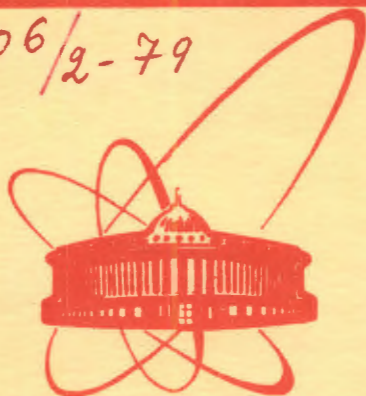


4506/2-79



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

Ц84а3

М-483

5/11-79

11 - 12291

И.М.Мельниченко, Н.Ю.Шкобин

ИЗГОТОВЛЕНИЕ

ФОТООРИГИНАЛОВ ПЕЧАТНЫХ СХЕМ

НА ПОЛУАВТОМАТЕ АДМАП

1979

11 - 12291

И.М.Мельниченко, Н.Ю.Шкобин

ИЗГОТОВЛЕНИЕ  
ФОТООРИГИНАЛОВ ПЕЧАТНЫХ СХЕМ  
НА ПОЛУАВТОМАТЕ АДМАП



Мельниченко И.М., Шкобин Н.Ю.

11 - 12291

Изготовление фотооригиналов печатных схем  
на полуавтомате АДМАП

Рассматриваются вопросы автоматизации изготовления фотооригиналов печатных плат. Описывается структура и принцип работы программы "Фотон". Программа позволяет получить комплект управляющих перфолент, обслуживающих фотопроцесс, оптимизирует "холостой" ход фотоголовки, снабжена системой диагностики, удобна в пользовании.

Работа выполнена в Отделе новых методов ускорения ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Melnichenko I.M., Shkobin N.Yu.

11 - 12291

Circuit Photo-Original Fabrication at ADMAP Semi-Automat

The problems of automatization of circuit photo-original fabrication are considered. The structure and operation of "PHOTON" programme is described. The programme permits to obtain controlling tape set served photo-processor; it optimizes "non-operative" travel of photo-head and is provided with diagnostics system.

The investigation has been performed at the Department of New Acceleration Methods, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

© 1979 Объединенный институт ядерных исследований Дубна

## ВВЕДЕНИЕ

Продолжительная эксплуатация полуавтомата АДМАП доказала целесообразность его применения в условиях индивидуального и мелкосерийного производства, которое характерно для лабораторий и подразделений ОИЯИ. До настоящего времени применялся метод непосредственного нанесения изображения (Panel plating) на поверхность заготовки печатной платы, который сдерживал повышение эффективности работы полуавтомата АДМАП. Кроме того, повторение изготовленных на полуавтомате печатных плат с помощью другой технологии было затруднено.

Применение фотоголовки позволяет изготавливать на полуавтомате АДМАП фотооригиналы печатных схем и устранить вышеперечисленные трудности. При введении фотометода и "пакетного" сверления заготовок печатных плат использование полуавтомата АДМАП становится целесообразным при изготовлении серий до 200 печатных плат.

Вопросам получения фотооригиналов печатных схем в системе оператор-ЭВМ-полуавтомат АДМАП посвящена данная работа. Попутно рассматривается фотохимический технологический процесс производства печатных плат.

## 1. ОБОРУДОВАНИЕ ФОТОЛАБОРАТОРИИ

Основным инструментом фотопроцесса является сменное технологическое приспособление для полуавтомата АДМАП, именуемое фотоголовкой. Несмотря на простоту построения оптической системы, фотоголовка позволяет изменять в широком диапазоне диаметр светового пятна без смены объектива. Авто-



матическое управление осуществляется специальными кодами, ручное - соответствующими клавишами. В качестве исполнительных механизмов применены быстродействующие шаговые двигатели. Диаметр светового пятна задается величиной диафрагмы. Управление потоком света производится с помощью шторки, т.к. применяемый источник света /лампа накаливания/ инерционен.

Основные технические характеристики фотоголовки /возможно некоторое варьирование в зависимости от конкретного экземпляра/: диапазон изменения диаметра светового пятна - 0,15-2,90 мм; время перестройки с минимальной на максимальную диафрагму - 3 с; количество ступеней регулирования диафрагмы - 69; изменение ширины линии при перемещении светового пятна  $\pm 5\%$ .

