ц \rangle | \langle Ц \rangle \quad (23)$
- $\langle Ц \rangle :: = 0 | 1 | \dots | 9 \quad (24)$
- $\langle ИРИИ \rangle :: = \langle ИР \rangle \langle ИРЛ \rangle \langle ИРС \rangle \quad (25)$
- $\langle ИР \rangle :: = | / . \quad (26)$
- $\langle ИРЛ \rangle :: = / L \quad (27)$
- $\langle ИРС \rangle :: = / П \quad (28)$

Легко показать, что здесь представлен вариант КС-грамматики (грамматика типа 2). Как известно, теория используемой здесь КС-грамматики хорошо разработана [6] и проверена на практике.

Покажем далее, каким образом можно списать комплексные эксперименты. Комплексный эксперимент заключается в объединении нескольких методик. В результате может пополниться множество измеряемых параметров (если разные методы основаны на отличающихся параметрах) и множество воздействий. Для описания соответствующих экспериментов грамматика GI должна быть расширена следующим образом.

Во-первых, необходимо ввести новый начальный символ и дополнительные символы:

символика комплексного метода = СКМ,  
список измерительных параметров = СИП,  
список воздействий комплекса = СВК.

Далее во множестве правил вывода R заменим правило(11)на более общее

$$\langle \text{СКМ} \rangle ::= (\langle \text{СИП} \rangle) - \langle \text{СВ} \rangle - \quad (29)$$

и дополним измененный таким образом перечень (II-28) правилами:

$$\langle \text{СИП} \rangle ::= \langle \text{ИП1} \rangle : \langle \text{ИП2} \rangle \quad (30)$$

$$\langle \text{СВК} \rangle ::= \langle \text{СВ1} \rangle : \langle \text{СВ2} \rangle \quad (31)$$

На основании правил (30,31) объединяются измерительные параметры и воздействия, используемые в разных методах.

$$\langle \text{ИП1} \rangle : \langle \text{ИП2} \rangle \equiv \langle \text{ИП2} \rangle : \langle \text{ИП1} \rangle \quad (32)$$

$$\langle \text{СВ1} \rangle : \langle \text{СВ2} \rangle \equiv \langle \text{СВ2} \rangle : \langle \text{СВ1} \rangle \quad (33)$$

$$\langle \text{ИВИП1} \rangle \langle \text{ИРИП1} \rangle : \langle \text{ИВИП2} \rangle \langle \text{ИРИП2} \rangle \equiv \langle \text{ИВИП2} \rangle \langle \text{ИРИП2} \rangle : \langle \text{ИВИП1} \rangle \langle \text{ИРИП1} \rangle \quad (34)$$

$$\langle \text{ИВВ1} \rangle \langle \text{ИРИП1} \rangle : \langle \text{ИВВ2} \rangle \langle \text{ИРИП2} \rangle \equiv \langle \text{ИВВ2} \rangle \langle \text{ИРИП2} \rangle : \langle \text{ИВВ1} \rangle \langle \text{ИРИП1} \rangle \quad (35)$$

Правила (32-35) разрешают перестановки в записях.

$$\langle \text{ИП1} \rangle : \langle \text{ИП1} \rangle \equiv \langle \text{ИП1} \rangle \quad (36)$$

$$\langle \text{СВ1} \rangle : \langle \text{СВ1} \rangle \equiv \langle \text{СВ1} \rangle \quad (37)$$

Правила (36,37) позволяют сокращать выражения. Смысл правил состоит в том, что при объединении нескольких методов с одними и теми же измеряемыми параметрами экспериментатор использует по одному прибору на каждый тип параметра. Данный факт и отражен в правиле (36). То же самое касается и воздействий (правило (37)).

Дополнительные возможности преобразований выражений открываются при использовании одного из основных теоретико-множественных понятий - отношения включения.

Будем считать, что некоторое множество А включает множество В, если все элементы из В принадлежат А. В этом случае будем писать:

$$B \subset A$$

(38)



Это отношение нами будет использовано для установления общности режимов изменения параметров. Были упомянуты три режима изменения параметра:

- 1) режим фиксации,
- 2) режим последовательного сканирования,
- 3) режим функциональных изменений.

Наиболее общим здесь является 3-й режим, поскольку однократное скачкообразное изменение параметра<sup>\*</sup> означает использование в эксперименте фиксированного значения. Последовательное сканирование параметров в сторону их убывания либо возрастания также является частным случаем наиболее простой реализации 3-го режима. Следующим по общности будет 2-й режим в силу тех же соображений.

Поэтому между множествами изменяемых в эксперименте параметров  $\mathcal{V}$  можно установить следующие отношения:

$$\mathcal{V} = \mathcal{V}/. \subset \mathcal{V}/\lambda \subset \mathcal{V}/\Pi . \quad (39)$$

Отношения (38) лежат в основе следующих соотношений:

$$y(\mathcal{V}/.) \subset y(\mathcal{V}/\lambda) \subset y(\mathcal{V}/\Pi) , \quad (40)$$

$$x(\mathcal{V}/.) \subset x(\mathcal{V}/\lambda) \subset x(\mathcal{V}/\Pi) . \quad (41)$$

При этом

$$y(\mathcal{V}/.) - \chi - \subset y(\mathcal{V}/\lambda) - \chi - \subset y(\mathcal{V}/\Pi) - \chi - , \quad (42)$$

$$y - \chi(\mathcal{V}/.) - \subset y - \chi(\mathcal{V}/\lambda) - \subset y - \chi(\mathcal{V}/\Pi) - . \quad (43)$$

Более того, если имеется несколько множеств

$$X_1(x_{11}, \dots, x_{1n_1}) \quad \text{и} \quad X_2(x_{21}, \dots, x_{2n_2}) ,$$

$$Y_1(y_{11}, \dots, y_{1n_1}) \quad \text{и} \quad Y_2(y_{21}, \dots, y_{2n_2})$$

таких, что  $X_1 \subset X_2$ , а  $Y_1 \subset Y_2$ , то

$$y - X_1 - \subset y - X_2 - \quad \text{для любых } y , \quad (44)$$

$$Y_1 - \chi - \subset Y_2 - \chi - \quad \text{для любых } x . \quad (45)$$

Иными словами, степень общности параметров, входящих в выражения для методов, непосредственно влияет на степень общности самих методов.

Покажем теперь на конкретных задачах, как можно практически использовать указанные положения.

<sup>\*</sup> Скачкообразное изменение параметра - дискретный способ реализации функционального изменения параметра.

Пример I. Здесь и в дальнейшем процедуру преобразования (и включения) выражения  $\omega$  в  $\psi$  будем записывать

$$\omega \xrightarrow{K} \psi \quad (\omega \stackrel{K}{\subseteq} \psi).$$

Читается: " $\omega$  преобразуется в  $\psi$  согласно правилам K" или " $\omega$  входит в  $\psi$  согласно правилам K".

Покажем, что метод  $I(L)-T(O):I(L1)-$  - есть частный случай метода  $I(L/l)-I(L1/l):T(O/n)-$

Действительно,

$$I(L)-T(O):I(L1)- \xrightarrow{35} I(L)-I(L1):T(O)- \stackrel{42}{\subseteq}$$

$$\stackrel{43}{\subseteq} I(L/l)-I(L1/l):T(O) \stackrel{43}{\subseteq} I(L/l)-I(L1/l):T(O/n) \stackrel{45}{\subseteq}$$

$$\stackrel{43}{=} I(L/l)-I(L1/l):T(O/n),$$

что и требовалось доказать.

В свою очередь, оба метода есть частные случаи (по (40) метода  $I(L/n)-I(L1/n):T(O/n)-$ .

Пример 2. Покажем, что объединение методов  $J-U(O):T(O/l)-$ ,  $J-U(O/l):n(O)-$ ,  $J-U(O):n(O/n):T(O/n)-$  включено в метод

$$J-U(O/l):T(O/n):n(O/n)-$$

Действительно, согласно (29-31), объединение методов можно отобразить

$$(J;J;J)-U(O):T(O/l):U(O/l):n(O):U(O):n(O/n):T(O/n)-$$

Это можно преобразовать следующим образом (применим вначале (36):

$$\stackrel{35}{\subseteq} J-U(O):T(O/l):U(O/l):n(O):U(O):n(O/n):T(O/n)- \stackrel{33}{\subseteq}$$

$$\stackrel{33}{\subseteq} J-U(O):U(n):U(O):n(O):n(O/n):T(O/l):T(O/n)- \stackrel{37}{\subseteq}$$

$$\stackrel{37}{\subseteq} J-U(O):U(O/l):n(O):n(O/n):T(O/l):T(O/n)- \stackrel{43}{\subseteq}$$

$$\stackrel{43}{\subseteq} J-U(O/l):U(O/l):n(O/n):n(O/n):T(O/n):T(O/n)- \stackrel{37}{\subseteq}$$

$$\stackrel{37}{\subseteq} J-U(O/l):n(O/n):T(O/n)- \stackrel{33}{\subseteq} J-U(O/l):T(O/n):n(O/n)-$$

что и требовалось доказать.

## 1.5. Классификация экспериментальных методов, используемых в физике твердого тела

Предложенный способ записи физических методов исследований твердых тел позволяет внести довольно естественную классификацию по измеряемым параметрам.

Результат анализа статей на основе использования предложенного языка показал [2], что многие сотни опытов, поставленных при исследованиях твердых тел, представляют собой разновидность значительно меньшей группы различающихся в указанном выше (1.3) смысле методов.

Ниже приводится перечень основных групп методов, зафиксированных в результате анализа РКФ(ТТ).

В этом перечне, с целью сокращения записей, принято:

$$T(O)=T, U(O)=U, N(O)=N, I(O)=I$$

### П Е Р Е Ч Е Н Ь

групп методов исследований в области физики  
твердого тела

#### 1. ГРУППА ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ МЕТОДОВ:

I-T(O/л)-, I(L/л)-G-, I(Y/л)-I(L)-, I(L)-I(L):I(L1/л)-,  
I-R(O/л)-, I(L/л)-A-, I(L/л)-A(O/л)-, I-Q(O/л)-,  
I(L/л)-Q(O/л)-, I(L/л)-N(O/л)-, I(L/л)-I(L1):T-,  
I(L)-I(L1/л):T-, I(L/л)-I(L1):T-, I(Y/л,L/л)-I(L2):I-,  
I(L,V/л)-I(L1/л):T-, I-R:T(O/л)-, I(L/л)-I(L1/л):T(O/л)-,  
I(L/л)-I(L1):T(O/л)-, I(L)-I(L1/л):I(L2/л):T(O/л)-,  
I-E(O/л):I(L)-, I-K:T(O/л)-, I-E(O/л):T(O/л)-, I-E(O/л):T-,  
I(L)-E:T(O/л)-, I(L/л)-Q(O/л):T(O/л)-, I(L/л)-E:G-,  
I(L)-I(L1/л):R(O/л)-, I(L/л)-H:J(L1)-, I(L/л,Y/л)-I(L1):H-,  
I(L)-G(L1/л):T-, I(L/л)-E:I(L1):T-, I(L/л)-I(L1):E:H-,  
I(L)-I(L1/л):W:T-, I(L/л)-I(L1):E:T:R-

2. ГРУППА МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ:

$11-1-$  ,  $11(L/\lambda, \nu/\lambda)-1(L/\lambda)-$  ,  $11(L/\lambda, \nu/\lambda)-1(L/\lambda, \nu/\lambda)-$  ,  
 $11(L/\lambda)-1(L/\lambda)-$  ,  $11(L/\lambda)-1(L/\lambda):1(L1)-$  ,  $11(L/\lambda)-1(L/\lambda):T-$  ,  
 $11(L/\lambda)-1(L/\lambda):T(O/\lambda)-$  ,  $11(L/\lambda)-1(L/\lambda):R(O/\lambda)-$  ,  
 $11(L/\lambda)-1(L/\lambda):H(O/\lambda)-$  ,  $11(L/\lambda)-1(L/\lambda):H(\nu/\lambda)-$  ,  
 $11(L/\lambda, \nu/\lambda)-1(L/\lambda, \nu/\lambda):H(O/\lambda)-$  ,  $11(L/\lambda)-1(L/\lambda):A-$  ,  
 $11(L/\lambda, \nu/\lambda)-1(L/\lambda, \nu/\lambda):E-$  ,  $11(L/\lambda)-1(L/\lambda):G-$  ,  
 $11(L/\lambda, \nu/\lambda)-1(L/\lambda, \nu/\lambda):H:T(O/\lambda)-$  ,  $11(L/\lambda)-1(L/\lambda):H(O/\lambda):T-$  ,  
 $11(L/\lambda)-1(L/\lambda):E:T-$  ;  $11(L/\lambda)-1(L/\lambda):G(O/\lambda):T-$  ,  
 $11(L/\lambda)-1(L/\lambda):A:T-$  ,  $11(L/\lambda)-1(L/\lambda):N:T-$  ,  
 $11(L/\lambda)-1(L/\lambda):E(F):T-$  .

3. ГРУППА МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО РАССЕИВАНИЯ:

$12(\nu/\lambda)-1-$  ,  $12(L/\lambda, \nu)-1-$  ,  $12(\nu/\lambda, L/\lambda)-1(L/\lambda):1(L1):-$  ,  
 $12(\nu/\lambda)-1:T-$  ,  $12(L/\lambda)-1(L1/\lambda):1(L/\lambda, \nu/\lambda):T(O/\lambda)-$  ,  
 $12(\nu/\lambda)-1:Z-$  ,  $12(\nu/\lambda)-1:R(O/\lambda)-$  ,  $12(\nu/\lambda)-1:E(O/\lambda)-$   
 $12(L/\lambda, \nu/\lambda)-1(L/\lambda):1(L1):T(O/\lambda):R(O/\lambda)-$  .

4. ГРУППА МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ОТРАЖЕНИЯ:

$13(\nu/\lambda)-1(\nu/\lambda)-$  ,  $13(L/\lambda, \nu)-1(L/\lambda, \nu)-$  ,  $13(\nu, \nu1/\lambda)-1(\nu)-$  ,  
 $13(L/\lambda, \nu, \nu1/\lambda)-1(L/\lambda, \nu1)-$  ,  $13(\nu)-1(\nu)-$  ,  $13(L/\lambda, \nu)-1(\nu)-$  ,  
 $13(\nu/\lambda)-1(\nu/\lambda):H(O/\lambda)-$  ,  $13(L/\lambda, \nu/\lambda)-1(L/\lambda, \nu/\lambda):H(O/\lambda)-$  ,  
 $13(L/\lambda, \nu/\lambda)-1(L/\lambda, \nu/\lambda):T(O/\lambda)-$  ,  $13(L, F)-1(L):T(O/\lambda):\nu T(O/F)-$   
 $13(\nu/\lambda)-1(\nu/\lambda):T(O/\lambda)-$  ,  $13(\nu/\lambda)-1(\nu/\lambda):H(O/\lambda):R(O/\lambda)-$  ,  
 $13(\nu, L/\lambda)-1(\nu, L/\lambda):T:E-$  .

5. ГРУППА МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПРЕЛОМЛЕНИЯ:

$14(L/\lambda)-1(L/\lambda)-$  ,  $14(L/\lambda, \nu/\lambda)-1(L/\lambda):E(O/\lambda)-$  ,  $14-1:R-$  ,  
 $14(L/\lambda, \nu/\lambda)-1(L/\lambda):H(O/\lambda)-$  ,  $14(L/\lambda, \nu/\lambda)-1(L/\lambda)-$  ,  
 $14(L/\lambda, \nu/\lambda)-1(L/\lambda):T(O/\lambda)-$  ,  $14(L/\lambda)-1(L/\lambda):T(O/\lambda)-$  ,  
 $14(L/\lambda)-1(L/\lambda):R(O/\lambda):T(O/\lambda)-$  .

6. ГРУППА МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ:

$J(F/\lambda)-U(F/\lambda)-$  ,  $J-U(O/\lambda)-$  ,  $J(\nu/\lambda)-U(O/\lambda)-$  ,  $J-U:T(O/\lambda)-$  ,  
 $J-U(O/\lambda):T(O/\lambda)-$  ,  $J-U:T(O/\lambda)-$  ,  $J(F/\lambda)-U(F/\lambda):T(O/\lambda)-$  ,  
 $J(F/\lambda)-U(F/\lambda):T(O/\lambda)-$  ,  $J(F)-U(F):T(O/\lambda)-$  ,  $J-U:R(O/\lambda)-$  ,  
 $J-U:H(O/\lambda)-$  ,  $J-U(O/\lambda):G(O/\lambda)-$  ,  $J-U:1(O/\lambda)-$  ,  $J-U:1(L/\lambda)-$  ,  
 $J(F)-U:1(L/\lambda, F)-$  ,  $J-U(O/\lambda):1(L/\lambda)-$  ,  $J-U:1(L/\lambda):1(L1/\lambda)-$  ,  
 $J(F/\lambda)-U(F/\lambda):Q-$  ,  $J-U:H(O/\lambda):T(O/\lambda)-$  ,  $J(F/\lambda)-U:H(O/\lambda, F/\lambda):T-$   
 $J-U:E(O/\lambda):T(O/\lambda)-$  ,  $J-U:1(L/\lambda):H(O/\lambda)-$  ,  $J-U:T(O/\lambda):R(O/\lambda)-$  ,

$J(F)-U(F):T(O/\lambda):R(O/\pi)-$  ,  $J-U:(L/\lambda):T(O/\pi)-$  ,  
 $U-U(O/\lambda):G:i(O/\pi)-$  ,  $J(F/\lambda)-U(F/\lambda):G:T(O/\pi)-$  ,  
 $J(F/\lambda)-U(F/\lambda):T(O/\pi):N-$  ,  $J-U:H(O/\lambda):R(O/\pi):T(O/\pi)-$  ,  
 $U-U(O/\lambda):i(O/\pi):R-$  .

7. ГРУППА МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ:

$U-I(O/\lambda)-$  ,  $U-I(L/\lambda)-$  ,  $U-T(O/\lambda)-$  ,  $U-T_1(O/\lambda):T_2(O/\lambda)-$  ,  
 $U(X/\lambda)-U-$  ,  $U-R(O/\lambda)-$  ,  $U-Z(O/\lambda)-$  ,  $U-E(O/\lambda)-$  ,  $U-E(O/\lambda):T(O/\pi)-$  ,  
 $U-I(L/\lambda):R(O/\pi)-$  ,  $U-H(O/\lambda):T(O/\pi)-$  ,  $U(F/\lambda)-H(O/\pi):T(O/\pi)-$  ,  
 $U-T:R(O/\lambda)-$  ,  $U-U:H(O/\lambda):T-$  ,  $U-I(O/\lambda):H:T-$  ,  $U-H:J:R(O/\pi)-$  ,  
 $U-I(L):E(O/\lambda):T-$  ,  $U-I(L/\lambda):J:H(O/\pi)-$  ,  $U-T(O/\lambda):R(O/\pi):G-$  ,  
 $U-U:H(O/\lambda):T(O/\pi):R(O/\pi)-$  ,  $U-U:H(O/\lambda):T(O/\pi):Q(O/\pi)-$  .

8. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНЕТИЗМА ТВЕРДЫХ ТЕЛ:

$B-H(O/\lambda)-$  ,  $B-H:T(O/\lambda)-$  ,  $B(F)-H(O/\pi)-$  ,  $B-H(O/\lambda):T(O/\pi)-$  ,  
 $B(F/\lambda)-B(F/\lambda)-$  ,  $B-R(O/\pi)-$  ,  $B-H(O/\pi):T(O/\lambda)-$  ,  $B-H(O/\lambda):I-$  ,  
 $B-H:i(O/\lambda)-$  ,  $H(F/\lambda)-H(F/\lambda):T(O/\pi)-$  .

9. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ В СВЧ-И РАДИОЧАСТОТНЫХ ПОЛЯХ:

$W(F)-W(F):H(Y/\lambda)-$  ,  $W(F)-W(F):i(O/\pi)-$  ,  $W(F)-W(F):T(O/\lambda)-$  ,  
 $W(F)-H(O/\lambda):W(F):i(O/\pi)-$  ,  $W(F)-W(F):H(O/\lambda):I-$  ,  
 $W(F)-W(F_1):W(F_2):H(O/\lambda):T-$  ,  $W(F)-W(F):H(O/\lambda, Y):i(O/\pi)-$  ,  
 $W(F)-W(F):H(Y/\lambda):T(O/\pi)-$  ,  $W(F)-W(F):H:i(O/\pi)-$  ,  
 $W(F)-W(F):H(O/\lambda):E(O/\pi):I-$  ,  $K(F/\lambda)-K(F/\lambda):I-$  ,  
 $K(F/\lambda)-K(F/\lambda):T(O/\pi)-$  ,  $K(F/\lambda)-K(F/\lambda):H(O/\pi)-$  ,  
 $K(F/\lambda)-K(F/\lambda):H:T-$  ,  $K(F/\lambda)-K(F/\lambda):H:(O/\pi)-$  ,  $K(F/\lambda)-K(F/\lambda):E:T-$  ,  
 $K(F/\lambda)-K(F/\lambda):E:T(O/\pi)-$  ,  $K(F)-K(F):H:R(O/\lambda):T(O/\pi)-$  .

10. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ ТЕЛ:

$D-R(O/\pi)-$  ,  $D(V/\lambda)-R(O/\pi)-$  ,  $D-R(O/\lambda)-$  ,  $D-E(O/\lambda)-$  ,  $D-T(O/\pi)-$  ,  
 $D-R(O/\pi):H(O/\lambda)-$  ,  $D-T:R:Q(O/\pi)-$  ,  $D-R(O/\pi):T(O/\lambda)-$  ,  
 $D-R(O/\lambda):T-$  ,  $D-R:T(O/\lambda)-$  ,  $D(V/\lambda)-R(F/\lambda):T(O/\pi)-$  ,  $D-H(O/\lambda):T-$  ,  
 $D-H(O/\lambda):T(O/\pi)-$  ,  $D(V/\lambda)-R(O/\pi):R(O/\pi)-$  ,  $D-H(O/\pi):T(O/\lambda)-$  ,  
 $D-T(O/\pi):P(O/\lambda)-$  ,  $D-G(O/\pi):T-$  ,  $D-E(O/\pi):T(O/\pi)-$  ,  
 $D-I(L/\lambda):R-$  ,  $D-R(O/\pi):N-$  ,  $D-R(O/\pi):P(O/\pi)-$  ,  $D-R:T(O/\pi):G-$  ,  
 $D-R:I(L):T(O/\lambda)-$  ,  $D-R:T(O/\lambda):N(O/\pi)-$  ,  $D-R:T:N(O/\pi)-$  ,  
 $D-R:T:P(O/\lambda)-$  .

11. МЕТОДЫ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТВЕРДЫХ

ТЕЛ:

$Q-E(O/l):P-$  ,  $Q(Y/l)-Q(Y/l):P-$  ,  $Q-Q:P:E(O/l)-$  ,  $Q-T(O/l):E:P-$   
 $Q(Y/l)-Q(Y/l):E:P-$  ,  $Q(Y/l)-Q(Y1):E:P-$  ,  $Q(Y, Y1/l)-Q(Y):E:P-$  ,  
 $Q-T(O/p):E:P-$  ,  $Q-E:P:l(L/l)-$  ,  $Q-Q:H(O/l):P-$  ,  $Q-G:T:P-$  ,  
 $Q-E:A(O/p):P-$  ,  $Q-R(O/p):E:P-$  ,  $Q(L/l)-G:T(O/p):P-$  ,  
 $Q-E:T:P:A(O/p)-$  ,  $Q-Q:H:P:R(O/p)-$  ,  $Q(L/l)-Q(L/l):T(O/l):P:E-$   
 $Q-Q:T(O/p):P:E(O/l)-$  ,  $Q-H:T(O/l):E:P-$  ,  $Q-Q:H:T(O/l):P-$  .

12. МЕТОДЫ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ:

$T-T(O/l)-$  ,  $T-T1(O/l):T2(O/l)-$  ,  $T(V/l)-T(O/l)-$  ,  $T-J-$  ,  
 $T-H:T(O/p)-$  ,  $T-T1(O/l):T2(O/l):H-$  ,  $T-T:H(O/p)-$  ,  $T-T(O/l):H-$   
 $T-T(O/l):H(O/p)-$  ,  $T-T(O/l):R(O/p)-$  ,  $T(V/l)-T(O/l):R(O/p)-$  ,  
 $T-T(O/l):G-$  ,  $T(V/l)-T(O/l):l(L)-$  ,  $T-T(O/l):P-$  .

13. МЕТОДЫ РЕНТГЕНОВСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ:

$G(Y/l)-G-$  ,  $G-G-$  ,  $G(Y, Y1/l)-G(Y1)-$  ,  $G(L/l)-G(L/l)-$  ,  
 $G(Y/l)-Q(Y/l)-$  ,  $G(L/l)-A(O/p)-$  ,  $G(C/l)-G:T(O/p)-$  ;  $G(C/l)-G:T-$   
 $G(L/l)-G(L/l):G-$  ,  $G(Y/l)-G(Y/l):T(O/p)-$  ,  $G(Y/l)-G:T(O/p)-$  ;  
 $G(L/l)-G:T(O/p)-$  ,  $G-G:T(O/l)-$  ,  $G(Y/l)-Q(Y/l)-$  ,  
 $G(L/l)-A(O/p)$  ,  $G(Y/l)-G:R(O/p)-$  ,  $G(Y/l)-G:H(O/p)-$  ,  
 $G(C/l)-G:T:H(O/p)-$  ,  $G-G:R:T(O/l)-$  .

14. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ В ИОННЫХ И НЕЙТРОННЫХ ПУЧКАХ:

$A(Y/l)-A(Y/l):H:P-$  ,  $A-T(O/l):P:E-$  ,  $A(L/l)-H:P:T(O/l)-$  ,  
 $A(L/l)-H:P:T(O/p)-$  ,  $A(L/l)-H(O/p):P:T(O/p)-$  ,  
 $A-H:P:T(O/p):A(L/l)-$  ,  $N(L/l)-N(L1):H:P-$  ,  $N(L/l)-N(O/p):H:P-$  ,  
 $N(L/l, Y/p)-N(L1):H:P-$  ,  $N(Y, Y1/l)-H(O/p):P:N(Y):T(O/p)-$  ,  
 $N(Y/l)-H:P:T:N(O/p)-$  .