Управляющие коды фотоголовки:

- 21 - открыть шторкой путь световому потоку /аналогия - "опустить перо"/;
- 30 - перекрыть шторкой путь световому потоку /аналогия - "поднять перо"/;
- 23 - задать единичное изменение величины диафрагмы /аналогия - "малый шаг"/;
- 34 - задать десятикратное изменение величины диафрагмы /аналогия - "большой шаг"/;
- 07 - уменьшить диаметр диафрагмы;
- 16 - увеличить диаметр диафрагмы.

Зависимость диаметра светового пятна от кодов изменения величины диафрагмы нелинейна и приведена на рис. 1 /результаты получены по тестовой программе/.

Для фиксации фотопленки на координатном столе полуавтомата АДМАП применяется специальное устройство, снабженное вакуумным отсосом. В результате достигается как надежное закрепление фотопленки, так и ее равномерное прилегание по всему полю координатного стола.

Обработка фотооригиналов /фотошаблонов/ печатных схем производится на проявочном столе. Кюветы проявочного стола содержат проявитель и фиксаж для черно-белой фотопленки, а также проточную воду для промывки.

Изготовление фотошаблонов /негативного изображения фотооригиналов/ осуществляется на фотокопировальном устройстве,

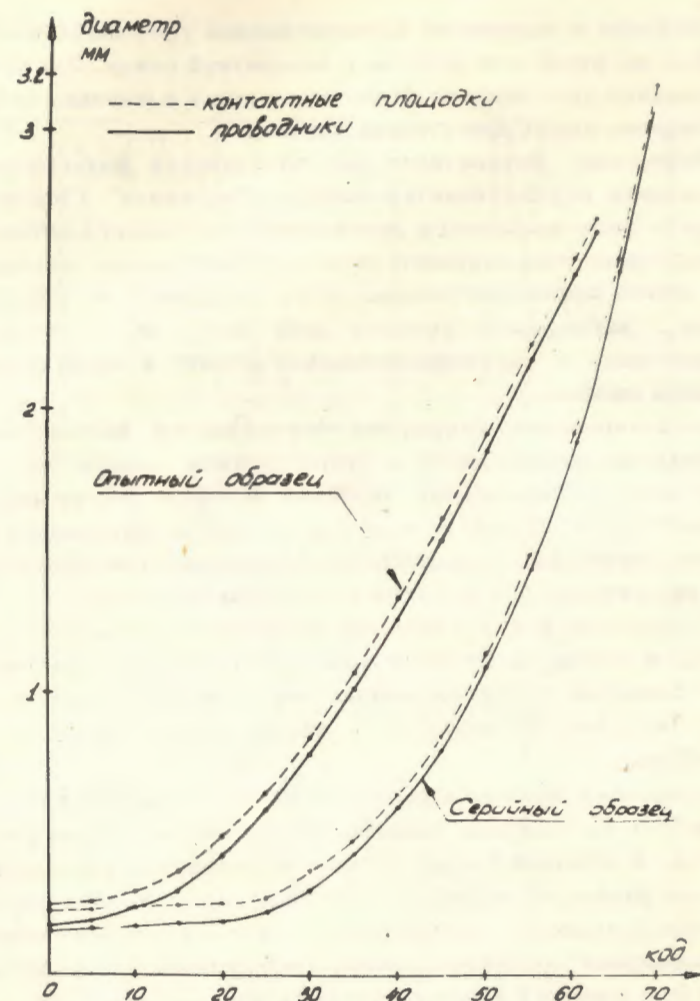


Рис. 1. Зависимость диаметра светового пятна от изменения диафрагмы /для опытного и серийного образцов фотоголовки/.

основанном на принципе контактного копирования. Плотность прилегания фотопленок и обеспечение резкости изображения достигаются вакуумным прижимом. Время экспозиции регулируется /0,2 с - 1 мин./ и задается таймером.



Контроль и коррекция фотооригиналов /фотошаблонов/ проводятся на столе для ретуши с подсветкой снизу. Для удобства пользования угол наклона стола изменяется в широких пределах, а освещение имеет две степени яркости.

Нанесение фоторезиста на поверхность фольгированного диэлектрика осуществляется методом "окунания". Скорость извлечения фольгированного диэлектрика из жидкого фоторезиста для получения равномерного светочувствительного слоя постоянна и может плавно регулироваться в пределах 7-30 см/мин, позволяя варьировать толщину слоя фоторезиста. Устройство скомпановано в светонепроницаемой стойке и оборудовано сушильным шкафом.

Экспонирование покрытого фоторезистом фольгированного диэлектрика производится в двустороннем осветителе. Время экспозиции, определяемое толщиной и типом фоторезиста, регулируется /1 с ±6 мин/ и задается таймером. Фиксация и равномерное прилегание фотошаблонов к поверхностям фольгированного диэлектрика достигается вакуумным прижимом.

Устройство для проявления фоторезиста разделено на два отсека, в одном из которых происходит собственно проявление и задубливание экспонированных участков, а во втором - удаление остатков фоторезиста и обмыв платы под интенсивной струей воды.

Основными материалами фотопроекции являются фотоэмульсия, проявитель фотоэмульсии, фиксаж, фоторезист и проявитель фоторезиста. В комплект оборудования фотолаборатории входят материалы фирмы AGFA-GEVAERT COPYREX. Но, как показала опытная эксплуатация, отечественные фотоматериалы полностью удовлетворяют соответствующим требованиям и с успехом могут использоваться в данном технологическом процессе.

## 2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ФОТООРИГИНАЛОВ ПЕЧАТНЫХ СХЕМ

Технологический процесс изготовления фотооригиналов печатных плат базируется на системе человек-ЭВМ-полуавтомат АДМАП - фотолаборатория. Схематическое изображение рассматриваемого технологического процесса приведено на рис.2.

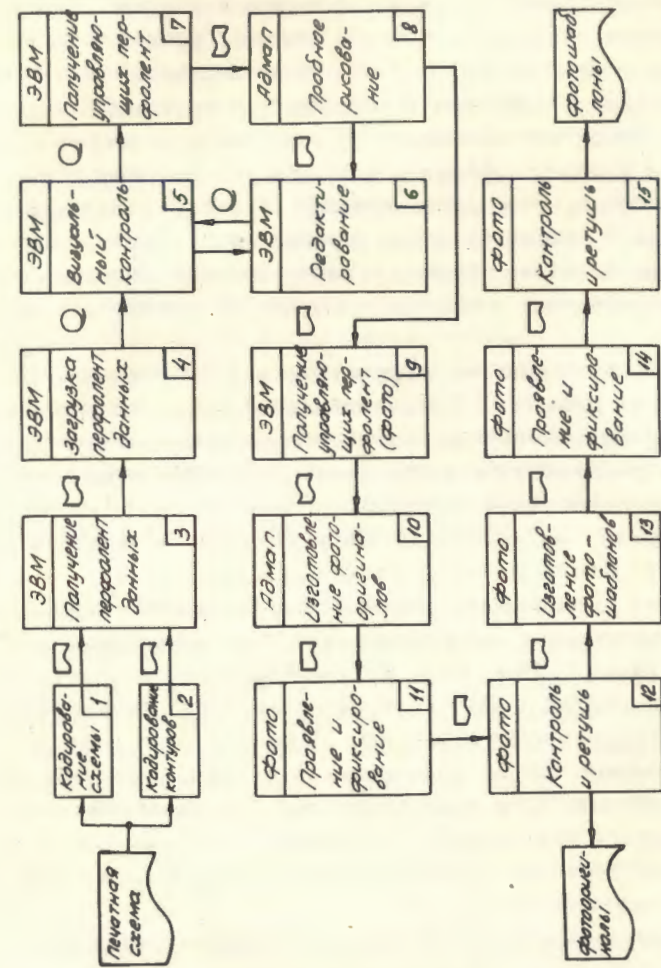


Рис. 2. Технологический процесс изготовления фотооригиналов печатных схем.



Разработанная и вычерченная на растровой /миллиметровой/ бумаге печатная схема с помощью символического языка<sup>1/</sup> кодируется оператором. Наряду с кодированием рисунка печатной схемы производится кодирование контуров, имеющих большую ширину, чем основные соединения /линии, соединяющие основные точки рисунка/. Собственно кодирование контуров заключается в описании соединений, у которых основные точки - это точки, определяющие изменение направления линии /Т/. При этом следует подбирать оптимальное значение диаметра светового пятна, учитывать краевые эффекты и перекрытие соседних линий. Соединения при кодировке группируются по признаку ширины, и в том случае, если их ширина принимает несколько значений, то отдельно кодируются несколько групп соединений.