15. МЕТОДЫ АКУСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТВЕРДЫХ ТЕЛ:

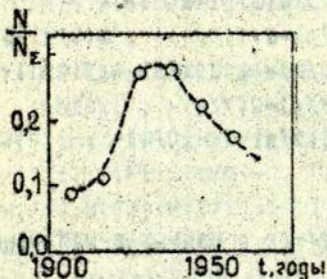
$Z(F/l)-Z(F/l)$  ,  $Z(Y, Y1/l, F)-Z(Y, F)-$  ,  $Z(Y/l, F)-Z(Y1, F)-$  ,  
 $Z(F, V/l)-Z(F, O/p):i-$  ,  $Z(F/l)-Z(F/l):T(O/p)-$  ,  $Z(F/l)-Z(F/l):H-$  ,  
 $Z(F, V/l)-Z(O/p, F/l):T-$  ,  $Z(F, V/l)-Z(F, O/p):T(O/p)-$  ,  
 $Z(F, V/l)-Z(F, O/p):H(O/p)-$  ,  $Z(F/l)-Z(F/l):H(O/p)-$  ,  
 $Z(F, V/l)-Z(F/p):Q(O/p)-$  ,  $Z(F, V/l)-Z(O/p, F):T(O/p):P(O/p)-$



Как видно из полученных результатов, разнообразие методов достаточно велико, однако все же существенно меньше, чем теоретически возможно. Последнее может быть довольно просто оценено относительно методов, различающихся по пункту I из I.3 (с.10). Действительно, пусть нижняя оценка числа основных измеряемых величин (см.перечень, с. 20) составляет 14, а физических воздействий - 15. Тогда общее разнообразие возможных методов будет

$$14 \times 2^{15} \sim 0,7 \cdot 10^7.$$

Разнообразие практически используемых методов составляет величину порядка нескольких сотен, что на 4 порядка меньше теоретической оценки. В значительной степени это связано с отсутствием теории и техники для проведения многопараметрических экспериментов, а также с низким уровнем автоматизации эксперимента.



Р и с. 3. Функция распределения открытий наиболее известных явлений по времени в области физики твердого тела.

$N$  - число новых методов, предлагаемых в течение каждых 10 лет,  $N_g$  - общее число предложенных методов.

Можно предположить, что следующий этап открытий новых методов исследований будет связан с внедрением автоматизации и переходом от качественных методов исследо-

В [7] автором были получены данные относительно поведения функции плотности открытия наиболее известных новых методов в физике твердого тела (рис.3). Оказалось, что максимум на кривой приходится на 30-40-е годы, а в настоящее время существует тенденция спада. Ход кривой, по-видимому, связан с развитием квантово-механических представлений с твердом теле, а также с развитием аналоговой электроники и возможностей ручного эксперимента.

Можно предположить, что следующий этап открытий

ваний к количественным. Это приведет к осуществлению более сложных методов, соответствующих экзотическим сейчас символическим записям, как, например:

U-I:Z:J:H:W:K:T:P:R:Q:G-

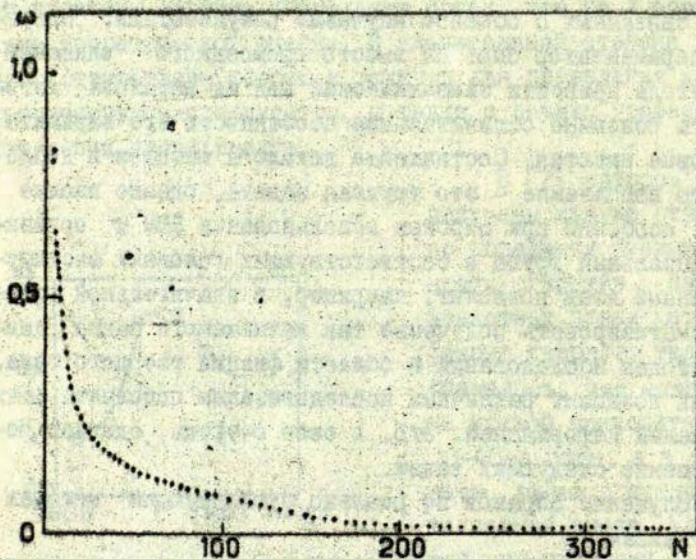
Экспериментальные установки с такими возможностями позволят получать об объектах исследований достаточно полную информацию с высокой степенью достоверности.

Разработка приводимого или иного варианта языка описания различных экспериментальных методов и широкое его применение позволили бы значительно упростить целый ряд проблем, связанных с обменом научными результатами. Например, экспериментатор смог бы вместо громоздкого описания своего метода привести символический код из каталога методов и дать основные отличительные особенности его варианта, если таковые имеются. Составление каталога методов и последующее его пополнение — это трудная задача, однако вполне реальная, особенно при широком использовании ЭВМ и организации специальных групп в соответствующих головных институтах. Описанный язык позволит, например, в значительной степени автоматизировать получение так называемого банка данных по методам исследований в области физики твердого тела. Общий язык позволит различным исследователям пополнять банк данных свежей информацией. Это, в свою очередь, сделает реальным решение следующих задач.

1. Получение справок по реально существующим методам и их комплексам.
2. Определение групп методов, с которыми связан интересующий физика метод.
3. Автоматическая генерация новых групп методов, отсутствующих в банке данных. Для этого потребуются пополнить предлагаемую грамматику языка правилами-ограничениями, вытекающими из физических соображений.
4. Определение расширений методов, интересующих физика.
5. Наконец, данный язык может явиться элементом языка программирования экспериментов, например, по символической записи метода может быть найден комплекс программ, требующийся для проведения эксперимента.

### 1.6. Базовые методы исследований в области физики твердого тела

Вопрос выбора экспериментальных методов исследований в области физики твердого тела можно сформулировать аналогично вопросу выбора объектов исследований. Анализ показал, что, как и в случае выбора объектов, частоты используемости различных методов не следуют закону равномерного распределения.



Р и с. 4. Ранжированная зависимость частот использования ( $\omega$ ) экспериментальных методов ( $N$ ) в области физики твердого тела. ( $N$  - ранжированный номер метода.)

Из рис.4 видно, что имеется небольшое количество методов с очень высокой частотой использования. Приблизительно 6% наиболее популярных методов использовано в 50% работ экспериментаторов. Аналогичный результат получен и при анализе журнала ФТТ ( $I_4 \rightarrow 50\%$ ). Это дает основание полагать, что в физике твердого тела существуют типовые методы иссле-

дований, которые назовем б а з о в ы м и. Вывод кажется вполне естественным, поскольку применение каждого метода невозможно без длительной стадии его теоретического обоснования, кроме того, любой метод связан с возможностями измерительной техники, экономическими затратами и, что самое главное, с комплексом физических свойств исследуемых объектов, разнообразие которых, как мы видели из Г.2, с учетом частот использования не очень велико.

Далее приведем 50 популярных (базовых) в физике твердого тела методов, упорядоченных по типу измеряемого параметра.

-----  
КОД МЕТОДА - НАЗВАНИЕ МЕТОДА (ЧАСТОТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА)-А  
-----

- 1(L/л)-1(L1):T- СПЕКТРЫ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ (127)\*-1
- 1(L,ν/л)-1(L1/п):T- КИНЕТИКА ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ (37)-2
- 1(L)-1(L1/л):T(O/п)- СПЕКТРЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ(28)-3
- 1(L/л)-1(O,L1):T- СПЕКТРЫ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ, ВОЗБУЖДЕННЫЕ ЛАЗЕРОМ (38)-4
- 1-E(O/п):T- ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ (34)-5
- 11(L/л)-1(L/л):T- СПЕКТРЫ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ (204)\*-6
- 11(L/л)-1(L/л):T(O/п)- ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СПЕКТРОВ ОПТИЧЕСКОГО ПОГЛОЩЕНИЯ (38)-7
- 11(L/ql)-1(L/л,γ/п)- ДИХРОИЗМ (28)-8
- 11(лик/л)-1(лик/л):T- СПЕКТРЫ ИК-ПОГЛОЩЕНИЯ (190)\*-9
- 12(L/л)-1(L1/п):1(L2,γ/п):T- СПЕКТРЫ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕИВАНИЯ (133)\*-10
- 12-1(γ/л)- ФОТОРАССЕИВАНИЕ (28)-11
- 12(L/л)-1(L1/л):1(L2,γ/п):T(O/п)- ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СПЕКТРОВ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЕИВАНИЯ (26)-12
- 13(x1/л,x2/л)-1- МИКРОСКОПИЯ В ОТРАЖЕННОМ СВЕТЕ (86)\*-13
- 13(лик/л,γ/п)-1(лик/л,γ/п):T- СПЕКТРЫ ИК-ОТРАЖЕНИЯ (33)-14
- 13(L/п,γ/л)-1(γ/л)- СПЕКТРЫ ОТРАЖЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО СВЕТА (19)-15
- 14(L/л,γ)-1(L/л,γ/п)- СПЕКТРЫ ПРЕЛОМЛЕНИЯ (24)-16
- 14(L/л,γ/п,γ1/п)-1(L/л,γ2/п)- СПЕКТРЫ ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЕНИЯ (23)-17
- J-U(O/л):T- ВОЛЬТАМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВАХ (236)\*-18
- J-U(O/л):T(O/п)- ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ВАХ (150)\*-19
- J-U:T(O/л)- ПРОВОДИМОСТЬ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ (50)\*-20

- J-U: I(O/L)- ФОТОПРОВОДИМОСТЬ (96)\*21  
J-U: I(L/L)- СПЕКТРЫ ФОТОПРОВОДИМОСТИ (37)-22  
J(F/L)-U(F/L)- ЧАСТОТНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПРОВОДИМОСТИ (47)-23  
J(F/P)-U(F/P):T(O/L)- ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПРОВОДИМОСТИ  
ПРИ РАЗНЫХ ЧАСТОТАХ (41)-24  
J(F)-U(F):T(O/L)- ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПРОВОДИМОСТИ ПРИ  
ФИКСИРОВАННЫХ ЧАСТОТАХ (33)-25  
U-I(O/L)- ВЕНТИЛЬНЫЙ ФОТОЭФФЕКТ (29)-26  
U-T(O/L)- ТЕРМОЭДС (74)\*27  
U-J:T(O/P):H(O/L)- ЭФФЕКТ ХОЛЛА (47)-28  
B-H(O/L)- МАГНИТНЫЙ ГИСТЕРЕЗИС (76)\*29  
B-H(O/P):T(O/L)- ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ МАГНИТНОЙ ВОСПРИ-  
ИМЧИВОСТИ (49)-30  
K(F/L)-H:K(F/L):T- СОЛИДЭФФЕКТ /JMP/ (142)\*31  
W(F/L)-H(O/L):W(F/L):T- ЭЛЕКТРОННЫЙ ПАРАМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС (154)\*32  
W(F/L)-H:W(F/L):T(O/P)- ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭПР (46)-33  
D(V/L)-R(O/P):T(O/P)- ДИЛАТОМЕТРИЯ (28)-34  
D(V/L)-R:T- ПОЛЗУЧЕСТЬ (36)-35  
D(V/L)-R(O/P)- ТЕКУЧЕСТЬ (102)\*36  
D(V/L)-R(O/P)- ПРЕДЕЛ ПРОЧНОСТИ (22)-37  
M(X/L)-T(O/P)- ДИФФУЗИЯ ВЕЩЕСТВА (77)\*38  
D(V/L)-R:T(O/P)- ТЕРМОСТРИКЦИЯ (35)-39  
D-R:T(O/L)- ПЛАСТИЧНОСТЬ (50)\*40  
Q-U:Q(Y/L):P- ЭЛЕКТРОНОГРАФИЯ (109)\*41  
Q(X1/L, X2/L)-Q:H:P- ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ (253)\*42  
-T(O/P)- ЗАКАЛКА-ОТЖИГ (339)\*43  
T-T(O/L)- ТЕПЛОЕМКОСТЬ (92)\*44  
T(X1, V/L)-T(X2, O/P)- ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ (64)\*45  
T-T(O/P)- ПЛАВЛЕНИЕ, КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ (75)\*46  
G(Y/L)-G- РЕНТГЕНОГРАФИЯ (173)\*47  
G-G(C/.):T(O/L)- СПЕКТРЫ ЯДЕРНОГО ГАММА-РЕЗОНАНСА (64)\*48  
A-H:A(L/L):T(O/P):P- ИОННАЯ БОМБАРДИРОВКА (99)\*49  
N(Y/L)-N(Y1, L/P):H:P- РАССЕЯНИЕ НЕЙТРОНОВ (35)-50

Примечания. I. Значком\* отмечены методы, приведенные в 50% обследованных работ.

2. Таблица подготовлена по РЖФ(ТТ) № 2,3,4,5,6 за 1974 год.

Свойства этих методов будут рассмотрены в дальнейшем.

## 2. Особенности обработки данных в области физики твердого тела

### 2.1. Разнообразие экспериментальной информации в области физики твердого тела

Анализ обширного материала показывает [2], что в физике твердого тела активно используются четыре способа представления экспериментальной информации:

- 1) отдельные замеры параметров ..... < 1%
- 2) спектральные зависимости ..... 49%
- 3) кривые, отличные от спектров ..... 46%
- 4) фотографии объектов исследования ..... ~ 5%

Сдиночный замер как результат всего эксперимента теперь стал крайне редким, а замеры, приводимые в виде таблиц, всегда можно отобразить в виде соответствующих графических зависимостей, что и было сделано автором при определении процентного распределения способов представления информации. Кривые, отличные от спектров, — это, как правило, зависимости либо типа степенных полиномов, либо типа показательных функций. Информация типа 2) и 3), как правило, представляется (в 60% случаев) в виде совокупности точек (в среднем около 20 на кривую); другой способ представления (в 40% случаев) — непрерывные кривые.

В табл.3 приведены средние и максимальные (для кремния) показатели в перечне на один образец, полученные в результате анализа ФТТ.

Интересно отметить, что, если принять максимальные оценки за показатели детальных исследований веществ, то возможности современных способов исследований объектов, которые вызвали интерес физиков, удовлетворяются менее, чем на 9%. В случае, если под детальным исследованием одного вещества понимать хотя бы однократное использование имеющихся методов исследования, то упомянутые возможности удовлетворяются менее, чем на 1%.

Таблица 3

Общие показатели на исследуемый образец	В среднем	Максимально
Количество экспериментов	2,3	19
" спектров	8,3	86
" кривых	7,7	80
" фотографий	0,8	7,5
" экспериментаторов	6,8	71

## 2.2. Разнообразие обработки результатов экспериментов в области физики твердого тела

Разнообразие обработки экспериментальной информации зависит от качества и разнообразия самой информации, а также от разнообразия в интерпретации результатов, что, в свою очередь, зависит от развитости теории, объясняющей явления в исследуемых объектах.

Обработка экспериментальной информации в области физики твердого тела становится систематическим явлением. Анализ ФТТ показывает, что около 60% экспериментов подвергается обработке. Вычислительные машины при этом используются в 7% случаев (включая задачи моделирования).

Обработка экспериментальной информации зависит от характера эксперимента. Согласно обследованию получено следующее соотношение количественных и качественных экспериментов в области физики твердого тела:

количественный эксперимент - 36%,  
 качественный эксперимент - 64%.

При этом к количественным относились те эксперименты, в которых авторы получали количественные значения параметров исследований (например, энергия активации процессов, подвижность и концентрация носителей, геометрические параметры

дефектов и т.п.). Естественно, любой количественный эксперимент дает и качественные результаты, но в данном случае к качественным экспериментам отнесли лишь те, в которых авторы не получали числовых значений параметров.

Выяснено, что не только количественные эксперименты требуют обработки результатов, но даже такие качественные исследования, в которых ставится вопрос типа "есть эффект - нет эффекта", при слабом эффекте требуют обработки данных (усреднение, вычитание фона и др.).

Было показано (2.1), что имеются три основных информационных объекта обработки в экспериментальной физике твердого тела: спектры, кривые и фотографии. Сразу отметим, что автоматизация обработки фотографий является труднейшей технической и математической задачей, слишком дорогостоящей для современных лабораторий, поэтому этот объект мы рассматривать не будем, тем более, что он составляет лишь 5% в общем потоке экспериментальной информации.

Что касается состояния обработки кривых и спектров, то оно достаточно хорошо иллюстрируется рис.5, полученным автором в результате детального анализа ФТТ.

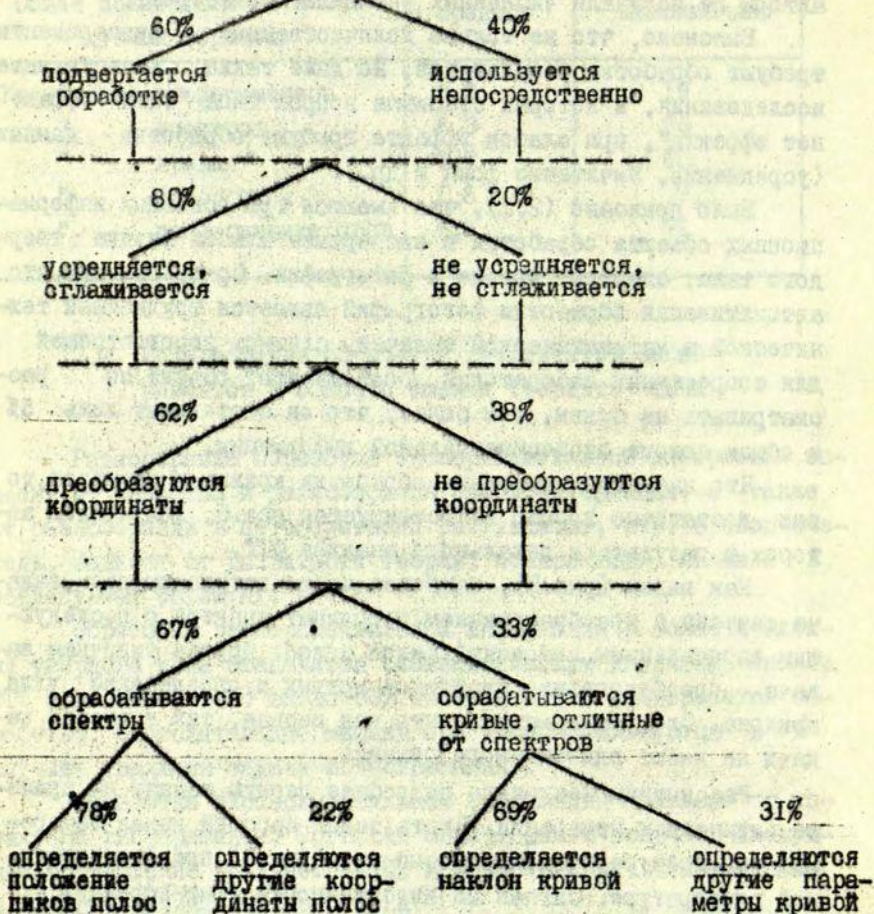
Как видим (рис.5), наиболее часто встречающаяся задача связана с преобразованием координат спектра с последующим определением положений пиков полос. Другая типичная задача - преобразование координат кривых и определение угла наклона. Следует отметить, что как первая, так и вторая задачи не имеют однозначного решения.

Рассмотрим несколько подробнее первую задачу на примере оптических измерений. Пусть задан простой канал измерения спектров рентгенолюминесценции (рис.6) при фиксированной температуре. Сигнал об интенсивности люминесценции  $\chi_1$  претерпевает, по крайней мере, следующие искажения:

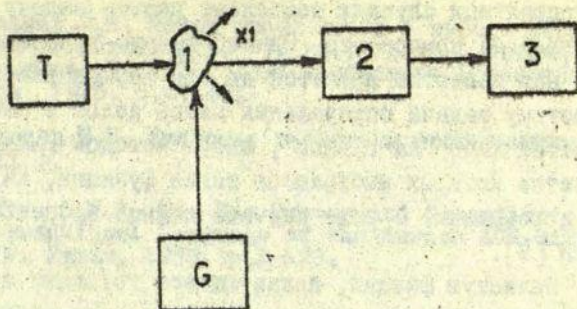
- 1) из-за нестабильности температуры сигнал  $\chi_1$  будет промодулирован ее колебаниями;
- 2) из-за нестабильности рентгеновского пучка этот сигнал будет также промодулирован;
- 3) из-за оптических особенностей монохроматора полосы люминесценции будут проинтегрированы в соответствии с его аппаратной функцией;



Измерительная информация в физике твердого тела



Р и с. 5. Разнообразие обработки эксперимента в области физики твердого тела.



Р и с. 6. Преобразование информации в измерительном канале.

Т - термическое воздействие, Г - рентгеновское воздействие, 1 - образец, 2 - монохроматор, 3 - фотоэлектронный умножитель.

- 4) из-за рассеяния света в приборах к  $X_1$  добавится фоновый сигнал;
- 5) из-за спектральной чувствительности фотоэлектронного умножителя  $X_1$  будет нелинейно искажен;
- 6) явления усталости фотоэлектронного умножителя приведут к тренду сигнала, зависящему от параметров сигнала;
- 7) температурная, вибрационная и радиационная нестабильность элементов канала приведут к появлению шумов в сигнале.

Ясно, что даже частичный учет этих факторов является очень серьезной вычислительной задачей, которая должна решаться во время измерений. В то же время даже очень сложные программы и быстродействующие ЦВМ не позволяют существенно избавиться от искажений измерений. Отсюда понятно, почему первичная обработка измерений (которая, как правило, происходит вручную) в экспериментальной физике твердого тела находится на примитивном уровне.

Однако, допустим, все же удастся провести измерения достаточно высокого качества. Гарантирует ли это качественное решение наиболее часто встречающейся задачи вторичной обработки - определение положений пиков полос в спектрах? Оказывается, что нет, поскольку для ответа на поставленный вопрос необходимо знать модели самих полос, что в наиболее

благоприятных случаях позволяет решить задачу разделения спектров на компоненты. Однако задача выявления моделей полюсов, как известно, является до сих пор не решенной проблемой и поэтому задача определения пиков полос в настоящее время решается либо "на глазок", либо методом шаблонов [8], в качестве которых выбираются такие функции, как гауссиана или лоренциана. В ряде случаев данный процесс автоматизирован [9].

Зачастую физики, пользующиеся готовыми автоматическими программами, не принимают во внимание крайнюю приближенность этих аппроксимаций, поэтому такие программы выдают ложную информацию о полосах. Причина этого в том, что более или менее сложный спектр может быть разложен на любое число компонентов в зависимости от желаемой степени приближения, точности счета, исходных посылок и других факторов.

Автор предполагает, что наиболее целесообразное решение проблемы состоит в введении режима диалога с ЦВМ в качестве основной процедуры при разложении спектров. В подобной диалоговой системе сказывается возможным максимальное использование аппаратурой информации, известной физики, но, как правило, не алгоритмизуемой. ЦВМ в данном случае реализует вычисления по заданным формулам, готовит всю информацию в максимально наглядном виде и осуществляет ее динамическое отображение, например, на дисплее. Физик производит подбор моделей, задает известные ему из других исследований параметры моделей, убирает некачественные участки спектров и, учитывая информацию о возможном характере фона, определяет разумную стратегию разложения спектра.

Одна из подобных диалоговых систем, получившая название БАРИАТОР, была разработана для обработки экспериментальных данных в области физики твердого тела [10, II].

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

343 а. I. Налимов В.В. Планирование эксперимента. М., 1966.

2. Кузьмин Ю.Я. Метод графа связи в выборе стратегии автоматизации экспериментов. - В кн.: Системы автоматизации научных исследований 1975, Тезисы докладов Всесоюзного совещания, Рига, 1975, с.47-49.

3. Лебедев В.Н. Введение в системы программирования. М., 1975, 311 с.

4. Backus J.W. - In: The Syntax and Semantics of the Proposed International Language of the Zurich ACM-GAMM Conference. ICIP, Paris, 1959, p.1-123.

5. Хомский Н. О некоторых формальных свойствах грамматик. - В кн.: Кибернетический сборник. Вып.5. М., 1962, с.279-312.

6. Гинзбург С. Математическая теория контекстно-свободных языков. М., 1970. 326 с.

7. Кузьмин Ю.Я. Системный подход в задачах автоматизации физического эксперимента. - В кн.: Автоматизация научных исследований, Рига, 1972, с.106-130.

8. Костромина Н.А., Гананазва Н.Н. Исследование комплексообразования европия с ксиэтилентриаминпентацетатом спектрографическим методом. - "Ж.прикл.спек.роскопии", т.14, вып.2, 1971, с. 302-305.

9. Гайлитис А.А. Разложение сложных кривых на составляющие типа гауссовых. - В кн.: Кибернетизация научного эксперимента. Вып.1, Рига, 1968, с.94-103.

10. Заис Ю.Р., Кузьмин Ю.Я., Кузьмина Л.М., Москальков А.В., Пуце Л.Р. Анализ спектров в системе "человек - машина". - "Ж.прикл.спекроскопии", 1972, т.17, вып.6, с. 1098-1101.

11. Кузьмина Л.М., Назарова А.Н. Диалоговая система для обработки спектров -ВАРИАТОР. - "Учен.зап.Латв.ун-та" 1975, т.225, с.104-110.

Зк

УДК 53.08:539.2

Ю.А.Кузьмин, Т.Н.Павлова

## КОМПЛЕКСНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА

Предложен способ определения структуры комплексных экспериментов на основе анализа частот совместного использования методов в экспериментах. В результате применения способа выявляются наиболее устойчивые комбинации и связи между различными экспериментальными методами.

Приведен граф связи для 50 наиболее популярных в области физики твердого тела методов.

### Комплексность эксперимента

Для современного эксперимента характерна комплексность, т.е. использование наряду с основным для данного эксперимента методом вспомогательных, дополняющих основной метод.

Использование комплексных экспериментов вызвано многими причинами. Во-первых, немало методов, дающих результаты, для однозначной интерпретации которых необходимы дополнительные сведения, получаемые другими методами. Например, для интерпретации рекомбинационных процессов в твердом теле необходимо использовать не только люминесцентные и абсорбционные методы, но и группы электрических методов, допустим, проводимость, уточняющую знак носителей.

Во-вторых, существуют методы, обработка результатов которых возможна лишь после замера дополнительных параметров, определяемых другими методами.

Наконец, просто может стоять задача поиска корреляции между двумя (или более) разными методами, используемыми для одного и того же объекта исследований.

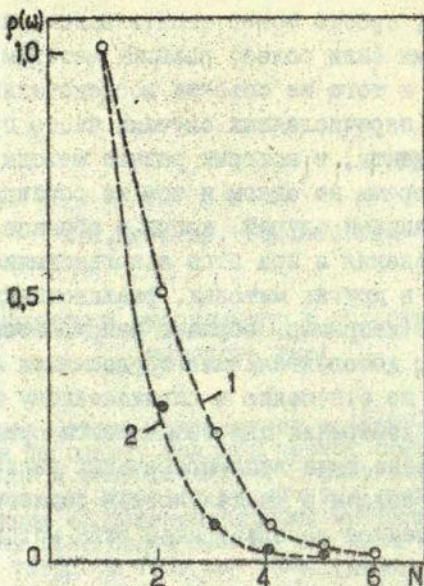
Во всех перечисленных случаях часто представляют интерес эксперименты, в которых разные методы применяются в одно и то же время на одном и том же образце объекта исследования. Типичен случай, когда в образце происходят необратимые изменения и при этом использование результатов одного метода в других методах, реализованных отдельно, либо невозможно (например, образец разрушается полностью), либо связано с дополнительными трудоемкими процедурами (пересчет данных по отношению к определенному состоянию объекта, эталонные измерения для возможности сравнения разных данных, измерение ряда вспомогательных величин и т.п.). Другой случай связан с длительностью осуществления методов, тогда одновременное использование этих методов значительно ускоряет эксперимент.

В настоящей работе рассмотрен вопрос комплексности современного эксперимента в области физики твердого тела на основе материала, обобщенного из Реферативного журнала "Физика" (РЖФ (ТТ) за 1974 год (№ I-5) и журнала "Физика твердого тела" (ФТТ) за 1973 год.

Начнем с результатов исследования распределения частот использования комплексных экспериментов в зависимости от числа совместно примененных в них методов (см. рис. I).

Наблюдаемое отличие кривых легко объяснить тем, что в рефератах не отражается информация по неосновным, с точки зрения каждой конкретной работы, методам. Как видим, свыше половины экспериментов все еще не являются комплексными, а использование более 5 методов в одном эксперименте — редкое событие.

Эти данные представляют интерес, особенно для задач автоматизации в области физики твердого тела. Научно-исследовательская автоматизированная система, удовлетворяющая требованиям современного эксперимента, может включать в себя не более трех-четырех методов, при этом она на 90%



Р и с. 1. Распределение частот экспериментов  $p(\omega)$  в зависимости от числа совместно использованных в них методов  $N$ .

1 — кривая по данным из РЖФ(ТТ); 2 — кривая по данным из ФТТ.

будет отвечать запросам экспериментаторов (в отношении сложности).

Чтобы оценить сложность такой системы, нужно выяснить, сколько входных и выходных каналов она должна содержать, какова сложность регулирования источников воздействий на объект исследования и какова сложность обработки измерений во время эксперимента. Ниже последовательно будут рассмотрены все эти вопросы.

Число входных и выходных каналов для типового комплекса можно определить разными способами. В данном случае был проведен анализ списка методов (см. с. 20-23 настоящего сборника) с учетом частоты использования каждого метода. Результат анализа отражен в табл. I.

Т а б л и ц а I

Применимость разного числа воздействий в методах

Количество воздействий в одном методе	Частота использования данного количества воздействий	
	для 350 методов	для 20 популярных методов
1	1772	755
2	2573	1364
3	1237	757
4	28	0
5	0	0
6	0	0

Из рис. I и табл. I получаем, что наиболее частый эксперимент имеет один канал определения основного параметра объекта исследования и до трех каналов воздействия на этот объект. Что это за каналы?

Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо определить частоты использования основных групп измерительных параметров и частоты использования физических воздействий на объект исследования по каждой из основных групп. Эта работа была проделана, результат приведен в табл. 2.

Ранжирование частот использования каналов и групп измеряемых параметров позволяет установить процент охвата методов этими каналами и группами. Соответствующие результаты обобщены в табл. 3.

Покажем, как полученные данные можно использовать в практических целях. Для разработки универсальной методики эксперимента, покрывающей комплекс наиболее популярных методов, необходимо разработать средства (входные каналы и воздействия), покрывающие заданный процент охвата каналов, использованных в методах. Например, экспериментальная сис-



Т а б л и ц а 2

\*Применимость воздействий для разных групп методов \*\*

	І	ІІ	ІІІ	ІV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
Г1	368	0	0	0	7	61	2	2	413	8	27	3	0	0	8
Г2	591	0	0	0	30	5	0	0	485	6	13	3	4	0	10
Г3	210	6	0	0	0	0	0	0	173	0	0	0	0	0	14
Г4	209	0	0	0	6	5	0	0	53	0	0	0	0	0	0
Г5	65	0	0	0	6	2	0	0	5	0	0	0	0	0	7
Г6	157	0	0	847	48	0	0	0	616	0	9	0	1	50	28
Г7	44	0	101	13	100	0	0	0	199	2	1	0	0	4	9
Г8	9	0	0	0	222	0	0	0	96	0	0	0	0	0	-2
Г9	1	12	0	0	420	12	215	248	429	0	0	0	0	0	0
Г10	5	0	0	0	7	5	0	0	327	2	3	3	9	5	394
Г11	7	0	0	162	268	0	0	0	33	417	26	4	2	430	7
Г12	1	0	0	0	5	0	0	0	683	0	0	0	1	1	5
Г13	0	0	0	0	6	0	0	0	139	0	347	0	0	1	7
Г14	0	0	0	0	149	0	0	0	127	0	0	117	0	2	0
Г15	0	0	0	0	42	0	0	0	4	0	0	0	79	0	0
Г16	7	74	0	0	7	0	0	0	53	1	0	0	0	1	0

\* П р и м е ч а н и е. Обозначения приведены на с. 12 настоящего сборника.

Т а б л и ц а 3

Охват физических методов каналами для измерений  
и воздействий на объект

Группы измеритель- ных параметров	ПРОЦЕНТ ОХВАТА	ФИЗИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ	ПРОЦЕНТ ОХВАТА
Г6	15,1	Т	35,8
Г12	26,0	І	51,4
Г2	36,4	Н	63,8
Г10	45,7	U	73,3
Г1	54,4	Р	78,2
Г9	62,8	Я	82,7
Г11	71,0	Q	86,8
Г13	77,6	G	90,8
Г7	81,8	K	93,1
Г8	85,8	W	95,1
Г4	89,7	A	96,4
Г3	93,4	E	97,4
Г14	96,1	J	98,3
Г15	97,5	N	99,1
Г16	98,8	Z	100,0
Г5	100,0		

тема, охватывающая 90% всех различных каналов, используемых в методах, по данным табл.3, должна содержать не менее 11 входных каналов и не менее 7 каналов воздействий. Однако оказывается, что последовательность методов, реализуемых на основе ранжированных по частотам применимости каналов, не совпадает с последовательностью методов в порядке их популярности. Иными словами, процент охвата по каналам не совпадает с процентом охвата по методам. Например, в данном случае, задавшись процентом охвата по каналам (50%), получим, что экспериментальная система будет иметь входные каналы групп Г6, Г12, Г2, Г10 и каналы воздействий Т, І.

Ясно, что подобная система не охватывает 50% наиболее популярных методов.

Интересно отметить, что для реализации 6% различающихся между собой наиболее популярных методов, охватывающих 50% случаев применения методов в физике твердого тела по данным анализа [1], необходимо иметь практически весь набор каналов, упомянутых в табл.3.

Таким образом, разработка комплексных экспериментов на основе средств, производимых в соответствии с табл. 2 и 3, позволяет минимизировать общие затраты, хотя не исключает затраты на создание средств, специфических для каждого конкретного эксперимента и отвергнутых производством по причине низкой частоты встречаемости в других экспериментах.

Другая альтернатива разработки средств комплексных экспериментов может быть основана не на частотности использования каналов, а на частотности применения самих методов. При этом разрабатываемые заранее средства эксперимента должны покрывать все каналы экспериментальных систем, реализующие набор методов заданной частотности применения. Пополнение набора средств идет по линии включения средств, необходимых для реализации следующих по частотности методов. При такой постановке вопроса все элементы для образования комплексного эксперимента, использующего наиболее популярные методы, должны иметься в разработанном заранее наборе. Ниже приводится начало последовательности подлежащих освоению каналов, исходя из ранжированного списка методов T, I, M, U, P, R, Q, G, K, W. Существенный недостаток этой альтернативы в том, что каналы должны быть избыточно универсальны, чтобы их можно было использовать в самых разных комбинациях в зависимости от конкретных экспериментов.

Возникает естественный вопрос, существует ли ограничение разнообразия возможных комбинаций каналов в комплексных экспериментах? Ответ на этот вопрос будет получен в последующих разделах данной работы. Однако, прежде чем пе-

рейти к нему, отметим одну характерную особенность современного эксперимента в области физики твердого тела.

Ввиду высокой степени сложности явлений в твердом теле физик старается проводить максимально простые эксперименты, в которых число варьируемых параметров максимально уменьшено, при этом он часто вынужден ставить комплексный эксперимент, чтобы, как уже отмечалось выше, избежать ошибок и неоднозначности интерпретации результатов. Комплексный эксперимент может означать проведение как одновременных, так и последовательных измерений разных параметров на одном и том же образце либо группе образцов, но с одной и той же целью.

В первом случае, как правило, упрощается задача "сшивания" результатов, поскольку все не контролируемые физические процессы разгруппируются в одно и то же время и производят одни и те же влияния на разные исследуемые параметры. Во втором случае эти влияния могут быть разными в силу необратимости процессов и равной их продолжительности. Таким образом проведение одновременного комплексного исследования скрадывает присутствие неконтролируемых процессов, что в ряде случаев, как это ни парадоксально, может иметь отрицательные последствия для интерпретации результатов.

Несмотря на принципиальную разницу в двух способах организации комплексного эксперимента, автор не будет различать соответствующие методы. Это главным образом потому, что в рефератах, за редким исключением, не сообщается о способах организации комплексного эксперимента; кроме того, игнорирование этого различия существенно упрощает весь последующий анализ.

## Граф связи экспериментальных методов в области физики твердого тела

В данном разделе будет рассмотрен предложенный одним из авторов [1] способ анализа комплексных экспериментов.

Основная цель, достигаемая данным способом, — определение объективных структурных и количественных характеристик комплексных экспериментов. В качестве основного количественного параметра, определяемого в данном способе, предложено использовать коэффициент связи методов между собой. В простейшем случае он определяется как число проведенных экспериментов, в которых присутствует, по крайней мере, та пара методов, коэффициент связи между которыми ищется. Например, опубликовано 3000 экспериментальных работ, в каждой работе авторами использовались комбинации от 1 до 5 методов из общего числа 300 различающихся между собой методов, при этом в 46 работах использовались совместно методы М1 и М2 (помимо прочих методов), значит коэффициент связи М1 и М2 по этим данным составляет 46. Введенный таким образом коэффициент связи позволяет интегрировать разного рода информацию. Во-первых, наличие корреляции лежащих в основе методов явлений, во-вторых, возможность единой интерпретации, наконец, взаимодополняемость и уменьшение неопределенности, характерной для разобранного использования методов, техническую осуществимость пары методов и другую информацию. Короче говоря, высокое значение коэффициента связи пары методов свидетельствует о наличии веских объективных причин и, следовательно, оно должно учитываться при разработке средств комплексного эксперимента. Это является альтернативой распространенному сейчас интуитивному подходу в решении подобных задач.

Перейдем к вопросу определения комплекса связанных между собой методов.

Комплексом назовем совокупность методов, имеющих ненулевые коэффициенты парных связей.

Для того, чтобы найти используемые в физике твердого тела комплексы, можно предложить ряд формальных процедур. Первая из процедур следующая. Упорядочив используемые в физике твердого тела методы, построим матрицу связи методов (МСМ). Для этого заготовим шаблон матрицы следующего вида:

	M1	M2	...	Mn
M1	$\omega_{11}$	$\omega_{12}$	...	$\omega_{1n}$
M2	$\omega_{21}$	$\omega_{22}$	...	$\omega_{2n}$
...	...	...	...	...
Mn	$\omega_{n1}$	$\omega_{n2}$		$\omega_{nn}$

Анализируя эксперименты в области физики твердого тела, будем заполнять МСМ коэффициентами парных связей методов -  $\omega_{ij}$ . Подобный анализ можно проводить по месяцам или годам выпуска соответствующих литературных источников либо пользоваться другим систематическим способом.

Основная проблема здесь заключается в возможной громоздкости матрицы, что связано с большим  $n$ . Например, в случае 350 зафиксированных нами ранее методов получается МСМ в 122500 элементов. Чтобы облегчить работу по составлению МСМ, нужно уменьшить число элементов, в данном случае это можно сделать, учитывая лишь некоторую часть наиболее популярных методов, например, 49, охватывающих более 50% работ. Для целей, которые будут обсуждаться в дальнейшем, введем в матрицу, помимо экспериментальных методов, одну из очень частых процедур - "закалка-отжиг" образца. В последнем столбце и последней строке матрицы будем фиксировать связи методов из МСМ с методами, не вошедшими в МСМ. По диагонали МСМ фиксируются случаи использования соответствующих методов изолированно от других.

Матрица парных связей экспериментальных методов в области

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	M24	M25	M26	
M1	52	2	4	0	0	34	I	I	2	2	0	0	0	0	I	0	0	2	0	I	2	I	0	0	0	I	
M2	2	25	4	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M3	4	4	18	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M4	0	0	0	30	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M5	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M6	34	I	2	I	0	36	0	I	4	5	0	0	0	I	I	I	0	4	2	I	5	4	I	I	0	I	I
M7	I	0	0	0	0	0	2I	I	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0
M8	I	0	0	0	0	I	I	I7	I	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0
M9	2	0	0	0	0	4	0	I	96	39	I	0	I	3	I	I	2	3	I	2	2	0	I	2	I	0	0
M10	2	0	0	0	0	5	I	0	39	87	0	0	0	3	I	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	I	0
M11	0	0	0	0	0	0	0	1	0	I7	0	0	0	0	0	I	0	2	I	0	0	0	0	0	0	0	0
M12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M13	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	30	0	0	0	0	I	I	0	0	0	0	0	0	0	0
M14	0	0	0	0	0	I	0	0	3	3	0	0	0	0	I9	0	0	0	I	0	0	0	0	I	0	0	0
M15	I	I	I	0	0	I	0	0	I	I	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M16	0	0	0	2	0	I	0	0	I	0	I	0	0	0	0	II	0	0	0	0	0	I	0	I	0	0	0
M17	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	I	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
M18	2	I	0	0	I	4	0	0	3	0	2	0	I	I	0	0	0	63	2	3	6	3	5	3	0	3	0
M19	0	0	0	0	0	2	I	0	I	0	I	0	I	0	0	0	0	2	54	I	I	0	I	I	3	0	
M20	I	0	0	0	0	I	0	0	2	I	0	0	0	0	0	0	0	3	I	2I	2	0	I	0	I	0	
M21	2	0	0	0	0	5	0	0	2	0	0	0	0	0	0	I	0	6	I	2	50	3	0	I	0	5	
M22	I	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	13	I	0	0	3	
M23	0	0	0	0	0	I	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	I	0	5	I	I	0	I	23	I	4	0
M24	0	0	0	0	0	I	0	0	2	0	0	0	0	I	0	0	2	3	I	0	I	0	I	23	2	0	0
M25	0	0	0	0	0	0	I	0	I	I	0	0	0	0	0	0	0	0	3	I	0	0	4	2	18	0	0
M26	I	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	5	3	0	0	0	10	
M27	I	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	18	2	2	I	0	0	I	I	
M28	0	0	0	0	0	0	I	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I7	4	2	0	0	0	0	0	0
M29	0	0	0	0	0	I	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	5	I	0	0	0	0	0	0	0	0
M30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
M31	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0
M32	3	0	0	0	0	7	0	0	2	0	0	I	0	0	I	0	0	0	I	0	0	0	I	0	0	0	0
M33	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M34	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M36	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	4	0	0	0	I	I	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M38	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	I	0	0	0	0	0	0	0
M39	0	0	0	0	0	0	0	0	I	I	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0
M40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	I	0	0	0	0	0	0
M41	0	0	0	0	0	0	I	0	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	2	I	0	0	0	0	0	0	0
M42	0	0	0	0	0	I	0	0	2	2	2	0	2I	0	0	0	0	4	I	0	0	0	I	0	0	0	0
M43	6	2	0	0	2	II	I	I	7	I	2	0	15	0	2	I	3	29	9	2	3	3	3	2	3	0	0
M44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	3	4	0	I	0	2	0	0	0	0
M45	0	0	0	0	0	0	0	0	I	I	0	0	0	0	0	0	0	4	6	0	0	0	0	0	0	0	0
M46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	I	I	2	I	0	0	0	0	0	0	0
M47	I	0	0	0	I	2	I	I	3	3	0	I	7	0	0	0	I	8	5	0	I	0	0	0	2	0	0
M48	0	0	0	0	0	I	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M49	I	0	0	I	I	I	0	I	0	0	0	0	I	0	0	0	0	6	2	0	I	0	0	0	0	0	0
M50	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ΣI	21	5	2	5	4	44	8	4	32	6	6	10	16	10	4	7	6	56	34	18	13	7	10	2	4	6	

M1 M2 M3 M4 M5 M6 M7 M8 M9 M10 M11 M12 M13 M14 M15 M16 M17 M18 M19 M20 M21 M22 M23 M24 M25 M26

Физики твердого тела

M27	M28	M29	M30	M31	M32	M33	M34	M35	M36	M37	M38	M39	M40	M41	M42	M43	M44	M45	M46	M47	M48	M49	M50	51		
I	0	0	0	0	0	3	0	I	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	I	0	I	0	21	M1	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	5	M2	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	M3	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	I	0	5	M4	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	I	0	I	0	4	M5	
I	0	I	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	I	II	0	0	0	2	I	I	I	0	44	M6	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	I	0	0	0	I	0	0	0	8	M7		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	I	0	I	0	4	M8	
0	2	I	0	3	2	I	0	0	0	I	I	0	4	2	7	0	I	0	3	I	0	3	32	M9		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	I	I	0	2	I	I	0	3	0	0	3	6	M10		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	6	M11	
0	0	0	0	0	I	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	10	M12	
0	0	0	0	0	0	0	0	I	4	I	0	0	0	4	21	15	0	0	2	7	0	I	0	16	M13	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	M14	
0	0	0	0	0	I	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	4	M15	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	7	M16	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	I	0	0	0	0	0	3	0	0	I	I	I	0	0	6	M17	
16	0	5	0	I	I	0	0	2	I	I	0	0	2	4	29	3	4	I	8	0	6	0	56	M18		
16	17	I	3	0	I	0	4	0	0	I	0	0	I	I	I	9	4	6	2	5	0	2	3	19	M19	
2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	2	0	0	I	0	0	0	0	18	M20	
2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	I	0	0	I	0	I	0	13	M21	
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	I	0	7	M22
0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	3	2	0	0	0	0	0	0	10	M23	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	M24	
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	2	0	0	0	4	M25	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	M26	
II	14	2	I	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	5	0	4	0	2	0	0	0	19	M27	
14	9	0	I	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	I	0	2	0	0	0	11	M28	
2	0	30	3	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	I	17	I	I	0	4	0	0	0	0	13	M29	
I	I	3	27	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	4	0	0	0	8	M30	
0	0	0	0	III	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	I	0	0	5	M31		
0	0	0	2	7	84	I	0	0	0	0	0	0	0	0	I	2	0	0	0	0	I	I	0	20	M32	
0	0	0	0	0	I	39	0	I	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	6	M33	
0	I	0	0	0	0	0	16	0	I	0	0	0	0	0	I	2	I	0	0	4	0	0	0	4	M34	
I	0	0	0	0	0	I	0	23	0	0	0	0	0	0	I	3	0	0	0	2	0	0	0	3	M35	
0	0	0	0	0	0	0	I	0	35	2	0	2	0	2	13	9	I	0	3	3	0	0	0	14	M36	
0	0	0	0	0	0	0	0	2	12	0	0	0	1	0	0	0	0	0	I	2	0	0	0	5	M37	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57	0	0	2	4	7	I	0	I	I	0	0	0	7	M38	
0	0	I	0	0	0	0	0	0	2	0	0	21	0	0	I	5	2	I	2	I	0	0	0	7	M39	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	7	M40	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	2	0	0	41	26	4	0	0	2	6	0	3	0	25	M41	
0	0	I	0	0	I	0	I	I	13	0	4	I	3	26	91	23	2	0	2	27	0	5	0	40	M42	
5	4	17	3	0	2	I	2	3	9	0	7	5	8	4	23	46	3	I	5	39	5	23	0	157	M43	
0	0	I	3	0	0	0	I	0	I	0	I	2	0	0	2	3	50	7	0	I	0	0	0	22	M44	
4	I	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	0	0	0	1	7	30	0	I	0	0	0	10	M45	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	I	I	2	0	2	2	5	0	0	43	3	I	0	0	II	M46	
0	0	0	0	I	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	I	1	42	2	0	5	M47	
0	0	0	0	0	I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	5	23	0	0	0	0	2	30	0	25	M48
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	3	M49
19	II	13	8	5	20	8	4	3	14	5	7	I	7	25	40	157	22	10	II	45	8	23	3	51	M50	



В табл.4 показан общий вид МСМ для 51 элемента, построенной по материалам анализа РЖФ(ТТ) № 1-5 за 1974 г. Здесь номера 50 методов соответствуют номерам базовых методов, приведенных на с.27-28 настоящего сборника.

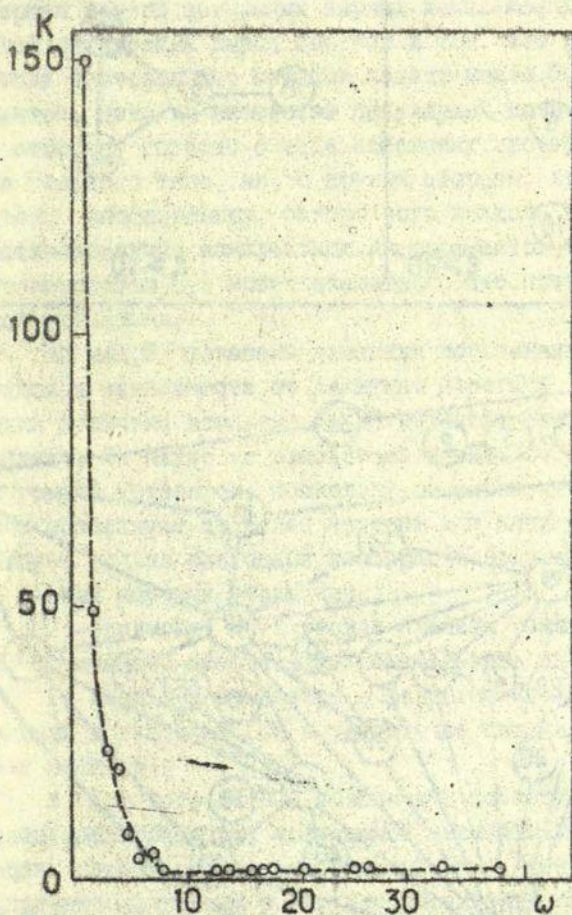
Матрица связей методов задает некоторую структуру современных экспериментов. Известно, что наибольшая наглядность в представлении информации подобного рода достигается отображением матрицы в виде графа.

Назовем графом связи методов (ГСМ) граф, вершинами которого являются методы ( $M_i$ ), а каждому ( $M_i, M_j$ ) ребру которого соотнесен коэффициент связи ( $\omega_{ij}$ ) методов  $M_i$  и  $M_j$ .

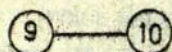
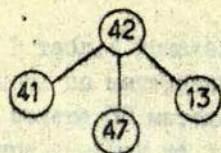
В нашем случае ребрам будут соответствовать те связи, для которых  $\omega_{ij} > \epsilon > 0$ , где  $\epsilon$  - порог. Смысл  $\epsilon$  заключается в том, что  $\epsilon$  позволяет строить по данным МСМ граф с данным уровнем значений связей методов: чем больше значение  $\epsilon$ , тем более традиционные комплексы мы можем получить. И, наоборот, малые  $\epsilon$  позволяют выявить случаи поиска экспериментаторами новых, неизвестных ранее корреляций (физических явлений). Динамика МСМ (изменение  $\omega_{ij}$  во времени), по-видимому, связана с двумя процессами - исчезновением исчерпавших свои возможности связей и появлением заменяющих их, либо принципиально новых связей. Однако это процесс медленный и занимает во времени многие годы, если не десятилетия.

Наряду с временным процессом изменения МСМ следует выделить различие величин связей в пределах МСМ. Оно позволяет определить степень освоения экспериментаторами возможных комбинаций методов и проследить динамику образования соответствующих комплексов.