Далее на ЭВМ получают перфоленты данных /терминология заимствована из работы<sup>1/</sup>/. Принципиально возможно получение перфолент при использовании как автономно работающего теле-тайпа, так и редактирующих программ, входящих в математическое обеспечение ЭВМ (SYMBOLIC EDITOR и др.). Последнее предпочтительнее, т.к. позволяет оперативно редактировать информацию и сократить время пробивки перфолент.

В процессе дальнейшей работы информация с перфолент с помощью загрузчика переписывается на магнитные ленты /магнитные диски/. При этом производится синтаксический и семантический контроль. Загрузчик дополнительно наделен функциями построчного редактирования. Первоначально записанное описание печатной схемы подвергается визуальному контролю и, в случае необходимости, редактированию. Рассмотрение вопросов программного обеспечения загрузки, редактирования и визуального контроля не является предметом данной работы и поэтому не приводится.

Визуальный контроль не всегда может гарантировать 100%-ю правильность описания печатной схемы. Вследствие этого с помощью программы "Тропа"<sup>3/</sup> получают управляющие перфоленты и на полуавтомате АДМАП выполняют пробное рисование печатной схемы. Если после проверки рисунка были обнаружены ошибки, то производится редактирование и повторяются предыдущие операции /6, 5, 7, 8 - см. рис. 2/. При правильном рисунке на ЭВМ с помощью программы "Фотон" /описание приведено

в разделе 3/ получают управляющие перфоленты для изготовления фотооригиналов на полуавтомате АДМАП.

Дальнейшие операции /10, 11, 13 и 14 - см. рис. 2/ выполняются в темном помещении при красном свете. По управляющим перфолентам на полуавтомате АДМАП с фотоголовкой рисуют фотооригиналы позитивной и негативной сторон печатной схемы. Работа оператора на полуавтомате АДМАП сводится к установке управляющих перфолент и контролю их движения.

Экспонированные фотоленки обрабатываются на проявочном столе и после сушки проверяются. В случае необходимости фотооригиналы подвергаются ретушированию. Дефекты обычно бывают двух типов: это или темные точки на прозрачных участках, приводящие к так называемым проколам резиста, или светлые участки на проводниках. Черные точки на прозрачных участках удаляются соскабливанием со стороны эмульсии. Светлые участки на темных полях исправляются подкрашиванием. Не следует злоупотреблять ретушированием, т.к. это приводит к снижению качества фотооригиналов /фотошаблонов/.

На данном этапе получают фотооригиналы, которые могут быть использованы как шаблоны в позитивном фотометодом изготовления печатных плат, так и в качестве исходного материала при изготовлении фотошаблонов.

Фотошаблоны, необходимые для негативного фотометода изготовления печатных плат, получают на фотокопировальном устройстве. Далее фотошаблоны обрабатываются на проявочном столе и после сушки контролируются. В большинстве случаев ретушь на данном этапе не производится.

### 3. ПРОГРАММА "ФОТОН"

Программа "Фотон" является транслятором и предназначена для реализации процесса изготовления фотооригиналов печатных плат на полуавтомате АДМАП. В качестве исходной информации используется описание печатной схемы, составленное в соответствии с символическим языком<sup>1,2/</sup>. Предполагается, что символическое описание записано на магнитной ленте и предварительно отлажено. Результатирующей информацией является комплект управляющих перфолент полуавтомата АДМАП, позво-



ляющий получить фотооригиналы позитивной и негативной сторон печатной платы.

Для общения оператора с ЭВМ выбран режим диалога как наиболее прогрессивное направление в программировании. При этом удастся снизить количество ошибок в работе оператора и максимально облегчить его труд.

Одним из основных принципов, реализованных в программе "Фотон", является получение отдельных перфолент для рисования соединений и контактных площадок. Это вызвано:

1/ различием принципов управления световым лучом, т.к. при рисовании соединения световой луч постоянно включен, а при рисовании контактных площадок осуществляется подвод технологического приспособления и вспышка светового луча;

2/ большими затратами времени на перестройку диафрагмы при переходе от рисования проводника к рисованию контактной площадки и наоборот;

3/ обилием задания исходной информации при совместном выполнении рисования проводников и контактных площадок.