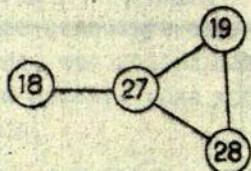
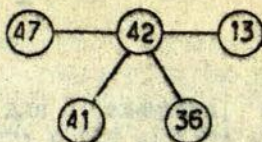
На рис.2 приведена кривая освоения возможных парных комбинаций по материалам РЖФ(ТТ). Оказывается, что в



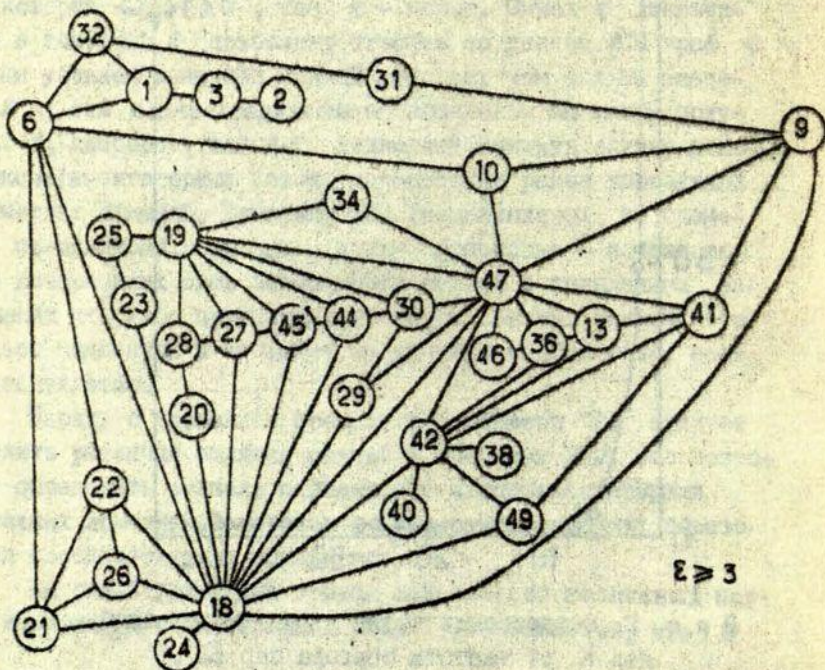
Р и с. 2. Зависимость числа парных комбинаций методов  $K$  от частоты повтора пар  $\omega$ .



$\epsilon \geq 20$



$\epsilon \geq 10$



$\epsilon \geq 3$

Р и с. 3. Динамика образования графа связи методов для разных значений порога  $\epsilon$ .

Обозначения соответствуют номерам базовых методов (см. с. 27-28 наст. сб.).

настоящее время в физике твердого тела используется около 26% комбинаций для 49 наиболее популярных методов, последние составляют 14% от общего числа методов. Общее же число освоенных комбинаций по предварительным оценкам составляет не более 2%. Видимо, в физике твердого тела еще далеко не исчерпан резерв возможных парных комплексных экспериментов. Другой интересный вывод состоит в том, что на долю однократных повторов пар методов падает менее 50% всех экспериментов, даже во множестве популярных методов. Это, с одной стороны, говорит о весе поисковых экспериментов в физике твердого тела, но, с другой стороны, этот же факт является обоснованием осторожного подхода в создании автоматизированных комплексных экспериментов, поскольку с достоверностью 0,5 может оказаться, что потребность в комплексе временная.

На рис. 3 показана динамика образования графа связи методов в зависимости от величины порога  $\epsilon$ . Здесь мы в 3 стадии получили комплекс из 33 методов. Это виртуальный комплекс. Он нигде не реализован в виде отдельной системы или группы установок, поскольку мы знаем, что реальные комплексы используют не более четырех или пяти методов. Он существует только благодаря кооперации большого числа физиков разных научных учреждений.

По-видимому, есть веские причины такого поведения ГСМ. В качестве гипотезы можно высказать два положения.

1. Реальные комплексы образуются как фрагменты виртуальных в участках ГСМ с достаточно высоким коэффициентом связи методов.

2. Для того, чтобы обеспечить полноту информации об исследуемых объектах, получаемой несколькими методами, последние должны образовать связанный граф, т.е. между двумя любыми используемыми в научном учреждении методами должна существовать цепочка методов, позволяющая связать эти методы. Альтернативой является разработка и обоснование нового метода, устанавливающего эту связь.

Именно здесь, по-видимому, кроется ответ на вопрос

об эффективности новых методов. Новый метод эффективен, если он позволяет связать два (или несколько) имеющихся кратчайшим путем и при меньших затратах.

Следует заметить, что совершенно по-иному выглядит образование ГСМ, если основной переменной будет не величина порога связей, а частота использования самих методов. На рис. 4 показана динамика образования ГСМ для последнего случая. Здесь, как следовало ожидать, вначале появляются разрозненные методы и лишь затем начинается образование комплексов. Однако и в этом случае процесс сводится к одному и тому же ГСМ, дополненному изолированными методами.

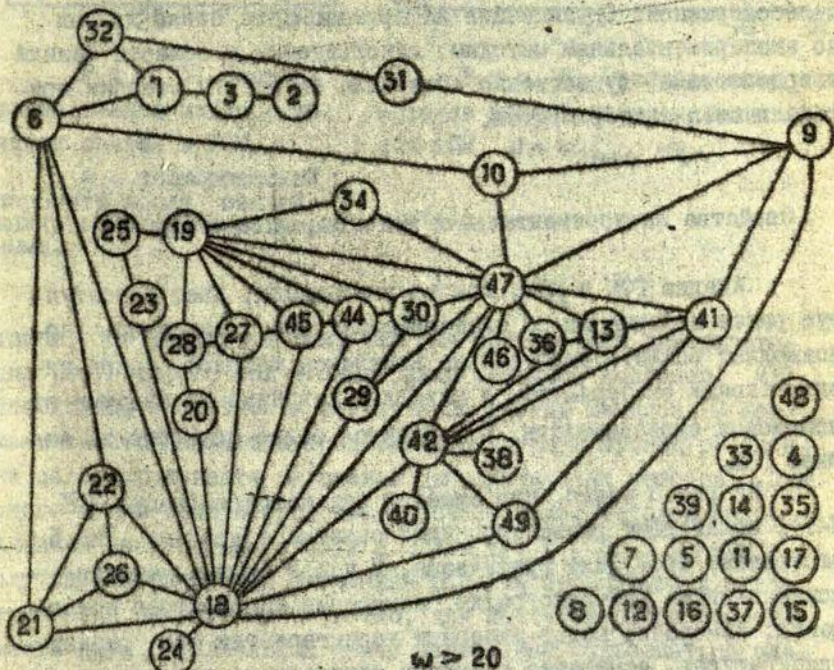
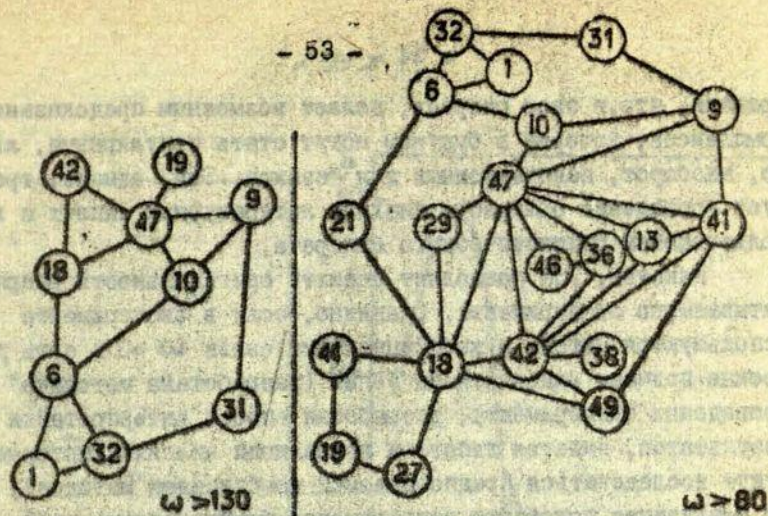
Практическое использование ГСМ заключается в том, что он дает возможность рассматривать каждый конкретный метод, например, М28, в совокупности с окружающими его методами. Высокие значения коэффициентов связи указывают на возможные направления развития эксперимента, использующего выбранный метод: чем выше значения коэффициентов, тем вероятнее ожидать включения в эксперимент соответствующего метода. В рассматриваемом примере наиболее вероятно дополнения М28 методами М27, М19, М20.

Из этого следует вывод о необходимости такого выполнения программного и технического обеспечения М28, чтобы целиком или частично его можно было использовать при дополнении эксперимента до М27, М20, М19.

ГСМ можно использовать и для других целей, например, при планировании развития экспериментальной базы научно-исследовательского учреждения. Допустим, в этом учреждении развиты методы М45 и М14. Требование комплексности подхода к проводимым исследованиям приводит к необходимости развития методов М44, М18, М47, М10, обеспечивающих информационную связь М45 с М14. Следующей стадией будет развитие методов из ближайшего окружения, т.е. М19, М29, М10 и т.д.

Построение ГСМ может также быть полезным при разработке программы обучения, составлении обзоров, написании справочников и т.п.

Метод ГСМ позволяет выявить тренд его компонент во



Р и с. 4. Динамика образования графа связи методов в зависимости от частоты использования отдельных методов. Обозначения соответствуют номерам базовых методов (см. с. 27-28 наст. сб.).

времени, что, в свою очередь, делает возможным предсказание комплексов, которые в будущем могут стать популярными, либо, наоборот, неинтересными для физиков. Это, однако, требует проведения обширного анализа литературных данных с использованием статистического аппарата.

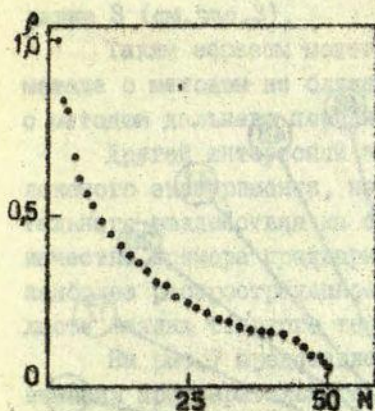
Наконец, ГСМ позволяет оценить оригинальность разрабатываемого эксперимента. Очевидно, если в эксперименте используются методы с коэффициентами связи  $\omega = 0$  и есть веские причины надеяться на успех (разработана методика проведения эксперимента, разработан способ интерпретации результатов, имеется гипотеза корреляции явлений, которые будут исследоваться предполагаемой комбинацией методов), то реализация подобного эксперимента будет оригинальной и целесообразной. Организация информационного банка данных по экспериментальным методам, используемым в области физики твердого тела, существенно облегчила бы оценку степени оригинальности экспериментов.

#### Свойства экспериментальных методов, входящих в ГСМ

Анализ ГСМ и МСМ, как мы уже видели, дает недоступную ранее информацию об экспериментах, он, например, позволяет выявить виртуальные комплексы методов, разграничить парные эксперименты с наиболее устойчивыми связями от поисковых экспериментов. Остановимся более подробно на анализе ГСМ.

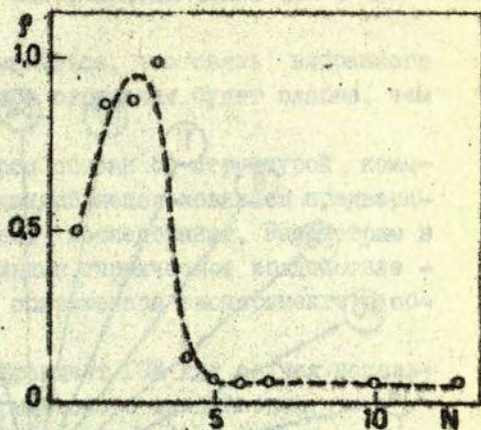
Из рис. 3 видно, что имеется ряд методов (напр., М18, М47), обладающих разносторонними связями с другими. Рис. 5 отображает этот факт графически. В числе первых методов можно назвать рентгенографию, измерение ИК-спектров поглощения, измерение вольт-амперных характеристик при разных температурах, измерение спектров оптического поглощения.

На рис. 6 приведено распределение частот наличия в ГСМ методов с разным числом связей. Как видно из рис. 6, в среднем каждый метод связан с 2-5 другими для МСМ из 49 ме-



Р и с. 5. Кривая ранжирования методов по числу связей в ГСМ.

$p$  - нормированный параметр числа связей каждого метода с остальными.



Р и с. 6. Распределение методов разной сложности для ГСМ.  $p = \omega_{ij} / \max_i \omega_{ij}$ .

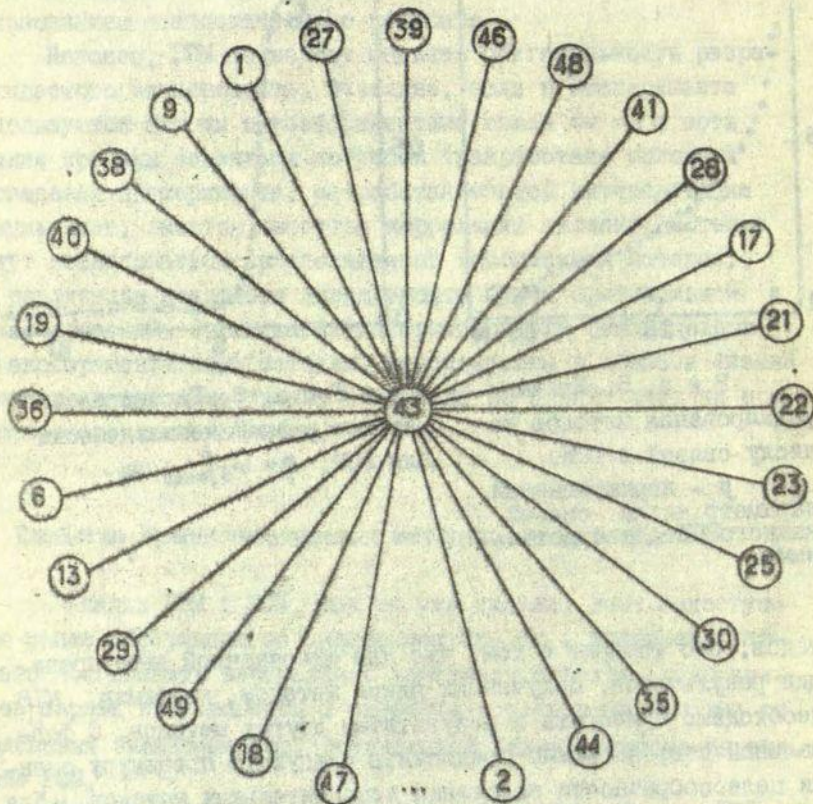
татов. Это говорит о том, что для однозначной интерпретации результатов, полученных одним методом, например, М18, необходимо прибегать к результатам других методов. С формальной стороны можно предложить следующую процедуру оценки целесообразности включения дополнительных методов. Для этого нужно ввести процедуру расчета связи методов находящихся на расстоянии двух и более дуг в ГСМ. В данном случае воспользуемся методикой расчета проводимости электрических цепей. Как известно, для подсчета общей проводимости двух параллельных цепей необходимо пользоваться операцией сложения отдельных проводимостей, т.е.:

$$\omega_{ij} = \omega_i + \omega_j.$$

Проводимость последовательных цепей вычисляется, как

$$\omega_{ij} = \frac{\omega_i \cdot \omega_j}{\omega_i + \omega_j}.$$





Р и с. 7. Граф связи процедуры предварительной термической обработки образцов с методами исследований в области физики твердого тела.

Сила связи с М43 убывает в направлении М47, М18, ... Обозначения соответствуют номерам базовых методов (см. с. 27-28 наст. сб.).

При такой оценке силы связи методов, например, связь М18 и М25 будет более 10, в то время, как связь М18 с М24 равна 3 (см. рис.3).

Таким образом может оказаться, что связь выбранного метода с методом из ближайшего окружения будет слабее, чем с методом дальнего порядка.

Другой интересный вопрос связан со структурой комплексного эксперимента, наведенной использованием предварительного воздействия на объект исследования. Рассмотрим в качестве примера предварительное термическое воздействие - наиболее распространенное в современном эксперименте в области физики твердого тела.

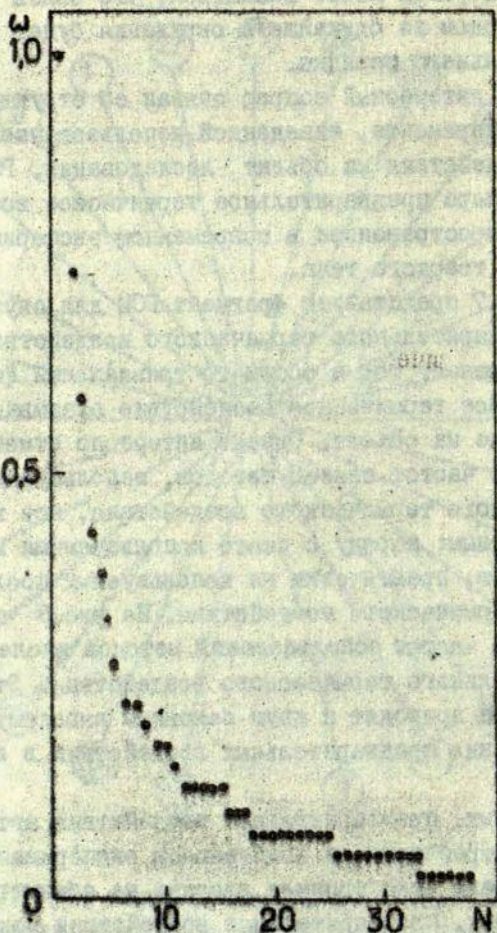
На рис.7 представлен фрагмент ГСМ для случая использования предварительного термического воздействия.

ГСМ отражает тот в общем-то тривиальный факт, что предварительное термическое воздействие оказывает всестороннее влияние на объект. Однако интересно отметить, что распределение частот связей методов, используемых после предварительного термического воздействия, все же не является равномерным: наряду с часто используемыми имеется группа методов, практически не используемых после предварительного термического воздействия. На рис.8 приведено распределение частот использования методов исследования после предварительного термического воздействия. Эти результаты логически приводят к двум основным выводам относительно использования предварительных воздействий в эксперименте.

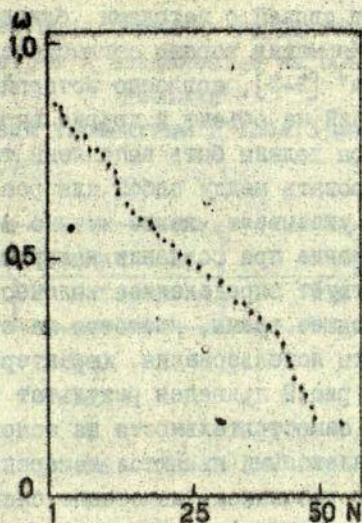
Во-первых, предварительные воздействия автоматически порождают потребность в комплексном эксперименте, поскольку они оказывают всестороннее влияние на объект.

Во-вторых, предварительные воздействия задают свою структуру виртуального комплекса, в котором не связанные ранее методы могут оказаться связанными посредством процедуры предварительного воздействия.

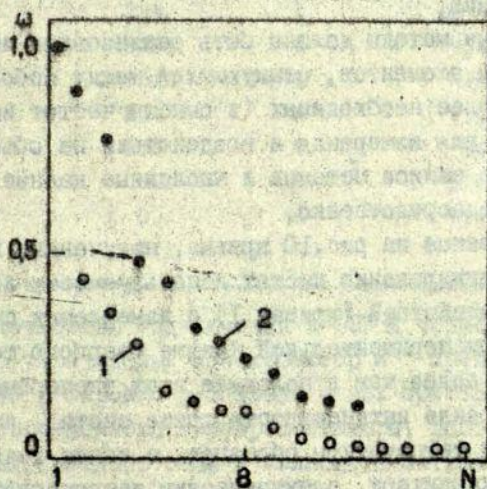
Приведенная выше информация особенно важна при автоматизации эксперимента, так как позволяет своевременно



Р и с. 8. Распределение частоты связи процедуры термической обработки, с методами исследований в области физики твердого тела.



Р и с. 9. Распределение методов из ГСМ по степени самостоятельности.



Р и с. 10. Ранжирование частот используемости в экспериментах воздействий (ooo - 1) и измерительных параметров (••• - 2).

учесть требования к автоматизируемому методу, исходя из знания ГСМ и частот связей с методами ближнего и дальнего порядка. Эта информация хорошо согласуется с концепцией "системных приборов" [2-3], согласно которой измерители, источники воздействий на объект и другие входящие в среду эксперимента приборы должны быть выполнены так, чтобы их можно было комбинировать между собой для реализации разных экспериментов. ГСМ указывает, какие именно методы должны приниматься во внимание при создании конкретного прибора.

Однако существует определенное количество методов, для которых в настоящее время, несмотря на относительно высокие коэффициенты использования, характерно некомплексное применение. На рис.9 приведен результат ранжирования методов по степени самостоятельности на основе данных МСМ.

Наименее комплексными являются измерение спектров ядерного магнитного резонанса, измерение спектров люминесценции, наведенной лазером, измерение спектров рассеяния нейтронов. Эти методы могут быть реализованы в виде отдельных установок, создаваемых при минимальном согласовании с другими методами.

Остальные методы должны быть реализованы из ограниченного набора элементов, стыкующихся между собой. Выясним вопрос о наиболее необходимых (в смысле частот использования) элементах для измерения и воздействий на объект исследования. Форма записи методов и численные данные позволяют это сделать непосредственно.

Отображенные на рис.10 кривые, полученные из МСМ, соответствуют ранжированию частот использования источников физических воздействий (кривая 1) и измеряемых параметров (кривая 2) в экспериментальной физике твердого тела. Оказывается, что более чем в половине всех экспериментов применяются измерение интенсивности токов света, измерение проводимости и температуры образцов, а также воздействия термического характера, электрическим напряжением и селективным световым потоком на образцы. Иными словами, программно-управляемый криостат, аналого-цифровой преобразо-

Частоты использования групп измерительных параметров и воздействий на объекты исследования

(Информация по всем упомянутым в табл. 3 методам и по 20 наиболее популярным.)

	ГРУППЫ ИЗМЕРЕНИЙ			ВОЗДЕЙСТВИЯ	
	350 МЕТОДОВ	20 МЕТОДОВ		350 МЕТОДОВ	20 МЕТОДОВ
Г1	490	260	I	1676	836
Г2	583	394	Z	92	0
Г3	210	0	J	101	0
Г4	219	86	U	1022	740
Г5	65	0	H	1323	724
Г6	847	532	E	102	0
Г7	236	74	W	217	154
Г8	224	76	K	250	142
Г9	471	296	T	3849	2045
Г10	521	229	Q	436	362
Г11	458	362	G	428	237
Г12	608	231	A	132	0
Г13	369	237	N	96	0
Г14	149	90	P	526	362
Г15	79	0	R	491	152
Г16	74	0			

ватель с возможностью подключения к ФЭУ и терморпаре, а также программно-управляемый монохроматор и преобразователь код-напряжение в широком диапазоне - вот приборы первой необходимости современного экспериментатора, работающего в области физики твердого тела и желающего автоматизировать свой эксперимент.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- ✓ 1. Кузьмин Ю.Я. Метод графа связи в выборе стратегии автоматизации экспериментов. - В кн.: Системы автоматизации научных исследований. 1975. Тезисы докладов Всесоюзного совещания. Рига, 1975, с.47-49.
- ✓ 2. Кузьмин Ю.Я. Проблема автоматизации мини-эксперимента. - "Учен.зап.Латв.ун-та", 1971, т.144, с.3-32.
- ✓ 3. Плаудис А.Э. Идеология построения системных приборов. - "Учен.зап.Латв.ун-та", 1972, т.160, с.66-75.

Ю.Я. Кузьмин

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ  
В ОБЛАСТИ ФИЗИКИ ТВЕРДОГО ТЕЛА И КОНЦЕПЦИЯ  
СРЕДЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

На основе анализа литературных данных получена информация относительно параметров наиболее популярных в физике твердого тела воздействий, что позволяет формулировать требования к физическим приборам, управляемым от ЦЭМ.

Предложена концепция среды эксперимента — набора системных физических приборов, задающих условия эксперимента. На примере простого набора приборов показана возможность построения формального аппарата записи и преобразования структур приборов.

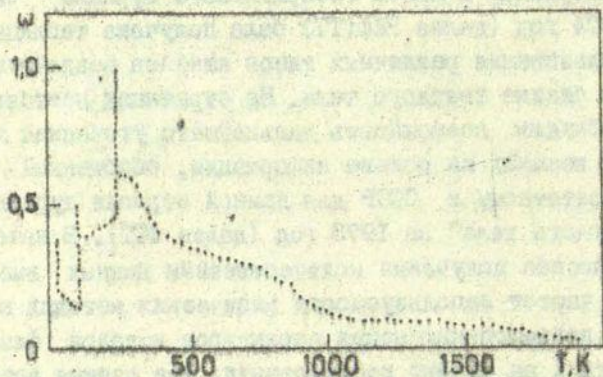
По материалам анализа Реферативного журнала "Физика" № 1-5 за 1974 год (далее РКФ(ТТ)) была получена таблица\* частот использования различных типов каналов воздействий на объект в физике твердого тела. На страницах настоящей статьи мы обсудим возможность дальнейшего уточнения данных об этих каналах на основе информации, обобщенной по самому авторитетному в СССР для данной отрасли журналу "Физика твердого тела" за 1973 год (далее ФТТ). В качестве основного способа получения количественных данных выбрано определение частот используемости физических методов в экспериментах, пределов-изменения параметров каналов физических воздействий на объект исследования. Все данные автор извлекал из текста либо из приведенных в статье экспериментальных кривых, на которых имелись необходимые сведения о параметрах каналов.

\* См. наст. сб., с. 61.



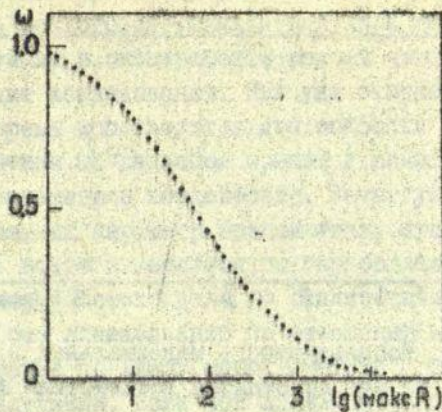
В своих сообщениях экспериментаторы, к сожалению, часто пренебрегают информацией о метрологических характеристиках эксперимента, поэтому полных данных по всем каналам собрать не удалось, в особенности это касается измерительной части. Ниже приводится информация, полученная автором по некоторым из наиболее часто используемых каналов физического воздействия.

Для температурных воздействий выяснено, что значительное количество экспериментов проводится при фиксированных температурах. Установлено, что при постоянных температурах проводится 61% экспериментов, в том числе при комнатных - 33%, азотных - 7%, гелиевых - 16%, при других точках температуры - 5%, а при переменных температурах проводятся 39% экспериментов, чаще всего с использованием режима сканирования.



Р и с. I. Освоённость температурного интервала в эксперименте.

График освоённости температурного диапазона в районе от гелиевых температур до 2000 К (рис. I) получен упомянутым выше способом определения частот использования температурных интервалов и отдельных температурных точек в



Р и с. 2. Используемость механических нагрузок (R, кг/мм<sup>2</sup>) как источников воздействий в эксперименте.

конкретных экспериментах.

Интересны следующие данные по режимам регулирования температуры: стабилизация температуры - 61%, линейное сканирование температуры - 38%, другие режимы - 1%.

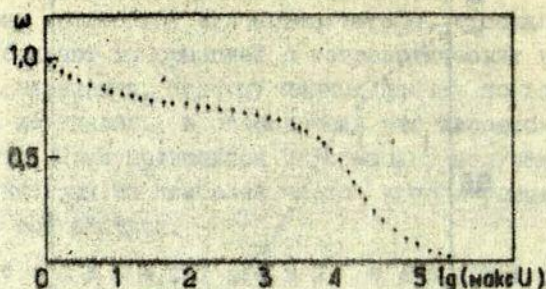
Как видим, в физике твердого тела адаптивные режимы регулирования температуры во время эксперимента фактически не используются.

Анализ полученной информации о механических воздействиях показал, что в 50% всех экспериментов используемые механические воздействия не превышают нагрузок 100 кг/мм<sup>2</sup> (рис.2).

Как правило, это либо постоянные нагрузки, либо изменяющиеся по линейному закону. Существует небольшая часть работ с использованием периодических нагрузок.

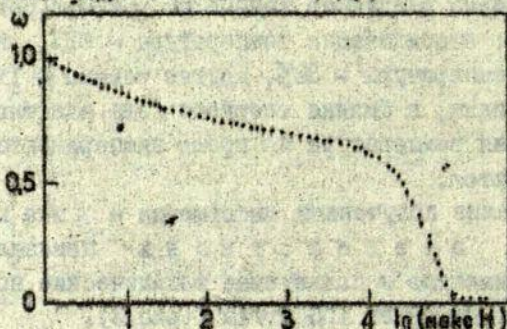
Результаты анализа применения электрического воздействия в экспериментах обобщены на рис.3.

Более 50% экспериментов удовлетворяет электрическому напряжению, не превышающему 100 В.



Р и с. 3. Используемость максимальных электрических напряжений ( $U, В$ ) как источников воздействия в эксперименте.

Относительно светового воздействия в экспериментах выяснено, что наиболее часто используется область видимого света (53%), затем ИК-область (40%) и весьма редко УФ-область (7%).



Р и с. 4. Используемость магнитных полей ( $H, Э$ ) как источников воздействия в эксперименте.

Наиболее часто используются в экспериментальных работах слабые магнитные поля (до 100 Э), реже — сильные поля (до 50 кЭ) и уникальными являются эксперименты с использованием ультрасильных магнитных полей (до 500 кЭ) (рис.4).

Специфика ручного управления экспериментом, а также возможность аналоговой техники наложили сильный отпечаток на используемые в эксперименте режимы изменения воздействий на объект исследования. Как уже отмечалось ранее, в настоящее время используются два основных режима - фиксация воздействия на заданном уровне и линейное сканирование одного из параметров воздействия. Зачастую линейно сканируется косвенный параметр воздействия, причем основной параметр чаще всего изменяется по параболической зависимости. Так, например, обстоит дело со сканированием по сигналу термопары (без линеаризации по отношению к температурной шкале), а также по лимбу монохроматора при сканировании спектров излучения. Если под линейным сканированием воздействия понимать и сканирование по косвенному параметру, то частоты использования различных режимов регулирования в экспериментах, о которых сообщалось в 1973 г. в ОТТ, следующие

фиксация воздействия	-	0,50
линейное сканирование	-	0,46
другие режимы	-	0,02

Все это показывает, что в области экспериментальной физики твердого тела имеются значительные потенциальные возможности оптимизации экспериментов, но эти резервы могут быть использованы лишь при наличии соответствующей техники и такой методики эксперимента, которая дает возможность получать информацию, доступную для обработки уже в ходе эксперимента, что, в свою очередь, позволяет определять стиличные от констант и линейных зависимостей режимы изменения воздействий, адаптированные к свойствам объекта. Однако эффективность таких экспериментов существенно зависит от способа их организации, от унификации приборов и программ управления этими приборами.

Частота совместного использования воздействий (в парах) определялась путем суммирования числа методов (с учетом частоты каждого метода), в которых данная пара воздействий встречается одновременно. Данные представлены в

табл.1 - для всех 350 методов и в табл.2 - для 20 наиболее популярных методов, используемых в 50% всех экспериментов.

Таблица I

Комбинируемость воздействий на объект исследования для 350 различающихся экспериментальных методов \*

	I	Z	J	U	H	E	W	K	T	Q	G	A	N	P	R
I	-	6	4	213	67	50	5	0	1107	6	13	3	5	45	44
Z	6	-	0	0	19	0	0	0	54	1	0	0	0	1	0
J	4	0	-	0	203	0	0	0	99	2	0	0	0	3	1
U	213	0	0	-	79	0	0	0	674	290	9	4	0	212	32
H	67	19	203	79	-	3	426	390	782	547	12	216	48	341	12
E	50	0	0	0	3	-	2	22	86	0	1	0	0	0	3
W	5	0	0	0	426	2	-	0	213	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	390	22	0	-	220	0	0	0	0	1	0
T	1107	54	99	674	782	86	213	220	-	17	167	104	13	58	264
Q	6	1	2	290	547	0	0	0	17	-	0	0	2	437	7
G	13	0	0	9	12	1	0	0	167	0	-	0	0	1	11
A	3	0	0	4	216	0	0	0	104	0	0	-	0	2	0
N	5	0	0	0	48	0	0	0	13	2	0	0	-	2	9
P	45	1	3	212	341	0	0	1	58	437	1	2	2	583	12
R	44	0	1	32	12	3	0	0	264	7	11	0	9	12	694

\* Обозначения см. на с.12.

Т а б л и ц а 2

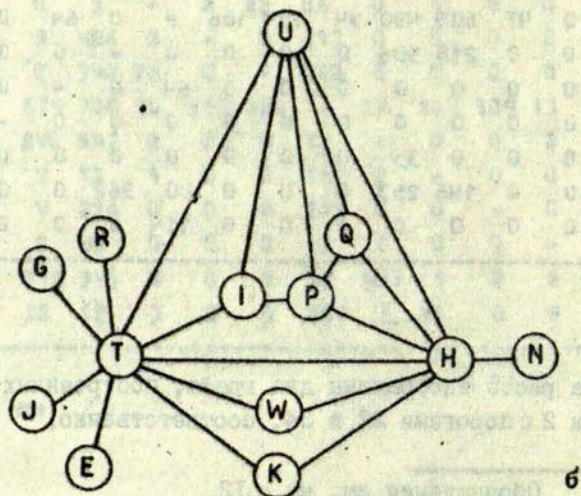
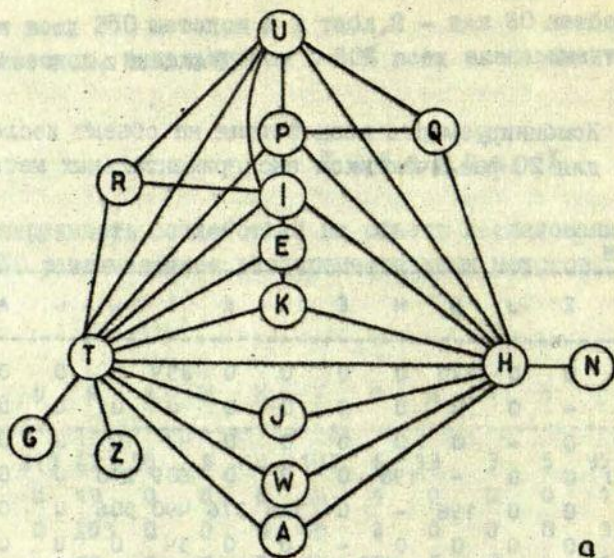
Комбинируемость воздействия на объект исследования для 20 различающихся экопериментальных методов \*

	I	Z	J	U	H	E	W	K	T	Q	G	A	N	P	R
I	-	0	0	170	0	0	0	0	854	0	0	0	0	37	0
Z	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J	0	0	-	0	0	0	0	0	47	0	0	0	0	0	0
U	170	0	0	-	198	0	0	0	609	218	0	0	0	146	0
H	0	0	0	198	-	0	308	376	490	506	0	0	35	253	0
E	0	0	0	0	0	-	0	0	34	0	0	0	0	0	0
W	0	0	0	0	308	0	0	154	0	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	376	0	0	-	188	0	0	0	0	0	0
T	854	0	47	609	490	34	154	188	-	0	64	0	0	0	114
Q	0	0	0	218	506	0	0	0	0	-	0	0	0	362	0
G	0	0	0	0	0	0	0	0	64	0	-	0	0	0	0
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0
N	0	0	0	0	35	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0
P	37	0	0	146	253	0	0	0	0	362	0	0	0	-	0
R	0	0	0	0	0	0	0	0	114	0	0	0	0	0	-

На рис.5 изображены два графа, построенных по данным табл.1 и 2 с порогом 22 и 34, соответственно. \*\*

\* Обозначения см. на с.12.

\*\* Методику построения графа см. на с. 46.



Р и с. 5. Граф комбинированности воздействий в экспериментах в области физики твердого тела по данным табл. 1 (а), по данным табл. 2 (б).

Данные показывают, что наиболее высокая комбинируемость характерна для воздействия теплом, магнитным полем, светом и механической нагрузкой на образец. Эта информация может быть использована в двух аспектах. Во-первых, при оценке степени оригинальности методики по отношению к используемому набору воздействий. Очевидно, что метод с использованием  $W: E: P$  является оригинальным в указанном смысле. В то же время метод, использующий  $I: T: H$ , не будет оригинальным, но опять же в указанном выше смысле.

С другой стороны, данные из табл. I и 2 могут быть использованы при разработке отдельных узлов физических установок. Например, разработка криостата, допускающего применение воздействий  $U, H, I, Z, J, E, W, K, Q, G, R, P$  является в высшей степени полезной, поскольку такой криостат можно будет использовать в самых разнообразных экспериментах в области физики твердого тела.

#### Концепция универсальной среды эксперимента

Уже сейчас существует возможность разработки универсальной методики программированного эксперимента, охватывающей существенный процент наиболее популярных применяемых в настоящее время экспериментальных методов в области физики твердого тела. Этот вывод связан прежде всего с тем, что, как оказалось, ранжирование методов по частоте использования дает резко убывающую зависимость, а, с другой стороны, разнообразие возможных комбинаций методов в комплексных исследованиях также оказалось небольшим, это же касается и разнообразия наиболее широко используемых режимов управления параметрами измерительных и воздействующих каналов в эксперименте.

Для разработки универсальной методики программированного эксперимента следует создать набор приборов и соответствующих программ, с помощью которых можно при минимальных



дополнительных затратах реализовать различные экспериментальные методы. Автором [1,2] была рассмотрена возможность создания универсального набора приборов и сформулированы основные требования к ним, выполнение которых позволило бы реализовать разнообразные эксперименты в области физики твердого тела. Идея создания универсального набора приборов была осуществлена [3-10] на примере приборов для исследования люминесценции и оптического поглощения твердых тел.

Впоследствии автор предложил распространить этот подход не только на приборы, но и на соответствующее программное обеспечение [11].

Ниже будет рассмотрена концепция организации универсальной среды эксперимента.

Под средой эксперимента будем понимать структуры, образованные из системных [1-10] приборов, непосредственно связанных с заданием физических условий, в которых находится объект исследования во время эксперимента, и с преобразованием измерительных и воздействующих на объект сигналов, не являющихся электрическими. Сюда прежде всего относятся различные оптические приборы (монокроматоры, источники света, концентраторы и интеграторы света, элементы отклонения и размножения пучков света, оптические затворы, прерыватели и фильтры), криостаты, вакуумные и другие приборы.

Следует отметить, что именно от среды эксперимента прежде всего зависят достоверность, качественные и количественные характеристики эксперимента, поскольку никакими ухищрениями нельзя получить достоверную информацию при неверном выборе приборов или их разъюстировке.

В то же время именно разработка среды эксперимента является наименее исследованным вопросом.

Наиболее полная разработка комплекта универсальных приборов насчитывает 20 наименований (называется "конструктор физика") [3-10]. Из составных частей данного комплекта, как из деталей конструктора, можно собрать раз-

нообразные каналы измерения параметров объекта исследования. Эта разработка связана с автоматизацией исследований люминесценции и оптического поглощения твердых тел при различных управляемых воздействиях (оптическом, радиационном, термическом и электрическом). В основу разработки положены следующие требования [5-10]:

- возможность подключения приборов к ЦВМ, т.е. наличие, кроме основных преобразующих каналов, дополнительных каналов управления состоянием прибора и контроля состояния;
- полнота набора приборов, т.е. возможность образования измерительных и воздействующих каналов без дополнительных разработок для широкого класса задач;
- универсальность и стандартность приборов, т.е. способность комплекта одних и тех же приборов образовывать разные комбинации без переделок;
- надежность и долговечность приборов;
- высокая скорость и повторяемость срабатывания приборов;
- малые габариты приборов при максимальной их светосиле (для оптических приборов).

Центральная идея "конструктора физика" состоит во введении единых основных размеров всех стыковочных элементов приборов (диаметр стыковки оптических приборов принят 38 мм). Это позволяет образовывать различные структуры из следующих приборов [5,6] (в скобках приведено символическое обозначение прибора): криостат с 8 окнами (K), держатель ФЭУ с ФЭУ (H), источник света (J), коммутатор пучков света (Θ), коробка светофильтров (F), оптический затвор (Z), монохроматор (M), источник рентгеновского излучения (G), элемент сцепки приборов между собой (e).

Унификация набора приборов позволяет развить теорию среды эксперимента как с целью символической записи сложных структур, так и с целью преобразования, в частности при минимизации числа приборов, используемых в структуре.

Ниже приведен один из вариантов подобного формализма. Пусть задано множество унифицированных приборов  $\Sigma\{K,$

$\{H, J, F, Z, M, G\}$ . Определим на этом множестве две операции: сцепку и коммутацию.

Будем говорить, что прибор  $A$  сцеплен с прибором  $B$ , если выход прибора  $A$  соединен с входом прибора  $B$ . Запись:  $A \cdot B$ . Чтение: " $A$  сцеплен с  $B$ ". Операция сцепки позволяет описывать последовательные структуры.

Для описания ветвящихся структур, по аналогии с предыдущим случаем, используем операцию коммутации приборов. При этом будем говорить, что прибор  $A$  скоμμутирован с прибором  $B$ , если выходы обоих приборов объединены и могут поочередно включаться в последующую цепь приборов. Запись:  $A \oplus B$ . Чтение: " $A$  скоμμутирован с  $B$ ".

Следует отметить, что комбинации приборов из множества  $\Sigma$  не могут быть произвольными прежде всего по семантическим соображениям. Отношение комбинаций может быть задано матрицей, нулевой элемент в которой означает запрет комбинации соответствующих приборов:

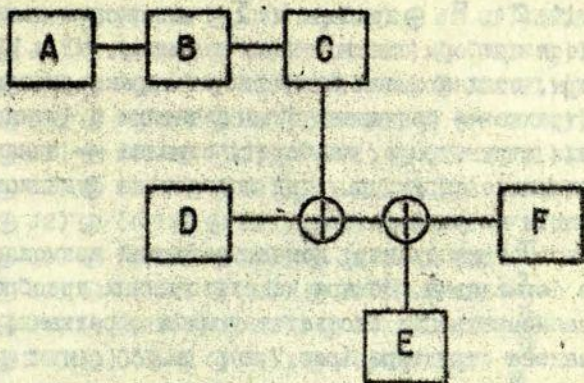
	M	Z	F	K	J	H	G
M	I	I	I	I	I	I	O
Z	I	I	I	I	I	I	O
F	I	I	I	I	I	I	O
K	I	I	I	O	I	I	I
J	I	I	I	I	O	I	O
H	I	I	I	I	I	O	O
G	O	O	O	I	O	O	O

Кроме того, запрещено использовать приборы из множества  $\Sigma \setminus \{J, H, G\}$  в сцепках типа  $A \cdot B \cdot C$ , где  $B$  - из множества  $\Sigma$ , а  $A$  и  $C$  - произвольные приборы из множества  $\Sigma$ .

Пример геометрического изображения структуры

$$(((A \cdot B \cdot C) \oplus D) \oplus E) \cdot F,$$

где  $A, B, C, D, E, F$  - произвольные приборы из  $\Sigma$ , приведен на рис.6.



Р и с. 6. Измерительная структура.

Следующая система преобразований задает теорию структур сред, образованных из приборов множества  $\Sigma$  :

- $P1 : A \oplus B \leftrightarrow B \oplus A$   
 $P2 : (A \oplus B) \cdot C \leftrightarrow (A \cdot C) \oplus (B \cdot C)$   
 $P3 : ((A \oplus B) \oplus C) \leftrightarrow ((A \oplus C) \oplus B)$   
 $P4 : A \oplus A \leftrightarrow A$   
 $P5 : ((A \cdot M) \oplus B) \cdot M \leftrightarrow (A \oplus B) \cdot M$   
 $P6 : Z \cdot Z \leftrightarrow Z$   
 $P7 : F \cdot F \leftrightarrow F$   
 $P8 : M \cdot M \leftrightarrow M$   
 $P9 : M1 \cdot M2 \leftrightarrow M2 \cdot M1$   
 $P10 : F1 \cdot F2 \leftrightarrow F2 \cdot F1$   
 $P11 : M \cdot F \leftrightarrow F \cdot M$   
 $P12 : M \cdot Z \leftrightarrow Z \cdot M$   
 $P13 : F \cdot Z \leftrightarrow Z \cdot F$   
 $P14 : A \rightarrow A \cdot Z$   
 $P15 : A \rightarrow A \cdot F$   
 $P16 : (A \cdot B) \cdot C \leftrightarrow A \cdot (B \cdot C)$

Здесь только А, В, С - произвольные структуры над множеством  $\Sigma : M, Z, F$  - приборы из  $\Sigma$ ; индексами помечены различающиеся приборы одного типа, например, M1 и M2 - монохроматоры, отличающиеся оптическими характеристиками.

Стрелка  $\leftrightarrow$  связывает эквивалентные в функциональном отношении структуры и, наоборот, стрелка  $\rightarrow$  означает такое преобразование структуры, при котором ее функциональные возможности не уменьшаются.

Рассмотрим пример, демонстрирующий возможности введенного формализма. Номера использованных преобразований будем записывать над соответствующими стрелками.

Пусть задана структура (рис. 7, а):  $S = ((((((H1 \cdot Z \cdot F) \oplus$

$$\oplus (J2 \cdot F \cdot Z)) \cdot Z) \oplus (((J1 \cdot M \cdot F1 \cdot Z) \oplus (H2 \cdot F1)) \cdot Z) F \oplus (J2 \cdot F \cdot Z) M \cdot Z \cdot K$$

Вначале преобразуем отдельные части структуры S :

$$S1 = ((H1 \cdot Z \cdot F) \oplus (J2 \cdot F \cdot Z)) \xrightarrow{13} Z \xrightarrow{13} ((H1 \cdot F \cdot Z) \oplus (J2 \cdot F \cdot Z)) \cdot Z \xrightarrow{2} \xrightarrow{2} (H1 \oplus J2) \cdot F \cdot Z \xrightarrow{6} (H1 \oplus J2) \cdot F \cdot Z$$

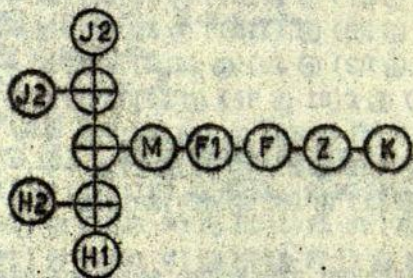
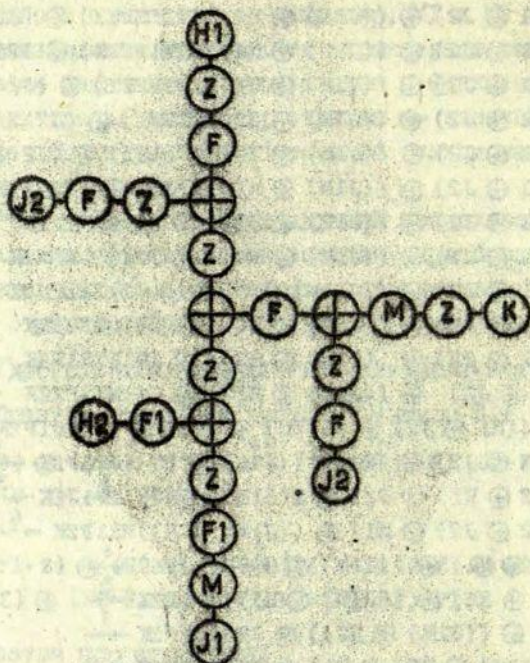
$$S2 = ((J1 \cdot M \cdot F1 \cdot Z) \oplus (H2 \cdot F1)) \xrightarrow{2} Z \xrightarrow{2} (J1 \cdot M \cdot F1 \cdot Z \cdot Z) \oplus (H2 \cdot F1 \cdot Z) \xrightarrow{6} \xrightarrow{6} (J1 \cdot M \cdot F1 \cdot Z) \oplus (H2 \cdot F1 \cdot Z) \xrightarrow{2} ((J1 \cdot M) \oplus H2) \cdot F1 \cdot Z$$

Далее преобразуем всю структуру:

$$\begin{aligned} & (((S1 \oplus S2) \cdot F) \oplus (J2 \cdot F \cdot Z)) \cdot M \cdot Z \cdot K \xrightarrow{14} \\ & \xrightarrow{14} (((S1 \oplus S2) \cdot F \cdot Z) \oplus (J2 \cdot F \cdot Z)) \cdot M \cdot Z \cdot K \xrightarrow{2} \\ & \xrightarrow{2} ((S1 \oplus S2) \oplus J2) \cdot F \cdot Z \cdot M \cdot K \xrightarrow{12} \\ & \xrightarrow{12} ((S1 \oplus S2) \oplus J2) \cdot F \cdot M \cdot Z \cdot Z \cdot K \xrightarrow{6} \\ & \xrightarrow{6} ((S1 \oplus S2) \oplus J2) \cdot F \cdot M \cdot Z \cdot K = \\ & = (((H1 \oplus J2) \cdot F \cdot Z) \oplus (((J1 \cdot M) \oplus H2) F1 \cdot Z)) \oplus J2) \cdot F \cdot M \cdot Z \cdot K \xrightarrow{15} \\ & \xrightarrow{15} (((H1 \oplus J2) F \cdot Z F1) \oplus (((J1 \cdot M) \oplus H2) F1 \cdot Z \cdot F1)) \oplus J2) \cdot F \cdot M \cdot Z \cdot K \xrightarrow{13} \\ & \xrightarrow{13} (((H1 \oplus J2) Z \cdot F \cdot F1) \oplus (((J1 \cdot M) \oplus H2) Z \cdot F1 \cdot F1)) \oplus J2) F M Z K \xrightarrow{7} \\ & \xrightarrow{7} (((H1 \oplus J2) Z \cdot F \cdot F1) \oplus (((J1 \cdot M) \oplus H2) Z \cdot F1)) \oplus F M Z K \xrightarrow{12} \\ & \xrightarrow{15} (((H1 \oplus J2) Z F \cdot F1 \cdot F) \oplus (((J1 \cdot M) \oplus H2) Z F1 \cdot F)) \oplus J2) F M Z K \xrightarrow{10} \\ & \xrightarrow{10} (((H1 \oplus J2) Z F1 F \cdot F) \oplus (((J1 \cdot M) \oplus H2) Z F1 \cdot F)) \oplus J2) F M Z K \xrightarrow{7} \\ & \xrightarrow{7} (((H1 \oplus J2) Z F1 F) \oplus (((J1 \cdot M) \oplus H2) Z F1 \cdot F)) \oplus J2) F \cdot M \cdot Z \cdot K \xrightarrow{2} \\ & \xrightarrow{2} (((H1 \oplus J2) \oplus (J1 M) \oplus H2) Z F1 F) \oplus J2) \cdot F \cdot M \cdot Z \cdot K \xrightarrow{14} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{l}
 \frac{14}{15} \rightarrow ((H1 \oplus J2) \oplus ((J1M) \oplus H2))ZP1PZ) \oplus (J2Z)) \text{FMZK} \frac{15}{15} \\
 \frac{15}{15} \rightarrow ((H1 \oplus J2) \oplus ((J1M) \oplus H2))ZP1PZF) \oplus J2 \cdot ZF) \text{FMZK} \frac{15}{15} \\
 \frac{15}{15} \rightarrow ((H1 \oplus J2) \oplus ((J1M) \oplus H2))ZP1PZFF1) \oplus (J2ZFF1)) \text{FMZK} \frac{15}{6} \\
 \frac{6}{15} \rightarrow ((H1 \oplus J2) \oplus ((J1M) \oplus H2))ZP1PFF1) \oplus J2ZFF1)) \text{FMZK} \frac{6}{7} \\
 \frac{6}{7} \rightarrow ((H1 \oplus J2) \oplus ((J1M) \oplus H2))ZP1FFF1) \oplus (J2 \cdot ZFF1)) \text{FMZK} \frac{7}{10} \\
 \frac{7}{10} \rightarrow ((H1 \oplus J2) \oplus ((J1M) \oplus H2))ZP1FF1) \oplus (J2 \cdot Z \cdot FF1)) \text{FMZK} \frac{10}{7} \\
 \frac{10}{7} \rightarrow ((H1 \oplus J2) \oplus ((J1M) \oplus H2))ZFF1F1) \oplus (J2 \cdot ZFF1)) \text{FMZK} \frac{7}{2} \\
 \frac{7}{2} \rightarrow ((H1 \oplus J2) \oplus ((J1M) \oplus H2))ZFF1) \oplus (J2 \cdot Z \cdot FF1)) \text{FMZK} \frac{2}{10} \\
 \frac{2}{10} \rightarrow ((H1 \oplus J2) \oplus ((J1M) \oplus H2)) \oplus J2)ZFF1FMZK \frac{10}{7} \\
 \frac{10}{7} \rightarrow ((H1 \oplus J2) \oplus ((J1M) \oplus H2)) \oplus J2)ZP1FFMZK \frac{7}{11} \\
 \frac{7}{11} \rightarrow ((H1 \oplus J2) \oplus ((J1 \cdot M) \oplus H2)) \oplus J2)ZP1FMZK \frac{11}{12} \\
 \frac{11}{12} \rightarrow ((H1 \oplus J2) \oplus ((J1M) \oplus H2)) \oplus J2)ZM1P1ZK \frac{12}{13} \\
 \frac{12}{13} \rightarrow ((H1 \oplus J2) \oplus ((J1M) \oplus H2)) \oplus J2)MZP1PZK \frac{13}{6} \\
 \frac{13}{6} \rightarrow ((H1 \oplus J2) \oplus ((J1M) \oplus H2)) \oplus J2)MF1PZK \frac{6}{3} \\
 \frac{6}{3} \rightarrow ((H1 \oplus J2) \oplus ((J1M) \oplus H2)) \oplus J2)M1P1ZK \frac{3}{1} \\
 \frac{3}{1} \rightarrow ((H1 \oplus J2) \oplus J2) \oplus ((J1M) \oplus H2))M1P1ZK \frac{1}{3} \\
 \frac{1}{3} \rightarrow (((J2 \oplus H1) \oplus J2) \oplus ((J1M) \oplus H2))M1P1ZK \frac{3}{4} \\
 \frac{3}{4} \rightarrow (((J2 \oplus J2) \oplus H1) \oplus ((J1M) \oplus H))M1P1ZK \frac{4}{1} \\
 \frac{4}{1} \rightarrow ((J2 \oplus H1) \oplus ((J1M) \oplus H))M1P1ZK \frac{1}{3} \\
 \frac{1}{3} \rightarrow ((H1 \oplus J2) \oplus ((J1M) \oplus H2))M1P1ZK \frac{3}{1} \\
 \frac{3}{1} \rightarrow ((H1 \oplus ((J1M) \oplus H2)) \oplus J2)M1P1ZK \frac{1}{1} \\
 \frac{1}{1} \rightarrow (((J1M) \oplus H2) \oplus H1) \oplus J2)M1P1ZK \frac{1}{3} \\
 \frac{1}{3} \rightarrow (((H2 \oplus (J1M)) \oplus H1) \oplus J2)M1P1ZK \frac{3}{1} \\
 \frac{3}{1} \rightarrow (((H2 \oplus H1) \oplus (J1M)) \oplus J2)M1P1ZK \frac{1}{3} \\
 \frac{1}{3} \rightarrow (((H1 \oplus H2) \oplus (J1M)) \oplus J2)M1P1ZK \frac{3}{1} \\
 \frac{3}{1} \rightarrow (((H1 \oplus H2) \oplus J2) \oplus (J1M))M1P1ZK \frac{1}{5} \\
 \frac{1}{5} \rightarrow ((J1M) \oplus ((H1 \oplus H2) \oplus J2))M1P1ZK \frac{5}{1} \\
 \frac{5}{1} \rightarrow (J1 \oplus ((H1 \oplus H2) \oplus J2))M1P1ZK \frac{1}{3} \\
 \frac{1}{3} \rightarrow ((J2 \oplus (H1 \oplus 2)) \oplus J1)M1P1ZK \frac{3}{3} \\
 \frac{3}{3} \rightarrow ((J2 \oplus J1) \oplus (H1 \oplus H2))M1P1ZK
 \end{array}$$