Управление световым лучом имеет свои тонкости, поэтому на этом вопросе следует остановиться подробнее. Установка и изменение значения диафрагмы производится только при закрытой шторке фотоголовки - иначе происходит засветка фото-пленки. Причем перед началом работы и по ее окончании осуществляется автоматическое /принудительное/ задание минимального значения диафрагмы - для точного отсчета ее изменений. Для достижения равномерной насыщенности линий необходимо перед началом рисования осуществлять задержку движения на время открытия шторки фотоголовки. Это достигается повторным употреблением команды "открыть шторку". Вспышка светового луча /получение контактной площадки/ реализуется трехкратным употреблением команды "открыть шторку". В результате насыщенность линии соответствует насыщенности контактной площадки, что позволяет получить качественный фотооригинал, а впоследствии - фотошаблон. Несоблюдение этих правил приводит к получению полутонов и снижению качества фотооригиналов.

Использование всего диапазона изменения диафрагмы нецелесообразно и вызывает усложнение задания значений диа-

фрагмы. Поэтому было выбрано 8 наиболее употребительных значений диафрагмы для проводников:

$\Phi = 0-0,2 \text{ мм};$	$\Phi = 1-0,4 \text{ мм};$
$\Phi = 2-0,6 \text{ мм};$	$\Phi = 3-0,8 \text{ мм};$
$\Phi = 4-1 \text{ мм};$	$\Phi = 5-1,2 \text{ мм};$
$\Phi = 6-1,5 \text{ мм};$	$\Phi = 7-2,5 \text{ мм};$

и контактных площадок:

$\Phi = 0-0,8 \text{ мм};$	$\Phi = 1-1 \text{ мм};$
$\Phi = 2-1,2 \text{ мм};$	$\Phi = 3-1,4 \text{ мм};$
$\Phi = 4-1,8 \text{ мм};$	$\Phi = 5-2 \text{ мм};$
$\Phi = 6-2,2 \text{ мм};$	$\Phi = 7-2,5 \text{ мм};$

По желанию пользователя фиксированные значения диафрагмы могут быть изменены.

Перемещение технологического приспособления во всех рабочих режимах оптимизируется по алгоритму, предложенному в работе /2/ и реализованному в работе /3/.

Программа "Фотон" оснащена системой диагностики действий оператора и работоспособности процессора. В первом случае обнаружение ошибки сопровождается диагностическим текстом и предложением исправления. Во втором случае происходит "аварийный останов" /в программе отсутствуют смысловые остановки/ или "зацикливание" программы в ячейке 0001 - незапланированное прерывание работы программы от внешнего устройства.

Формат управляющих перфолент нормализован, включает в себя сегменты со служебной информацией и сегменты с управляющими кодами полуавтомата АДМАП. Составные сегменты отделены друг от друга отрезками чистой перфоленты (BLANK). Служебная информация перфорируется по моде LEGIBLE PUNCH и содержит: название печатной платы, номер перфоленты, название технологического процесса, координаты начальной и конечной точек.

Управляющие коды полуавтомата АДМАП выделены маркерами /RUB-OUT - код ASC-II /. Кроме того, на перфоленте перфорируется контрольная сумма.

Программа "Фотон" состоит из диспетчера, осуществляющего диалог и взаимосвязь режимов, набора программ, реализующих алгоритмы обработки описания печатных плат в соответ-



ствии с режимами работы, и набора подпрограмм, являющихся общими для различных режимов.

Рассмотрим режимы работы программы "Фотон".

1. Режим "фотолинии позитивной стороны" (LP-LINE POSITIVE). Предварительно осуществляется выбор из символического описания соединений, принадлежащих позитивной стороне, и их "перекачка" с магнитной ленты, содержащей описание печатной схемы, на рабочую магнитную ленту. Кроме того, устанавливается заданное значение диафрагмы. Далее граничные точки соединений запоминаются в буфере и начинает работу алгоритм оптимизации. Обработка соединений производится в прямом или обратном кодировке направлениях. Для сокращения времени работы программы производится запоминание местонахождения соединения на магнитной ленте. Если количество соединений превышает объем буфера, то их оптимизация производится поочередно. Качество характерных точек не рассматривается.

2. Режим "фотолинии негативной стороны" (LN-LINE NEGATIVE). Алгоритм работы в данном режиме аналогичен режиму LP, но использует соединения, принадлежащие негативной стороне. Координаты точек интерпретируются в соответствии с требованиями полуавтомата АДМАП.