Последняя структура является, очевидно, более простой: по сравнению с исходной она содержит на 12 приборов меньше, несмотря на то, что в функциональном отношении она не слабее исходной (поскольку были использованы преобразования PI4 и PI5). Структура изображена на рис. 7,б.



Р и с. 7. Измерительная структура до преобразования (а) и после преобразования (б).

В заключение следует отметить, что развитие подобного формализма позволяет создать программы, автоматизирующие процесс минимизации сложных структур экспериментов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин Ю.Я. К вопросу о построении систем автоматического наблюдения. - В кн.: Вычислительные системы, Труды I Всесоюзной конференции по вычислительным системам. Вып.6. Новосибирск, 1968, с.8-14.
2. Кузьмин Ю.Я. Необходимость кибернетизации научного эксперимента. - В кн.: Кибернетизация научного эксперимента. Вып.1. Рига, 1968, с.7-52.
3. Тале И.А. Пути создания и требования к ЭВМ для спектрально-кинетических люминесцентных исследований. - "Учен. зап. Латв. ун-та", 1972, т.170, с.33-65.
4. Плаудис А.Э., Тале И.А. Научно-исследовательская система для спектрально-кинетических люминесцентных исследований. - "Учен. зап. Латв. ун-та", 1972, т.170, с.66-94.
5. Аболиньш О.Э., Страумен Я.Я., Миллер Д.К., Плаудис А.Э., Тале И.А., Витол Я.К., Гурдзиелс П.Я. Азотные криостаты. - "Учен. зап. Латв. ун-та", 1972, т.170, с.116-137.
6. Страумен Я.Я., Пранч Е.А., Аберс А.Я., Лиела Г.М., Тройцис А.А. Элементы оптико-механических каналов. - "Учен. зап. Латв. ун-та", 1972, т.170, с.178-200.
7. Страумен Я.Я., Аболиньш О.Э., Аберс А.Я. Стенд эксперимента. - "Учен. зап. Латв. ун-та", 1972, т.170, с.243-259.
8. Кузьмин Ю.Я. Проблема автоматизации "мини-эксперимента". - "Учен. зап. Латв. ун-та", 1971, т.144, с.3-32.
9. Плаудис А.Э. Идеология построения системных приборов. - "Учен. зап. Латв. ун-та", 1972, т.160, с.66-75.
10. Пранч Е.А., Портнов А.А., Страумен Я.Я. Пути создания оптических каналов. - "Учен. зап. Латв. ун-та", 1972, т.170, с.111-115.
11. Кузьмин Ю.Я. Об одной альтернативе программирования эксперимента. - "Учен. зап. Латв. ун-та", 1973, т.196, с.3-16.



# ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ

УДК 512.8

Я.П.Цирулис

## КРИТЕРИИ СУЩЕСТВОВАНИЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ЛИНЕЙНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ

Приводится необходимое и достаточное условие существования вполне нормального разложения системы функций.

Было показано [1,2], что задача линейного разложения системы функций естественно возникает при анализе сложных спектров. Некоторые свойства решений этой задачи, а также алгоритм разложения, приблизительно описанный в работах [1,2], были рассмотрены в работе [3]. Этот алгоритм, если он применим к исходной системе функций, выдает в качестве решения другую систему специального вида. В настоящей заметке, имеющей математический характер, приводится одно необходимое и достаточное условие существования такой системы. (Терминология и обозначения из работы [3].)

**ТЕОРЕМА.** Система  $f$  имеет вполне нормальное разложение порядка  $n$  тогда и только тогда, если в промежутке  $(a,b)$  существуют такие точки  $a_1, a_2, \dots, a_n, b_1, b_2, \dots, b_n$ , что

$$a_1 < a_2 < \dots < a_n; \quad (1)$$

$$b_1 < b_2 < \dots < b_n; \quad (2)$$

$$a_j < b_j \quad (j = 1, 2, \dots, n); \quad (3)$$

$$r_{(a,a)}(f) = j, \text{ если } a_j \leq a \leq a_{j+1} \quad (j = 1, 2, \dots, n, a_{n+1} = b); \quad (4)$$

$$r_{(b,b)}(f) = j, \text{ если } b_{n-j} \leq b < b_{n-j+1} \quad (j = 1, 2, \dots, n, b_n = a). \quad (5)$$

Сначала докажем необходимость условия.

Пусть  $\underline{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  - вполне нормальное разложение системы  $\underline{f}$ . Положим  $a_j = \alpha(x_j)$ ,  $b_j = \beta(x_j)$  для всех  $j$ ; тогда, очевидно, при надлежащей нумерации компонент в  $\underline{x}$  выполняются все неравенства в (1), (2), (3). Системы  $\underline{f}$  и  $\underline{x}$  изоморфны, поэтому  $r_{(a, a')}(\underline{f})$  всегда равно  $r_{(a, a')}(\underline{x})$ . Но  $\underline{x}$  -  $\Delta$ -система, поэтому в силу леммы 3.5 из работы [3]  $r_{(a, a')}(\underline{x}) = n$ , если  $a_j < a'_j \leq a_{j+1}$  и  $j < n$ , и в силу линейной независимости компонент  $r_{(a, a')}(\underline{x}) = n$ , если  $a'_j > a_n$ . Этим и доказываются соотношения (4). Соотношения (5), с учетом того, что  $\underline{x}$  - это также  $\nabla$ -система, проверяются аналогично.

Теперь докажем достаточность условия теоремы.

Пусть  $\underline{f} = (f_1, f_2, \dots, f_n)$  - система, подчиняющаяся условию теоремы. Выберем в каждом промежутке  $(a_j, a_{j+1})$  точку  $\lambda_j$  и в каждом промежутке  $(b_{n-j}, b_{n-j+1})$  точку  $\lambda'_j$  и введем следующие сокращения:  $f_{i\lambda}$  вместо  $f_i(\lambda)$ ,  $f_{ij}$  вместо  $f_i(\lambda_j)$ ,  $f_{ij}'$  вместо  $f_i(\lambda'_j)$ . Проверим предварительно ряд вспомогательных утверждений.

а. Точки  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  можно выбрать так, чтобы столбцы матрицы

$$\begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & f_{m2} & \dots & f_{mn} \end{pmatrix} \quad (6)$$

были линейно независимыми.

Индукцией по  $j$  легко проверяется, что в матрице (6) линейно независимы первые  $j$  столбцов. Действительно, при  $j=1$  из (4) вытекает, что  $\lambda_1$  можно выбрать так, чтобы в первом столбце были ненулевые элементы. Если точки  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_j$  уже надлежащим образом выбраны, то существование такого  $\lambda_{j+1}$  в промежутке  $(a_{j+1}, a_{j+2})$ , при котором  $(j+1)$ -й столбец линейно независим от предыдущих, вытекает из того, что при переходе от промежутка  $(a, a_{j+1})$  к большему ранг системы  $\underline{f}$  возрастает (см. (4)).

а'. Точки  $\lambda'_1, \lambda'_2, \dots, \lambda'_n$  можно выбрать так, чтобы столб-

цы матрицы

$$\begin{pmatrix} f_{11}' & f_{12}' & \dots & f_{1n}' \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1}' & f_{m2}' & \dots & f_{mn}' \end{pmatrix}$$

были линейно независимыми.

Доказывается аналогично. В дальнейшем изложении точки  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, \lambda_1', \lambda_2', \dots, \lambda_n'$  будем считать выбранными указанным образом.

б. Столбцы матрицы

$$\begin{pmatrix} f_{1\lambda} & f_{1\lambda} & \dots & f_{1(j-1)} & f_{1\lambda} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m\lambda} & f_{m\lambda} & \dots & f_{m(j-1)} & f_{m\lambda} \end{pmatrix} \quad (7)$$

линейно зависимы, если  $\lambda \leq a_j$ .

Действительно, так как ранг системы  $\underline{f}$  на промежутке  $(a, a_j)$  равен  $j-1$  и, согласно уже доказанному, первые  $j-1$  столбцов в (7) линейно независимы, то последний столбец является линейной комбинацией остальных.

б'. Столбцы матрицы

$$\begin{pmatrix} f_{1\lambda} & f_{1(j+1)'} & f_{1(j+2)'} & \dots & f_{1n}' \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m\lambda} & f_{m(j+1)'} & f_{m(j+2)'} & \dots & f_{mn}' \end{pmatrix} \quad (8)$$

линейно зависимы, если  $\lambda \geq b_{n-j}$ .

Доказывается аналогично.

в. При достаточно малом положительном  $\varepsilon$  столбцы матрицы (7) линейно независимы, если  $a_j < \lambda < a_j + \varepsilon$ .

Проверяется так же, как индуктивный переход в доказательстве утверждения а.

в'. При достаточно малом положительном  $\varepsilon$  столбцы матрицы (8) линейно независимы, если  $b_{n-j} - \varepsilon < \lambda < b_{n-j}$ .

Доказывается аналогично.

Из соотношений (4) или (5) вытекает, что  $r_{(a,b)}(\underline{f}) = n$  поэтому  $m \geq n$ . Предположим для простоты, что компоненты  $\underline{f}$  пронумерованы так, что линейно независимыми являются первые  $n$  из них. Определим систему  $\underline{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , полагая для произвольного  $\lambda$  из промежутка  $(a, b)$ , что

$${}^*x_{j\lambda} = \begin{vmatrix} f_{11} & \dots & f_{\lambda(j-1)} & f_{1\lambda} & f_{\lambda(j+1)'} & \dots & f_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & \dots & f_{n(j-1)} & f_{n\lambda} & f_{n(j+1)'} & \dots & f_{nn} \end{vmatrix}, j=1,2,\dots,n \quad (9)$$

(запись  ${}^*x_{j\lambda}$  является сокращением для  ${}^*x_j(\lambda)$ ). Из утверждений а. - в', вытекает, что  $\alpha({}^*x_j) = a_j$  и  $\beta({}^*x_j) = b_j$ , следовательно,  ${}^*x$  - вполне нормальная система функций. В частности, она линейно независима на промежутке  $(a, b)$ . Но тогда она изоморфна  $\underline{f}$ , так как, с одной стороны, ее компоненты являются линейными комбинациями  $f_{1\lambda}, f_{2\lambda}, \dots, f_{m\lambda}$ , а с другой стороны, определитель матрицы  $(c_{ji})$  в системе

$${}^*x_{j\lambda} = \sum_{i=1}^n c_{ji} f_{i\lambda}, j=1,2,\dots,n$$

не может равняться нулю (иначе  $r_{(a,b)}(\underline{x}) < n$ ). Итак,  ${}^*x$  - искомое разложение системы  $\underline{f}$ , и теорема доказана.

В заключение отметим, что если система  $\underline{f}$  имеет вполне нормальное разложение, то оно в силу своей единственности (следствие 3.7 из [3]) эквивалентно  ${}^*x$ . Таким образом мы можем считать, что определители (9) в одном частном случае в явном виде задают решение задачи линейного разложения.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Фок М.В. Разделение сложных спектров на индивидуальные полосы при помощи обобщенного метода Аллендева. - "Тр.Физ.ин-та АН СССР", 1972, т.59, с.3-24.

2. Цирулис Я.П., Котомин Е.А., Тале И.А. Разделение сложных спектров на элементарные компоненты. - "Учен.зап. Латв.ун-та", 1972, т.160, с.93-122.

3. Цирулис Я.П. Метод последовательных исключений для линейного разложения системы функций. - В кн.: Латвийский математический ежегодник. Т.17, Рига, 1976, с.258-268.

Н.А.Круглова, Л.М.Кузьмина, В.А.Растопчина

## СГЛАЖИВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ КРИВЫХ

Рассматриваются метод экспоненциального сглаживания и метод Форсайта для сглаживания гауссовых функций. Исследуются зависимости среднеквадратичной ошибки сглаживания от числа точек на интервале задания функции и от величины случайных ошибок. Проводится сравнительный анализ упомянутых методов и даются рекомендации по их использованию.

## В в е д е н и е

Применение ЭВМ для математической обработки экспериментальных данных потребовало решить задачу их сглаживания. Результаты эксперимента всегда искажены различного рода ошибками. Систематические ошибки можно исключить путем введения в расчеты поправок. Уменьшение влияния случайных ошибок на результаты математической обработки экспериментальных данных достигается сглаживанием.

При сглаживании вручную согласно нанесенным на график точкам измерений и априорной информации проводится гладкая кривая, используемая в расчетах как исходная. Ручное сглаживание трудоемко для больших массивов и совершенно неприемлемо в автоматизированных системах обработки, где данные поступают в машину прямо от экспериментальных установок.

В настоящее время используются различные операторы сглаживания (в работе [1] дана подробная библиография), од-

нако их выбор проводится интуитивно, определение оптимальных параметров носит чисто эмпирический характер, при этом не учитываются динамические и статистические ошибки сглаживания [2], вследствие чего зачастую получаются совершенно неправильные результаты.

Ниже будут рассмотрены два метода сглаживания — метод экспоненциального сглаживания (метод э.с.) и метод Форсайта — и проведен сравнительный анализ этих методов в применении к сглаживанию спектральных кривых, описываемых гауссовыми функциями.

### Описание методов сглаживания

Экспоненциальное сглаживание предполагает, что на каждом интервале  $(0, t)$ , где  $t$  принимает значения от  $m+1$  до  $n$ , экспериментальные данные  $x(t)$  описываются полиномом степени  $m$  [3]:

$$P(t-i) = \alpha_t - i\alpha_t^2 + \dots + (-1)^m i^m \alpha_t^m. \quad (1)$$

Коэффициенты этого полинома  $\alpha_t^k$  определяются из условия:

$$\sum_{j=0}^m \alpha (1-\alpha)^j (x_{t-j} - P_{t-j})^2 = \min. \quad (2)$$

Применением способа подвижного интервала для каждого  $t$  строится полином  $P(t-i)$ . За сглаженное значение в точке  $t$  принимается величина, равная коэффициенту этого полинома при нулевой степени. Решая (2) относительно  $\alpha_t^k$ , находим, что

$$x(t) = \alpha_t = [J - (J-S)^{m+1}]_t(x), \quad (3)$$

где

$$J_t(x) = x(t); \quad (4)$$

$$S_t^{m+1}(x) = \sum_{j=0}^t \alpha^{m+1} (1-\alpha)^j \sum_{k=0}^j \frac{(m+k)!}{k!m!} x(t-j). \quad (5)$$

Отметим, что при вычислении  $S_t^k(x)$ , где  $k=1, 2, \dots, m+1$ , ве-

личина вклада точек  $x(t-j)$  регулируется значением величины  $\alpha \in (0,1)$ . Например,  $\alpha = 0,2$  будет соответствовать сглаживанию по 9 точкам. В настоящей работе сглаживание проводилось полиномом второй степени, т.е. по формуле (3); сглаженное значение вычислялось по формуле:

$$\bar{x}(t) = 3S_1(x) - 3S_2^2(x) + S_3^3(x). \quad (6)$$

В методе Форсайта [4] для описания экспериментальных данных используется полином  $J_m(t)$ , минимизирующий сумму

$$S_m^2 = \sum_{k=0}^n [y_m(t_k) - x(t_k)]^2 \quad (7)$$

и имеющий следующий вид:

$$y_m(t) = c_0 p_0(t) + c_1 p_1(t) + \dots + c_m p_m(t), \quad (8)$$

где  $p_i(t)$  - полиномы степени  $i$ , связанные между собой условием ортогональности:

$$\sum_{k=0}^n p_i(t_k) p_j(t_k) = 0; \quad i \neq j. \quad (9)$$

Коэффициенты  $c_i$  вычисляются по формулам

$$c_i = \frac{\sum_{k=0}^n x(t_k) p_i(t_k)}{\sum_{k=0}^n \{p_i(t_k)\}^2}, \quad (10)$$

которые не зависят от степени искомого многочлена. Ортогональные многочлены со старшим коэффициентом, равным единице, определяются по рекуррентным соотношениям

$$p_{i+1}(t) = x_i(t - \alpha_{i+1}) p_i(t) - \beta_i p_{i-1}(t), \quad (11)$$

где

$$\alpha_{i+1} = \frac{\sum_{k=0}^n t_k \{p_i(t_k)\}^2}{\sum_{k=0}^n \{p_i(t_k)\}^2}; \quad (12)$$

$$\beta_i = \frac{\sum_{k=0}^n \{p_i(t_k)\}^2}{\sum_{k=0}^n \{p_{i-1}(t_k)\}^2}. \quad (13)$$

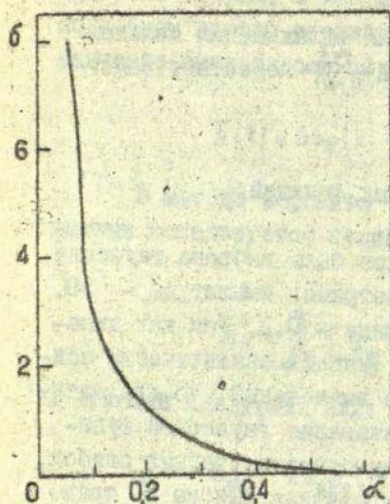
Форсайт предлагает выбрать для сглаживания полином такой степени  $m$ , начиная с которой  $\frac{\sigma_m^2}{n-m}$  перестает заметно убывать:

### Сглаживание гауссовых функций

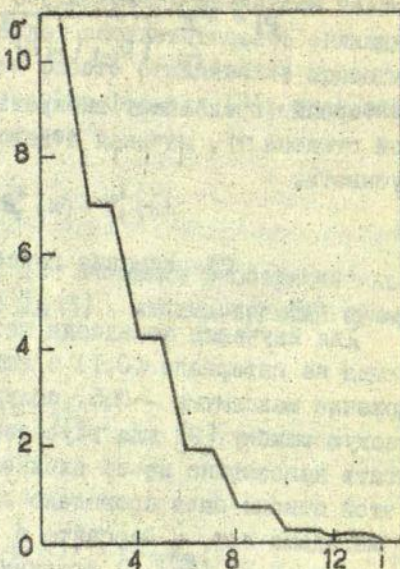
Для изучения поведения методов была выбрана гауссова функция на интервале  $(0,1)$  с параметрами: амплитуда - 30, положение максимума - 0,5, полуширина - 0,1. Так как динамическую ошибку [2] для гауссовой функции аналитически подсчитать невозможно из-за сложности вычислений, то для оценки этой ошибки было проведено сглаживание гауссовой функции методами э.с. и Форсайта в отсутствие случайных ошибок. Для метода э.с. (рис.1) среднеквадратичная ошибка  $\sigma$  практически мала, начиная со значений  $\alpha = 0,5$ . Для метода Форсайта (рис.2) среднеквадратичная ошибка становится малой, начиная с  $i = 12$ . Существенный вклад в уменьшение среднеквадратичной ошибки вносят только четные степени полинома, так как гауссова функция тоже четная. Зависимости показывают, что для уменьшения динамической ошибки необходимо брать либо достаточно большое  $\alpha$  (больше 0,5) в методе э.с., либо высокую степень полинома в методе Форсайта. При сглаживании функций, искаженных случайными ошибками, наоборот, требуется выбрать малые значения  $\alpha$  (меньше 0,3) или невысокую степень полинома, в противном случае не будет эффекта сглаживания. Для определения оптимума было исследовано поведение среднеквадратичной ошибки при разном числе точек, задающих гауссову функцию на интервале  $(0,1)$ . Как видно из рис.3, при одном и том же  $\alpha$  можно добиться существенного снижения среднеквадратичной ошибки, увеличивая число точек на интервале задания функции.

Ситуация аналогична и в методе Форсайта. Увеличивая





Р и с. 1. Зависимость  
среднеквадратичной ошибки  
от  $\alpha$  в методе з.с.

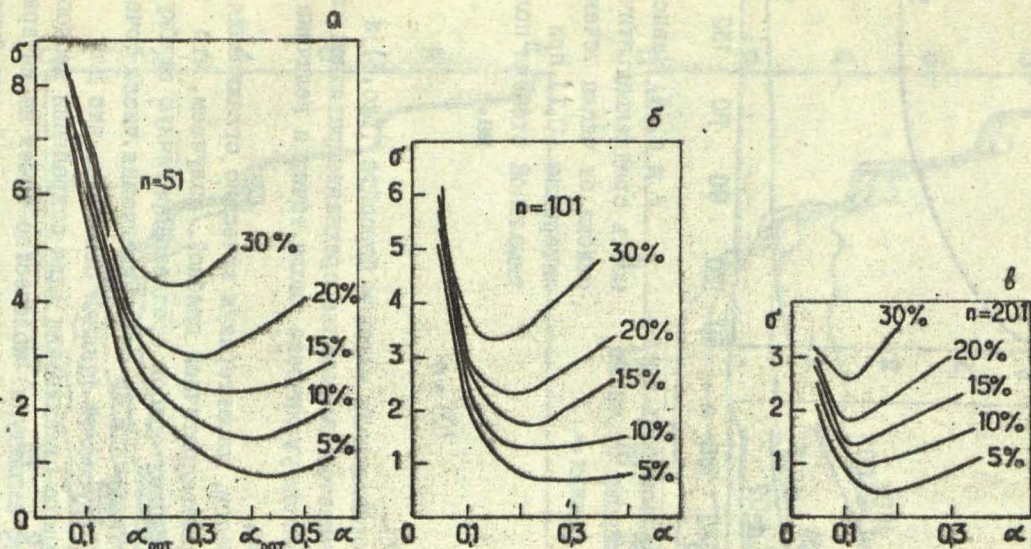


Р и с. 2. Зависимость  
среднеквадратичной ошибки от  
степени полинома в методе  
Форсайта.

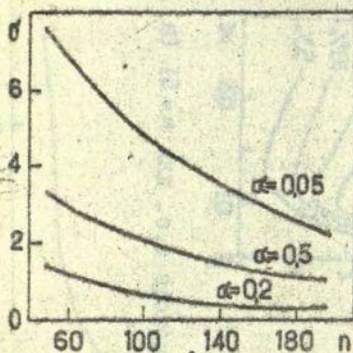
число точек, можно значительно уменьшить среднеквадратичную ошибку, но при этом для разных  $n$  оптимальная степень полинома также будет разной (рис.4).

Рассмотрим теперь гауссову функцию с наложенными на нее случайными ошибками, распределенными по нормальному закону. Величина случайных ошибок характеризуется в процентах от максимального значения гауссовой функции.

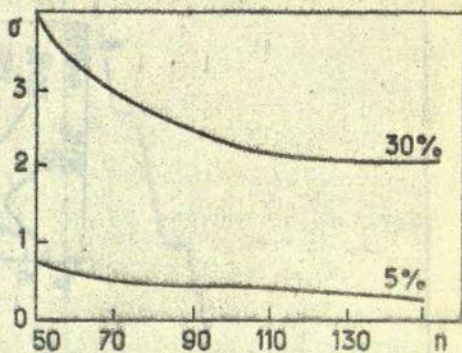
Сравнивая зависимости, изображенные на рис.5, можно сделать вывод, что увеличение числа точек ведет к уменьшению  $\sigma_{opt}$ , и, следовательно, к большему эффекту сглаживания. Увеличение числа точек приводит также к уменьшению значения среднеквадратичной ошибки с возрастанием величины



Р и с. 5. Зависимость среднеквадратичной ошибки от  $\alpha$  в методе э.с. для  $n=51$  (а),  $n=101$  (б),  $n=201$  (в).



Р и с. 3. Зависимость среднеквадратичной ошибки от числа точек при разных  $\alpha$ .

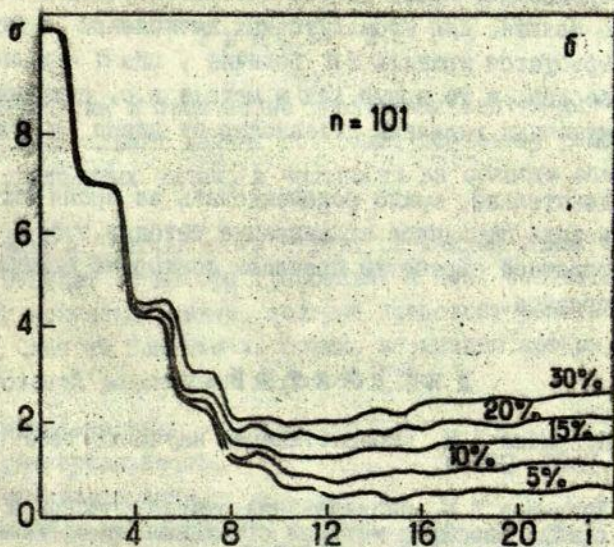
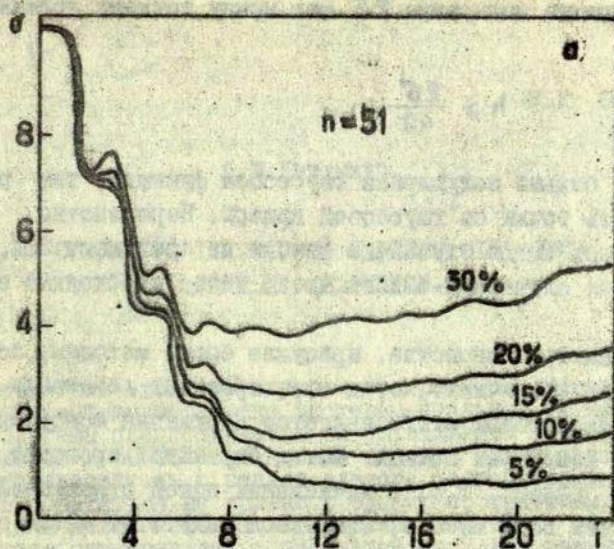


Р и с. 4. Зависимость среднеквадратичной ошибки от числа точек на интервале (0,1) при оптимальной степени полинома.

случайных ошибок.

В случаях сглаживания методом Форсайта (рис.6) и методом э.с. наблюдается уменьшение среднеквадратичной ошибки при одновременном увеличении числа точек и величины случайных ошибок.

Таким образом, характеризуя качество сглаживания обоих методов среднеквадратичной ошибкой, получаем, что при возрастании случайных ошибок среднеквадратичную ошибку можно значительно уменьшить за счет увеличения числа точек. Исследования на гауссовой функции показали, что для ее удовлетворительного сглаживания (для сохранения местоположения пика и его амплитуды) количество точек на интервале  $2\delta'$ , где  $\delta'$  — полуширина гауссовой функции, должно быть не менее 40. Таким образом, если заранее можно оценить полуширину  $\delta'$  гауссовой функции, то для удовлетворительного



Р и с. 6. Зависимость среднеквадратичной ошибки от степени полинома в методе Форсайта для  $n=51$  (а) и для  $n=101$  (б) при разных случайных ошибках.

сглаживания на интервале  $2\delta'$  шаг между точками должен равняться:

$$h \geq \frac{2\delta'}{40}, \quad (14)$$

т.е. чем больше полуширина гауссовой функции, тем реже можно брать точки на гауссовой кривой. Неравенство (14) справедливо, когда случайные ошибки не превышают 30%. При возрастании случайных ошибок число точек необходимо еще увеличивать.

Рассмотрев овойства, присущие обоим методам, остановимся на их различиях. Метод э.с. проводит локальное сглаживание, следствием этого является нарушение монотонности функции в некоторых точках. Метод Форсайта проводит сглаживание в "целом", т.е. в вычислении одной сглаженной точки участвует весь массив, благодаря чему этот метод свободен от названного недостатка. Однако вычисления в методе Форсайта трудоемки, время работы соответствующей программы в 8 раз больше. Для промежуточных вычислений в методе Форсайта требуется хранить  $2n$  величин, где  $n$  - длина исходного массива, в то время как в методе э.с. сохраняются три промежуточных величины независимо от длины исходного массива.

Следовательно, можно рекомендовать во время эксперимента проводить первичное сглаживание методом э.с., а затем при вторичной обработке провести повторное сглаживание методом Форсайта.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Кузьмина Л.М. Кибернетизация научного эксперимента. Рига, 1968. 203 с.

2. Кузьмина Л.М. Исследование статистической и динамической ошибки линейных методов сглаживания. - "Учен. зап. Латв. ун-та", 1971, т.144, с.114-149.

3. Brown R.G. Smoothing Forecasting and Prediction of Discrete Time Series. Englewood Cliffs, 1962. 468 p.

4. Clenshaw E.W. Curve Fitting with a Digital Computer. - "Computer Journal", 1960, vol.1.2. No.4, p.170-173.

Л.М.Кузьмина

СТРУКТУРА ДИАЛОГОВОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ  
ДАННЫХ - ВАРИАТОР-М

Рассматривается структура и программное обеспечение диалоговой системы обработки экспериментальных данных. Реализация системы предполагается на управляющем вычислительном комплексе М-6000. Особенность системы заключается в том, что пользователь в режиме диалога посредством директив может обратиться не только к одному программному модулю, но и к целой комбинации модулей. Обработку сообщений пользователя осуществляет специальный модуль в режиме интерпретации.

## В в е д е н и е

Разработка и применение диалоговых систем для анализа экспериментальных данных позволяет по-новому решать целый ряд трудоемких задач, в частности из области спектроскопии.

Однако эффективность и структура каждой такой системы целиком зависят от набора требований к ней, соответствующего тому комплексу задач, который предстоит решать на этой системе. Один из достаточно общих, по мнению автора, наборов требований рассмотрен в работе [1]:

- модульность,
- универсальность,
- адаптируемость,
- модифицируемость,
- надежность,
- простота и удобство пользования.

## Структура диалоговой системы

Диалоговая система обработки экспериментальных данных ВАРИАТОР-М реализуется на универсально-вычислительном комплексе М-6000, в комплект которого входят телетайп, фотосчитыватель, перфоратор, алфавитно-цифровой дисплей СИД-1000, графический дисплей СИГДА с клавиатурой и световым пером, графопроектор.

Исходя из перечисленных требований была разработана функциональная блок-схема (рис.) системы ВАРИАТОР-М, ориентированная на технические возможности универсально-вычислительного комплекса М-6000. Блок-схема включает в себя:

**ДИАЛОГ**, организующий обмен сообщениями между пользователем и системой.

**АНАЛИЗАТОР**, выполняющий синтаксический контроль сообщений пользователя. При обнаружении синтаксических ошибок об этом сообщается пользователю и управление передается на ДИАЛОГ. При отсутствии ошибок АНАЛИЗАТОР идентифицирует сообщение, определяет его тип для подключения к работе соответствующих блоков: ИНТЕРПРЕТАТОРА, если сообщение состояло из директив обработки; ФОРМИРОВАТЕЛЯ ФРАЗ, если пользователь намеревался генерировать новые фразы из имеющихся директив; ГЕНЕРАТОРА при необходимости перестройки системы на другой класс задач.

**ИНТЕРПРЕТАТОР**, осуществляющий расшифровку фраз, пересылку переменной информации на уровне директив, засылку ее программным модулям, запуск программных модулей на выполнение.

**БИБЛИОТЕКУ**, содержащую программные модули обработки и служебные модули системы.

**КАТАЛОГ** программных модулей и их описаний.

**ФОРМИРОВАТЕЛЬ ФРАЗ** - предназначенный для формирования новой фразы или вычеркивания старой.

**ГЕНЕРАТОР** системы позволяющий перестраивать ее на решение задач разных классов. Это осуществляется путем замены части программных модулей в БИБЛИОТЕКЕ и формированием

## нового КАТАЛОГА.

Диалоговая система ВАРИАТОР-М имеет модульную структуру. Каждый модуль пишется в виде перемещаемой программы на языках, трансляторы с которых входят в состав программного обеспечения М-6000, т.е. МНЕМКОД, АЛГОЛ, ФОРТРАН [2]. Загрузку и компоновку модулей осуществляет основная управляющая система (ОУС), входящая в программное обеспечение М-6000.

ИНТЕРПРЕТАТОР, ФОРМИРОВАТЕЛЬ ФРАЗ и ГЕНЕРАТОР располагаются на внешних носителях. Один из модулей вызывается в оперативную память АНАЛИЗАТОРОМ в зависимости от типа директивы, заданной пользователем. В оперативной памяти находятся ОУС, ДИАЛОГ, АНАЛИЗАТОР, КАТАЛОГ, БИБЛИОТЕКА программных модулей также находится на внешних носителях, за исключением некоторых служебных подпрограмм или подпрограмм обработки, имеющих большую частоту спроса или к которым предъявляются существенные требования по быстродействию.

### Взаимодействие пользователя с системой ВАРИАТОР-М

Общение пользователя с системой ВАРИАТОР-М организует ДИАЛОГ на базе алфавитно-цифрового дисплея СИД-1000. Язык пользователя - это язык директив. Он ориентирован на работу с программными модулями. Посредством директив пользователь может обратиться как к одному программному модулю, так и к целому набору модулей. Назовем фразой сложную комбинацию директив, среди которых могут быть директивы, вновь обращающиеся к фразам. Фразы, благодаря наличию меток и директив передачи управления, могут иметь весьма сложную структуру. Введение фраз дает пользователю возможность за одно обращение реализовывать несколько программных модулей, сокращая время, необходимое на ввод директив, тем самым увеличивая надежность работы. Описывая фразами некоторые устоявшиеся алгоритмы обработки, пользователь может опери-



ровать в режиме диалога не только с программными модулями, но и с целыми алгоритмами, что является существенным для поискового режима обработки экспериментальных данных.

Расшифровку фраз, пересылку информации на уровне директив, запуск программных модулей, непосредственно связанных с директивами, осуществляет ИНТЕРПРЕТАТОР. Блок-схема ИНТЕРПРЕТАТОРА рассмотрена в работе [3]. Аналогичный блок ИНТЕРПРЕТАТОР использован в действующей системе по обработке спектров ВАРИАТОР, реализованной на машине "Днепр-1" [4,5]. Образование новых фраз или уничтожение старых пользователь осуществляет по своему усмотрению с помощью ФОРМИРОВАТЕЛЯ ФРАЗ.

Рассмотрим синтаксис языка директив:

<директива> ::= <директива обработки данных>  
                   <директива ввода-вывода>  
                   <служебная директива>

<директива обработки данных> ::= <имя директивы>  
                                   ( <список параметров> )

<имя директивы> ::= <идентификатор>

<список параметров> ::= <параметр> | <список параметров>,  
                                   <параметр>

<параметр> ::= <пусто> | <константа> | <переменная>

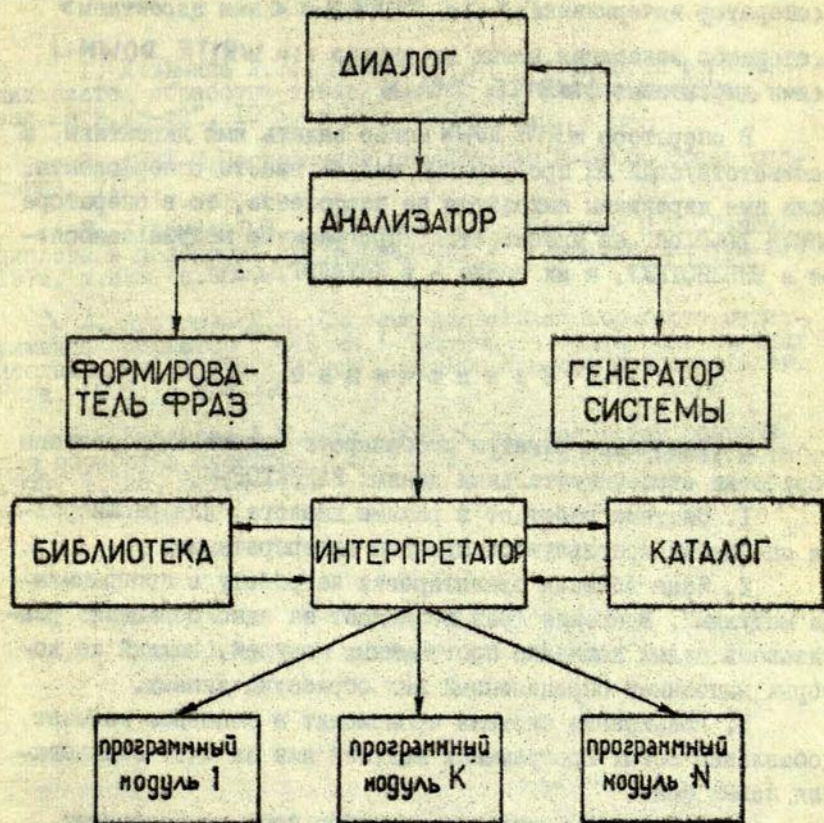
<константа> ::= <число> | <код> | <строка> | <метка> |  
                                   <шаблон>

<переменная> ::= <идентификатор>

<служебная директива> ::= <оператор формирователя фраз> |  
   <оператор вычеркивания> | <оператор занесения новых  
 директив>

<оператор формирователя фраз> ::= FORMER PHRASE  $\hookrightarrow$   
   <имя директивы>  $\hookrightarrow$  ( <список тип-форматов параметров> )  $\hookrightarrow$   
   <фраза>

<фраза> ::= <метка> : <директива> | <фраза> , <метка> :  
   <директива>



Р и с. Структурная схема диалоговой системы  
ВАРИАТОР-М.

<метка> ::= <идентификатор> | <пусто>

<оператор вычеркивания> ::= CLEAN <имя директивы>

<оператор занесения новых директив> ::= WRITE DOWN

<имя директивы> | WRITE DOWN

В операторе WRITE DOWN можно задать имя директивы, а соответствующий ей программный модуль ввести с перфоленты. Если имя директивы находится на перфоленте, то в операторе WRITE DOWN оно не указывается. Программные модули заносятся в БИБЛИОТЕКУ, а их имена - в КАТАЛОГ.

### З а к л ю ч е н и е

В заключение отметим особенности организации системы обработки экспериментальных данных ВАРИАТОР-М.

1. Система работает в режиме диалога, для расшифровки сообщений используется принцип интерпретации.

2. Язык общения ориентирован на работу с программными модулями. Введение фраз позволяет за одно обращение реализовать целый комплекс программных модулей, каждый из которых выполняет определенный вид обработки данных.

3. Расширение системы происходит в основном за счет добавления новых программных модулей или за счет образования новых фраз.

4. Компиляцию, проверку и отбор фраз осуществляет сам пользователь. Это позволяет каждому пользователю на основе имеющихся в системе программных модулей развивать свои специализированные системы обработки данных.

5. Система состоит из отдельных модулей, выполняющих строго определенные функции. Для настройки системы на другой класс задач достаточно заменить КАТАЛОГ и БИБЛИОТЕКУ программных модулей.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Кузьмина Л.М., Цирулис Я.М. Особенности организации систем обработки измерительной информации. - "Учен. зап.Латв.ун-та", 1975, т.225, с.99-103.

2. АСВТ-М Программное обеспечение М-6000. Общее описание. 71 с.

3. Кузьмина Ю.Я., Кузьмина Л.М., Цирулис Я.М. Режим диалога в поисковых экспериментах. - "Учен.зап.Латв.ун-та", 1975, т.225, с.90-96.

4. Кузьмина Л.М. Система диалоговой обработки эксперимента "Вариатор". - В кн.: Системы автоматизации научных исследований. 1975. Тезисы докладов Всесоюзного совещания. Рига, 1975, с.334-335.

5. Кузьмина Л.М., Назарова А.Н. Диалоговая система для обработки спектров - ВАРИАТОР. - "Учен.зап.Латв.ун-та", 1975, т.225, с.104-110.

С.В.Гвоздев

## МОДУЛЬ ДИАЛОГА В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТОМ

Рассматривается программа, позволяющая оператору управлять экспериментом в режиме диалога. В качестве устройства диалога используется дисплей СИИ-1000.

С помощью программы можно вводить информацию в память машины с клавиатуры дисплея, а также вести на экране локальный протокол событий или выдать в любое место экрана дисплея из памяти машины алфавитно-цифровой текст. Программа написана на языке ФОРТРАН для управляемого вычислительного комплекса М-6000, листинг программы приведен.

В работах [1-3] был описан метод групповых программ для создания универсального программного обеспечения эксперимента (УПОЭ). В данной статье рассматривается модуль диалога, входящий в комплекс универсальных групповых модулей, составляющих УПОЭ.

В процессе проведения эксперимента для принятия решения оператору необходима различная информация, в том числе и оперативного характера. Имея в качестве устройства диалога дисплей, оператор должен иметь возможность показывать на экране значение любого параметра эксперимента, т.е. вывести на экран алфавитно-цифровую информацию. В то же время, наряду с полным протоколом эксперимента, выдаваемого, например, на телетайп, необходимо иметь на экране дисплея локальный протокол эксперимента, что поможет оператору не забыть свое последнее распоряжение.

Таким образом экран дисплея разделяется на две части.

Первая должна представлять из себя "скользящий кадр": информация в эту часть экрана записывается последовательно строка за строкой. При отсутствии свободной строки в кадре происходит сдвиг информации, причем наиболее раннее сообщение выходит за рамки кадра и теряется. Самое позднее сообщение записывается на освободившееся место. При этом в кадр помещаются не только сообщения программы оператору, но и ответы оператора и на экране мы имеем весь диалог машины и человека за некоторый промежуток времени. Такой мини-протокол позволяет оператору специально не заботиться о фиксации своих действий.

Вторую часть экрана оператор может использовать для контроля одной или нескольких измеряемых величин и параметров эксперимента. При этом алфавитно-цифровая информация может быть помещена в любое место экрана, за исключением области протокола эксперимента. Оператор имеет возможность быстро изменять величину кадра для ведения протокола, тем самым можно дополнительно показать на экране дисплея некоторые интересующие экспериментатора величины в ответственный момент эксперимента либо оставить на экране только протокол событий.

Модуль диалога в системе групповых программ играет роль курьера: принимает сообщение от человека и передает его машине и наоборот. Кроме того, модуль размещает информацию на экране дисплея в том или ином месте. Модуль диалога работает в совокупности с модулями интерпретатора сообщений и вывода информации.

Модуль диалога написан на языке ФОРТРАН для управляющего вычислительного комплекса М-6000 и работает под управлением основной управляющей системы, включающей в себя стандартный драйвер дисплея СИД-1000. Для операций с дисплеем применяются две подпрограммы, написанные на МНЭ-МОКОДе, соответственно для ввода информации с экрана дисплея и вывода на экран. Объем памяти, занимаемой модулем диалога, составляет  $1694_{10}$  ячеек.

SUBROUTINE DIALG(KTEXT, IR, KS1, KS2, II)

С  
С ДАННАЯ ПОДПРОГРАММА ПОЗВОЛЯЕТ УПРАВЛЯТЬ ЭКСПЕРИМЕНТОМ В РЕ-  
С ЖИМЕ ДИАЛОГА. С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММЫ МОЖНО ВВОДИТЬ ИНФОРМАЦИЮ  
С В ПАМЯТЬ МАШИНЫ С КЛАВИАТУРЫ ДИСПЛЕЯ, А ТАКЖЕ ВЕСТИ НА ЭКРА-  
С НЕ ЛОКАЛЬНЫЙ ПРОТОКОЛ СОБЫТИЙ ИЛИ ВЫДАТЬ В ЛЮБОЕ МЕСТО ЭКРА-  
С НА ДИСПЛЕЯ ИЗ ПАМЯТИ МАШИНЫ АЛФАВИТНО-ЦИФРОВОЙ ТЕКСТ. В КА-  
С ЧЕСТВЕ УСТРОЙСТВА ДИАЛОГА ИСПОЛЬЗУЕТСЯ ДИСПЛЕЙ СИД-1000.  
С ПРОГРАММА РАЗРАБОТАНА В ПРОБЛЕМНОЙ ЛАБОРАТОРИИ ФИЗИКИ ПОЛУ-  
С ПРОВОДНИКОВ ЛГУ ИМ.П.СТУЧКИ В 1976 ГОДУ.

С  
С  
С ОБРАЩЕНИЕ К МОДУЛЮ ДИАЛОГА ПРОИСХОДИТ В СЛЕДУЮЩЕЙ ФОРМЕ:

CALL DIALG(KTEXT, IR, KS1, KS2, II)

С ФОРМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИМЕЮТ СЛЕДУЮЩИЙ СМЫСЛ:

- С 1. KTEXT - ЦЕЛЫЙ ОДНОМЕРНЫЙ МАССИВ ДЛИНОЙ В 32 СЛОВА.  
С           • ПОСРЕДСТВОМ МАССИВА ПРОИСХОДИТ ПЕРЕДАЧА, ЛИБО  
С ПРИЕМ СИМВОЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ЭКРАН ИЛИ С  
С ЭКРАНА ДИСПЛЕЯ.
- С 2. IR - ЦЕЛАЯ ПЕРЕМЕННАЯ, ПРИНИМАЮЩАЯ СЛЕДУЮЩИЕ ЗНА-  
С ЧЕНИЯ:
- С           -1 - ОЧИСТИТЬ КАДР С НАЧАЛЬНОЙ СТРОКОЙ KS1  
С И ПОСЛЕДНЕЙ СТРОКОЙ KS2, ПРИСВОИТЬ ПЕ-  
С РЕМЕННЫМ K1 И K2, ЯВЛЯЮЩИМСЯ ФИКСАТОРА-  
С МИ ГРАНИЦЫ КАДРА, ЗНАЧЕНИЯ СООТВЕТСТ-  
С ВЕННО KS1 И KS2, УСТАНОВИТЬ ФЛАГ ТЕКУ-  
С ЩЕЙ ЗАПИСИ KS1.
- С           0 - РЕЖИМ "КАДР".  
С           1 - РЕЖИМ "СТРОКА".
- С 3. KS1, KS2 - ЦЕЛЫЕ ПЕРЕМЕННЫЕ. В РЕЖИМЕ "КАДР" ИНТЕРПРЕТ-  
С РУЮТСЯ КАК НОВЫЕ ГРАНИЦЫ КАДРА И ПРИНИМАЮТ  
С ЗНАЧЕНИЯ МЕЖДУ 1 И 16. В РЕЖИМЕ "СТРОКА" ВОС-  
С ПРИНИМАЮТСЯ КАК НОМЕР СТРОКИ И НОМЕР ПОЗИЦИИ  
С В СТРОКЕ СООТВЕТСТВЕННО. ПРИ ЭТОМ KS1 НЕ ДОЛ-  
С ЖЕН ПРИНАДЛЕЖАТЬ КАДРУ С ГРАНИЦАМИ K1 И K2.
- С 4. II - ЦЕЛАЯ ПЕРЕМЕННАЯ, ПРИНИМАЮЩАЯ СЛЕДУЮЩИЕ ЗНА-

С ЧЕНИЯ И УКАЗЫВАЮЩАЯ НА ОПЕРАЦИЮ:

С 0 - ОЧИСТИТЬ (В ЗАВИСИМОСТИ ОТ IR) КАДР ИЛИ

С СТРОКУ УЧИТЫВАЯ KS1 И KS2.

С 1 - ПЕРЕПИСАТЬ НА ЭКРАН ДИСПЛЕЯ ИНФОРМАЦИЮ

С ИЗ МАССИВА KTEXT В УКАЗАННОЕ МЕСТО.

С 2 - СЧИТАТЬ СИМВОЛЬНУЮ ИНФОРМАЦИЮ С ЭКРАНА

С В KTEXT С ЗАПИСЬЮ НА ЭКРАН В УКАЗАННОЕ

С МЕСТО.

С МОДУЛЬ DIALG ИСПОЛЬЗУЕТ ДЛЯ ОПЕРАЦИЙ С ДИСПЛЕЕМ ПОДПРОГРАММЫ

С OUTPS И INPS, НАПИСАННЫЕ НА МНМОКОДЕ.

С

С

С DIMENSION KW(32,16),KTEXT(32)

С ПРОВЕРЯЕТСЯ РЕЖИМ "ОЧИСТИТЬ КАДР И ЗАНЕСТИ НОВЫЕ ГРАНИЦЫ

С КАДРА". ЕСЛИ "ДА" ТО ПЕРЕХОД НА МЕТКУ 2, В ПРОТИВНОМ СЛУЧАЕ

С - НА 1.

С IF(IR+1) 1,2,1

С ЗАНЕСТИ НОВЫЕ ГРАНИЦЫ КАДРА. СБРОСИТЬ ФЛАГ ЗАПИСИ СЛЕДУЮЩЕЙ

С СТРОКИ НА НАЧАЛО КАДРА.

С 2 K1=KS1

С K2=KS2

С K=K1

С ПРОВЕРЯЮТСЯ ГРАНИЦЫ КАДРА НА ДОПУСТИМОСТЬ. В СЛУЧАЕ ОШИБКИ

С ПЕРЕХОД НА МЕТКУ 12.