3. Режим "фототочки позитивной стороны" (PP-POINT POSITIVE). Предварительно устанавливается значение диафрагмы, соответствующее "большим" контактным площадкам<sup>1/1</sup>. Осуществляется выбор из описания печатной схемы соответствующих точек, принадлежащих позитивной стороне, и запоминание их в буфере. Повторяющиеся точки опускаются. Подготовленный буфер используется при работе алгоритма оптимизации. Далее устанавливается значение диафрагмы, соответствующее "малым" контактным площадкам, и осуществляются преобразования, аналогичные ранее рассмотренным.

4. Режим "фототочки негативной стороны" (PN-POINT NEGATIVE). Первоначально устанавливается значение диафрагмы, соответствующее "большим" контактным площадкам; из описания печатной схемы выбираются соответствующие точки, при-

надлежащие негативной стороне, и заносятся в буфер, который используется при работе алгоритма оптимизации. Далее устанавливается значение диафрагмы, соответствующее "малым" контактным площадкам; осуществляется выбор и занесение в буфер точек, принадлежащих негативной стороне, а также точек, принадлежащих позитивной стороне и не имеющих отображения на негативной стороне. Повторяющиеся точки не рассматриваются. Подготовленный буфер подвергается оптимизации. Координаты точек интерпретируются в соответствии с требованиями полуавтомата АДМАП.

5. Режим "контроль управляющих перфолент" (KS-CHECK SUM). Определяется пригодность данной перфоленты для использования на полуавтомате АДМАП. Контролируются только управляющие коды, остальная информация опускается; ошибки не локализуются, т.к. это задача соответствующих тестов.

По окончании работы в заданном режиме осуществляется автоматический переход на программу диспетчер. Исключение составляет режим KS, где такой переход может быть осуществлен только принудительно.

Возможен принудительный выход из любого режима работы. Кроме того, допускается прерывание перфорации управляющей перфоленты.

Программа ориентирована на малую ЭВМ PDP-8L.

### 3.1. Характеристика программы "Фотон"

Язык программы: PAL-III.

Память, занимаемая программой: 0000-6777<sub>8</sub>.

Объем промежуточного буфера: 4096<sub>10</sub> ячеек.

Исходная информация: описание печатной схемы посредством символического языка в кодах ASC-II.

Выходная информация: управляющие перфоленты в кодах полуавтомата АДМАП, снабженные служебной информацией по моде LEG.

Максимальный объем описания печатной схемы: не лимитируется.

Максимальное количество одновременно оптимизируемых точек: не ограничено.



Максимальное количество одновременно оптимизируемых соединений: 1024<sub>10</sub>.

Общение оператор-ЭВМ посредством диалога на телетайпе или на алфавитно-цифровом дисплее.

Язык диалога - по желанию пользователя: английский или русский.

Количество режимов работы: 5, из них 4 - технологических; 1 - служебный.

Используемое оборудование:

- процессор 8К;
- телетайп ASR-33;
- алфавитно-цифровой дисплей VT-340;
- быстрый перфоратор ПЛ-150;
- магнитофон TU-55 /2 механизма/.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Программа "Фотон" успешно прошла опытную эксплуатацию и включена в состав математического обеспечения автоматизированной системы изготовления печатных плат в ОНМУ.

Печатные платы в количестве две или более, а также печатные платы повышенной сложности или ответственного назначения изготавливаются только с использованием фотохимической технологии.

Полуавтомат АДМАП позволяет в течение одной рабочей смены изготовить до 4 фотооригиналов печатных плат.

Авторы, пользуясь представившейся возможностью, выражают благодарность В.А.Белянину, В.И.Гурскому, В.И.Кудряшову за полезные обсуждения и помощь в работе, Т.И.Шитковой за деятельное опробование программы "Фотон", Н.С.Головой и Н.И.Кутнер за техническую помощь.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шкобин Н.Ю., Эсенски Й. ОИЯИ, 11-8166, Дубна, 1974.
2. Мельниченко И.М., Шкобин Н.Ю. ОИЯИ, 10-9494, Дубна, 1976.

3. Шкобин Н.Ю. ОИЯИ, 10-9553, Дубна, 1976.
4. АДМАР-2 - техническое описание. Исследовательский институт вычислительной техники и автоматики ВАН, 1972.
5. Справочник по печатным схемам, перевод с англ. под ред. Б.Н.Файзулаева и В.Н.Квасницкого. "Советское радио", М., 1973.
6. Introduction to Programming, PDP-8 Family Computers.

Рукопись поступила в издательский отдел  
13 марта 1979 года.