С 4 IF(KS1-KS2) 11,12,12

С 11 IF(KS1-1) 12,13,13

С 13 IF(KS2-16) 14,14,12

С В БУФЕРЕ СТРОКИ С НОМЕРАМИ KS1 ПО KS2 ЗАПОЛНЯЮТСЯ ПРОБЕЛАМИ.

С 14 DO 3 I=KS1,KS2

С DO 3 J=1,32

С 3 KW(J,I)=20040В

С ВЫВОД СОДЕРЖИМОГО БУФЕРА НА ЭКРАН ДИСПЛЕЯ.

С 5 CALL OUTPS(KW)

С ВЫХОД ИЗ ПОДПРОГРАММЫ.

С 6 RETURN

С ПРОВЕРЯЕТСЯ УСЛОВИЕ "ОЧИСТИТЬ". ЕСЛИ "ДА", ТО ПЕРЕХОД НА



- C МЕТКУ 8, В ПРОТИВНОМ СЛУЧАЕ - НА 7.  
1 IF(II) 7,8,7
- C ПРОВЕРЯЕТСЯ УСЛОВИЕ "КАДР", ЕСЛИ "ДА", ТО ПЕРЕХОД К МЕТКЕ 4,  
C В ПРОТИВНОМ СЛУЧАЕ - К МЕТКЕ 9.  
8 IF(IR) 9,4,9
- C ВЫПОЛНИЛОСЬ УСЛОВИЕ "СТРОКА", ПРОВЕРЯЕТСЯ ДОПУСТИМОСТЬ НОМЕ-  
C РА СТРОКИ И НОМЕРА ПОЗИЦИИ. В СЛУЧАЕ ОШИБКИ - НА МЕТКУ 12.  
9 IF(KS1-1) 12,15,15  
15 IF(KS1-16) 16,16,12  
16 IF(KS2-2) 12,17,17  
17 IF(KS2-64) 18,18,12  
18 IF((KS1-K1)?(KS1-K2)) 12,12,20
- C ОЧИСТИТЬ KS1-Ю СТРОКУ, НАЧИНАЯ С ПОЗИЦИИ KS2.  
20 L1=KS2/2  
DO TO 1=L1,32  
10 KW(1,KS1)=20040В  
GO TO 5
- C ПРОВЕРЯЕТСЯ УСЛОВИЕ "ЗАПИСАТЬ", ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПЕРЕХОД К  
C МЕТКЕ 22, В ПРОТИВНОМ СЛУЧАЕ - К 21.  
7 IF(II-1) 21,22,21
- C ВВЕСТИ ИНФОРМАЦИЮ С ЭКРАНА ДИСПЛЕЯ В МАССИВ КТЕХТ.  
21 DO 49 I=1,32  
49 K1EX1(I)=20040В  
CALL INPS(KТЕХТ)
- C ПРОВЕРЯЕТСЯ УСЛОВИЕ "КАДР", ЕСЛИ "ДА", ТО ПЕРЕХОД К МЕТКЕ  
C 24, В ПРОТИВНОМ СЛУЧАЕ - К 23.  
22 IF(IR) 23,24,23
- C ВЫПОЛНИЛОСЬ УСЛОВИЕ "СТРОКА", ПРОВЕРЯЕТСЯ ДОПУСТИМОСТЬ НОМЕ-  
C РА СТРОКИ И НОМЕРА ПОЗИЦИИ. В СЛУЧАЕ ОШИБКИ - НА МЕТКУ 12.  
23 IF(KS1-1) 12,25,25  
25 IF(KS1-16) 26,26,12  
26 IF(KS2-2) 12,27,27  
27 IF(KS2-64) 28,28,12  
28 IF((KS1-K1)?(KS1-K2)) 12,12,30
- C В KS1-Ю СТРОКУ БУФЕРА ПЕРЕПИСЫВАЕТСЯ ИНФОРМАЦИЯ ИЗ МАССИВА  
C КТЕХТ, НАЧИНАЯ С ПОЗИЦИИ KS2.

30 L1=KS2/2

DO 19 I=L1,32

L2=I-L1+1

19 KW(I,KS1)=KTEXT(L2)

GO TO 5

С ВЫПОЛНИЛОСЬ УСЛОВИЕ "КАДР", ПРОВЕРЯЮТСЯ ГРАНИЦЫ КАДРА НА  
С ДОПУСТИМОСТЬ. В СЛУЧАЕ ОШИБКИ ПЕРЕХОД К МЕТКЕ 12.

24 IF(KS1-KS2) 29,12,12

29 IF(KS1-1) 12,31,31

31 IF(KS2-16) 32,32,12

С СВЕРЯЕТСЯ НОВАЯ ВЕРХНЯЯ ГРАНИЦА КАДРА СО СТАРОЙ, ЕСЛИ ВЫПОЛ-  
С НИЛОСЬ УСЛОВИЕ "РАВНО", ТО ПЕРЕХОД К МЕТКЕ 34, ЕСЛИ "БОЛЬШЕ",  
С ТО ПЕРЕХОД К МЕТКЕ 35, ЕСЛИ "МЕНЬШЕ", ТО - К МЕТКЕ 39.

32 IF(KS1-K1) 35,34,33

С СРАВНИВАЕТСЯ НОВАЯ НИЖНЯЯ ГРАНИЦА КАДРА СО СТАРОЙ. ЕСЛИ ВЫ-  
С ПОЛНИЛОСЬ УСЛОВИЕ "РАВНО", ТО - К МЕТКЕ 37, ЕСЛИ "БОЛЬШЕ",  
С ТО - К МЕТКЕ 38, ЕСЛИ "МЕНЬШЕ", ТО - К МЕТКЕ 36.

34 IF(KS2-K2) 36,37,38

С НИЖНЯЯ ГРАНИЦА ПРИРАВНИВАЕТСЯ KS2,

38 K2=KS2

С ПРОВЕРЯЕТСЯ УСЛОВИЕ СОВПАДЕНИЯ НОМЕРА ПОСЛЕДНЕЙ СТРОКИ КАДРА  
С С ФЛАГОМ ТЕКУЩЕЙ ЗАПИСИ. ЕСЛИ "ДА", ТО ПЕРЕХОД К МЕТКЕ 40,  
С В ПРОТИВНОМ СЛУЧАЕ - К МЕТКЕ 39.

37 IF(K-K2) 39,40,39

С В БУФЕР В К-Ю СТРОКУ ПЕРЕПИСЫВАЕТСЯ ИНФОРМАЦИЯ ИЗ МАССИВА  
С KTEXT. ФЛАГ ТЕКУЩЕЙ ЗАПИСИ УВЕЛИЧИВАЕТСЯ НА ЕДИНИЦУ.

39 DO 41 I=1,32

41 KW(I,K)=KTEXT(I)

K=K+1

GO TO 5

С БУФЕР СДВИГАЕТСЯ НА ОДНУ СТРОКУ ВВЕРХ, В(К-1)-Ю СТРОКУ ПЕРЕ-  
С ПИСЫВАЕТСЯ ИНФОРМАЦИЯ ИЗ МАССИВА KTEXT.

40 L1=K-2

DO 50 I=K1,L1

DO 50 J=1,32

50 KW(J,I)=KW(J,I+1)

DO 42 I=1,32

42 KW(I,K-1)=KTEXT(I)

GO TO 5

С СРАВНИВАЕТСЯ НОВАЯ НИЖНЯЯ ГРАНИЦА КАДРА С ФЛАГОМ ТЕКУЩЕЙ ЗА-  
С ПИСИ. ЕСЛИ  $K > KS2$ , ТО ПЕРЕХОД К МЕТКЕ 43.

36 IF(K-KS2) 38,38,43

С КАДР СДВИГАЕТСЯ ВВЕРХ ДО ВЫПОЛНЕНИЯ УСЛОВИЯ  $K=KS2$ . СТРОКИ С  
С НОМЕРОМ, БОЛЬШИМ ЧЕМ ФЛАГ ТЕКУЩЕЙ ЗАПИСИ, ЧИСТЯТСЯ.

43 L1=KS2-K1

DO 44 I=1,L1

L2=K1+1-1

L3=L2+K-KS2

DO 44 J=1,32

44 KW(J,L2)=KW(J,L3)

L1=K-1

DO 45 I=KS2,L1

DO 45 J=1,32

45 KW(J,I)=20040В

K=KS2

GO TO 38

С СРАВНИВАЕТСЯ НОВЫЙ НОМЕР НИЖНЕЙ СТРОКИ КАДРА СО СТАРЫМ. ЕСЛИ  
С  $KS2 < K2$ , ТО - К МЕТКЕ 52, В ПРОТИВНОМ СЛУЧАЕ - К 53.

33 IF(KS2-K2) 52,53,53

52 L1=KS1-1

DO 46 I=K1,L1

DO 46 J=1,32

46 KW(J,I)=20040В

С НОМЕР ВЕРХНЕЙ СТРОКИ КАДРА ПРИРАВНИВАЕТСЯ К  $KS1$ .

54 K1=KS1

GO TO 36

С КАДР СДВИГАЕТСЯ ВНИЗ ДО ВЫПОЛНЕНИЯ УСЛОВИЯ  $K2=KS2$ . ИЗМЕНЯЮТ-  
С СЯ НОМЕР ВЕРХНЕЙ СТРОКИ И ФЛАГ ТЕКУЩЕЙ ЗАПИСИ. БУФЕР МЕЖДУ  
С СТАРОЙ ВЕРХНЕЙ СТРОКОЙ И ИЗМЕНЕННОЙ ОЧИЩАЕТСЯ. СРАВНИВАЕТСЯ  
С НОМЕР ИЗМЕНЕННОЙ ВЕРХНЕЙ СТРОКИ С НОВЫМ НОМЕРОМ. ЕСЛИ ВЫПОЛ-  
С НЯЕТСЯ УСЛОВИЕ "РАВНО", ТО ПЕРЕХОД К МЕТКЕ 54, ЕСЛИ "БОЛЬШЕ"  
С - К МЕТКЕ 32, ЕСЛИ "МЕНЬШЕ", ТО К МЕТКЕ 52.

```
53 L1=K-K1+1
   DO 51 I=1,L1
   L2=KS2-I+1
   L3=K-I+1
   DO 51 J=1,32
51 KW(J,L2)=KW(J,L3)
   L1=K1+KS2-K-1
   DO 55 I=K1,L1
   DO 55 J=1,32
55 KW(J,I)=20040В
   K=KS2
   K2=KS2
   K1=L1+1
   IF(K1-KS1) 52,54,32
```

С КАДР СДВИГАЕТСЯ ВВЕРХ ДО ВЫПОЛНЕНИЯ УСЛОВИЯ  $K1=KS1$ . ИЗМЕНЯ-  
С ЮТСЯ НОМЕР ПОСЛЕДНЕЙ СТРОКИ И ФЛАГ ТЕКУЩЕЙ ЗАПИСИ. БУФЕР  
С НИЖЕ НОМЕРА ПОСЛЕДНЕЙ СТРОКИ ОЧИЩАЕТСЯ.

```
35 L1=K2-K1+1
   DO 47 I=1,L1
   L2=KS1+I-1
   L3=K1+I-1
   DO 47 J=1,32
47 KW(J,L2)=KW(J,L3)
   L1=K-K1+KS1
   L2=K-1
   DO 48 I=L1,L2
   DO 48 J=1,32
48 KW(J,I)=20040В
   K1=KS1
   K2=K2-K1+KS1
   K=L1
   GO TO 34
```

С В БУФЕР ДИСПЛЕЯ ЗАНОСИТСЯ ФРАЗА: "ОШИБКА, НЕВЕРНО ЗАДАН НОМЕР  
С СТРОКИ ИЛИ НОМЕР ПОЗИЦИИ".

```
12 CONTINUE
   KW(1,K1)=47573В
```

KW(2, K1)=64542B  
KW(3, K1)=45501B  
KW(4, K1)=26156B  
KW(5, K1)=42502B  
KW(6, K1)=42520B  
KW(7, K1)=67117B  
KW(8, K1)=20172B  
KW(9, K1)=40544B  
KW(10, K1)=40510B  
KW(11, K1)=20110B  
KW(12, K1)=47515B  
KW(13, K1)=42520B  
KW(14, K1)=20103B  
KW(15, K1)=52120B  
KW(16, K1)=47513B  
KW(17, K1)=64440B  
KW(18, K1)=6454B  
KW(19, K1)=64440B  
KW(20, K1)=70117B  
KW(21, K1)=75151B  
KW(22, K1)=64551B  
KW(23, K1)=64456B  
DO 56 I=24, 32  
56 KW(1, K1)=20040B  
GO TO 5  
END

## ЛИТЕРАТУРА

1. Hirschberg G. Zielsetzung und Anwendung des Programmsystems MADAM. - "Siemens - Zeitschrift", 1971, Bd.45, H.10, S.793-795.
2. Кузьмин Ю.Я. Об одной альтернативе программирования эксперимента. - "Учен.зап.Латв.ун-та", 1973, т.196, с.3-16.
3. Кузьмин Ю.Я. О некоторых принципах универсального программного обеспечения эксперимента. - "Учен.зап.Латв.ун-та", 1975, с.3-11.

С.В.Гвоздев, Л.М.Кузьмина

ДИСПЛЕЙНЫЙ РЕДАКТОР СИМВОЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЯЮЩЕГО  
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА М-6000

Сообщается о разработанном дисплейном редакторе для управляющего вычислительного комплекса М-6000 с дисплеем СИД-1000. Редактор позволяет просматривать символьную информацию на экране дисплея, готовить новую информацию, редактировать символьные записи. Режим ввода-вывода и набор стандартных устройств задается в режиме диалога и может по желанию изменяться во время работы программы.

Дисплейный редактор предназначен для подготовки, редактирования и распечатки лент с символьной информацией. Такой информацией могут быть программы на МНМОКОде, ФОРТРАНе, АЛГОле или любые другие символьные записи. Ввод и вывод символьной информации может осуществляться с любых устройств, входящих в конфигурацию машины. Настоящий дисплейный редактор ориентирован на следующую конфигурацию управляющего вычислительного комплекса М-6000: фотосчитыватель, дисплей СИД-1000, телетайп и перфоратор.

Первоначально лента подготавливается с клавиатуры дисплея с последующим выводом на перфоратор или телетайп. В случае необходимости ее можно повторно просмотреть на экране дисплея, отредактировать, распечатать на телетайпе.

Дисплейный редактор прост и удобен в обращении. Время, затрачиваемое при использовании дисплейного редактора, по сравнению с символьным редактором [1], сокращается в среднем в пять раз.

Программа дисплейного редактора написана на языке ФОРТРАН с использованием четырех специальных подпрограмм,

написанных на МНМОКОДе. Это подпрограмма **OUTPS**, предназначенная для вывода на экран дисплея массива длиной в 512 слов; подпрограмма **INPS** - для ввода информации с экрана дисплея; подпрограмма **INPFS** - для ввода с фотосчитывателя строки, длиной до 32 слов; подпрограмма **INPTT** - для ввода строки с телетайпа длиной до 32 слов.

Абсолютная программа дисплейного редактора вместе с перечисленными подпрограммами и библиотечными подпрограммами занимает 7625<sub>8</sub> слов. Она загружается с помощью абсолютного загрузчика. Блок-схема программы изображена на рис., а и б.

#### Описание пользования дисплейным редактором

До запуска дисплейного редактора в обязательном порядке должны быть включены дисплей и перфторатор, телетайп включается по мере надобности. После запуска программы в первой строке экрана дисплея высвечивается исходная управляющая строка:

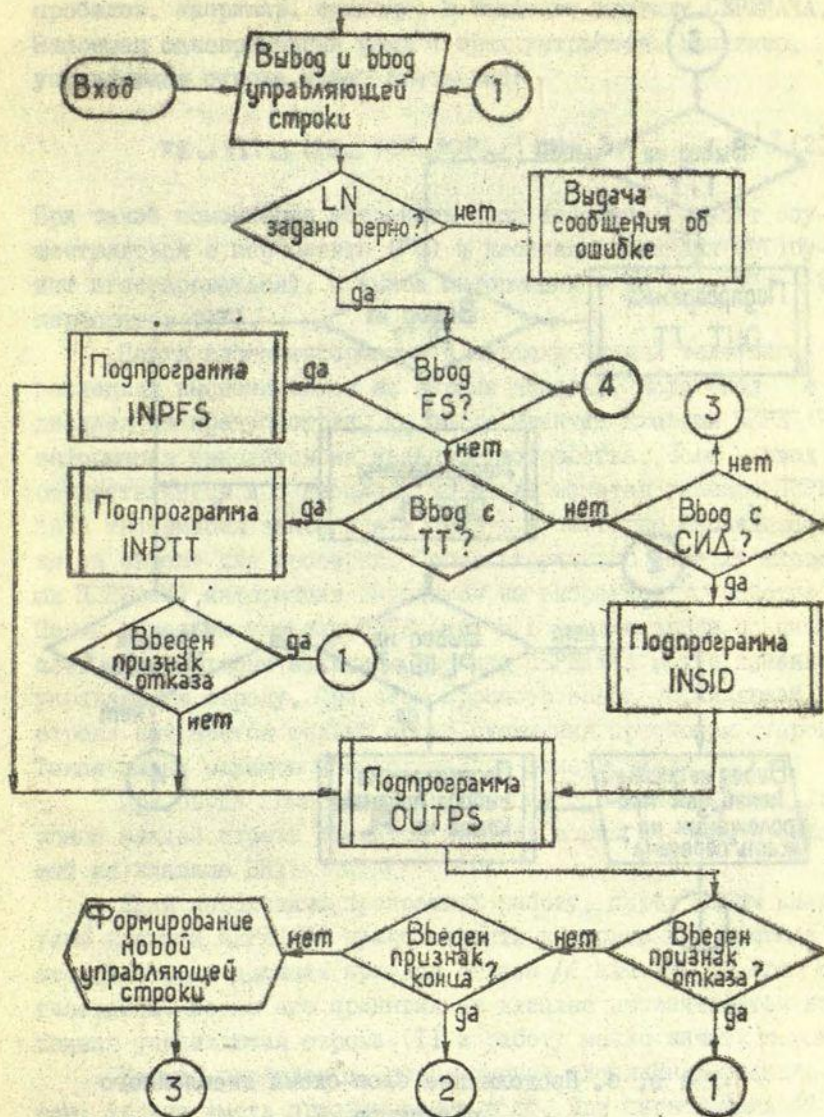
**FS IT IS OT OP LN**, (1)

где **FS** означает ввод с перфоленты, **IT** - ввод с телетайпа, **IS** - ввод с дисплея, **OT** - вывод на телетайп, **OP** - вывод на перфторатор, **LN** - число вводимых и выводимых строк.

**LN** меняется в пределах  $1 \leq LN \leq 15$ , при вводе-выводе на всю страницу можно число вводимых и выводимых строк не указывать, в противном случае число строк задается следующим образом

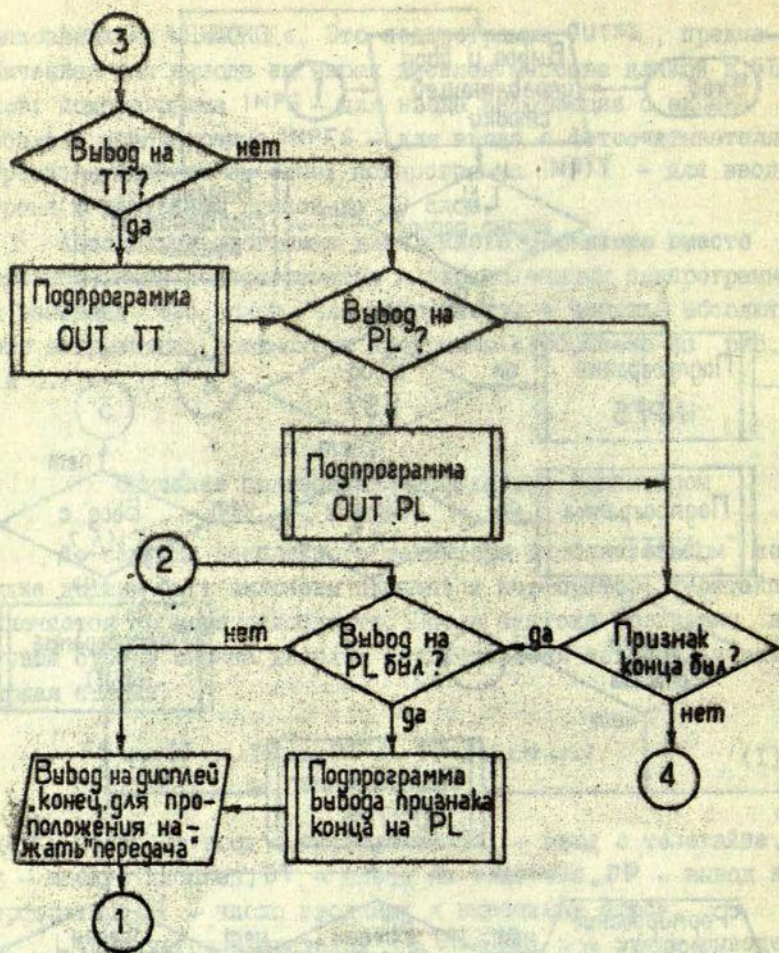
**LN 2** или **LN 13**.

Выбрав комбинацию устройств, с которыми необходимо работать, пользователь записывает в управляющую строку при соответствующих обозначениях этих устройств информацию, отличную от



Р и с. а. Блок-схема дисплейного редактора.





Р и с. 6. Продолжение блок-схемы дисплейного редактора.

пробелов, например, единицу, и нажимает клавишу ПЕРЕДАЧА. Запрещен одновременный ввод с трех устройств. Например, управляющая строка может иметь вид:

FS 11T 11S 10T LOP 1 LN 3.

(2)

При такой комбинации устройств ввод информации будет осуществляться с перфоленты (FS) и дисплея (телетайп (TT) будет игнорироваться), а вывод информации - на телетайп и перфоратор (OP).

После ввода информации с перфоленты или телетайпа последняя высвечивается на экране дисплея. Если ввод с дисплея не предусмотрен, то после нажатия клавиши ПЕРЕДАЧА информация выводится на заданные устройства. Если ввод осуществляется и с дисплея, то после нажатия клавиши ПЕРЕДАЧА информация заносится в память и повторно высвечивается на экране для проверки. После вторичного нажатия клавиши ПЕРЕДАЧА информация выводится на выбранное устройство. Перед нажатием клавиши ПЕРЕДАЧА, а в режиме ввода с дисплея перед вторым нажатием клавиши ПЕРЕДАЧА можно изменить управляющую строку. При этом просмотр новой управляющей строки начинается только после окончания просмотра старой. Такая смена режимов необходима при вычеркивании.

При вводе символьной информации с экрана дисплея в конце каждой строки ставится признак конца строки, набираемый на клавише BK.

Если необходимо прекратить работу, перед любым нажатием клавиши ПЕРЕДАЧА нужно занести в первые два символа второй строки дисплея признак отказа // или ввести его с телетайпа. После его принятия на дисплее высвечивается исходная управляющая строка (I) и работу можно начать сначала.

Каждая перфолента, используемая дисплейным редактором, должна иметь признак конца ###. При первоначальной подготовке лент с клавиатуры дисплея в конце работы необходимо записать в первые два символа второй строки признак конца ### и нажать клавишу ПЕРЕДАЧА для вывода этого при-

знака на перфоленту. В дальнейшем при редактировании перфолент признак конца будет прочитываться и автоматически переноситься на новую перфоленту. При появлении признака конца на экране дисплея высвечивается надпись:

**"КОНЕЦ, ДЛЯ ПРОДОЛЖЕНИЯ НАЖАТЬ ПЕРЕДАЧА !"**

После нажатия клавиши ПЕРЕДАЧА на экране высвечивается исходная управляющая строка (I) и дисплейный редактор вновь готов к работе.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

I. АСВТ-М. Программное обеспечение М-6000. Редактор символической информации. Руководство по пользованию. З.122.000.01.

## СОДЕРЖАНИЕ

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

1. КУЗЬМИН Ю.Я. Базовые эксперименты и обработка данных в области физики твердого тела ..... 3
2. КУЗЬМИН Ю.Я., ПАВЛОВА Т.Н. Комплексный эксперимент в области физики твердого тела ..... 36
3. КУЗЬМИН Ю.Я. Количественные характеристики экспериментов в области физики твердого тела и концепция среды эксперимента ..... 63

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ

4. ЦИРУЛИС Я.П. Критерий существования решения задачи линейного разложения ..... 80
5. КРУГЛОВА Н.А., КУЗЬМИНА Л.М., РАСТОПЧИНА В.А. Сглаживание спектральных кривых ..... 84
6. КУЗЬМИНА Л.М. Структура диалоговой системы обработки данных - ВАГИАТОР-М ..... 93
7. ГВОЗДЕВ С.В. Модуль диалога в процессе управления экспериментом ..... 100
8. ГВОЗДЕВ С.В., КУЗЬМИНА Л.М. Дисплейный редактор символьной информации для управляющего вычислительного комплекса М-6000 ..... 109

**ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ !**

Заказы на сборники научных статей "Кибернетизация научного эксперимента" просим направлять по адресу: 226100, Латвийская ССР, Рига, ГСП, ул. Кентарга, 8, Проблемная лаборатория физики полупроводников Латвийского государственного университета им. П.Стучки, редколлегия сборника "Кибернетизация научного эксперимента".

Ученые записки, том 255

**КИБЕРНЕТИЗАЦИЯ НАУЧНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА**

**Выпуск 7**

Редакторы Я.Янсон, Т.Фадеева  
Технический редактор А.Рудуша. Корректор А.Рудуша  
Латвийский государственный университет им. П.Стучки  
Рига 1976

---

Подписано к печати 11.11.1976. ЯТ 04340. Зак. № 1353.  
Бумага №1. Ф/б 60x84/16. Физ.п.л. 7,5. Уч.-и.л. 5,6  
Тираж 600 экз. Цена 56 к.

---

Отпечатано на ротаприте. Рига-50, ул.Вейденбаума, 5  
Латвийский государственный университет им. П.Стучки