

ЭЛЕКТРОКАПЛЕСТРУЙНЫЕ РЕГИСТРИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

**РЕМОНТ
ОБСЛУЖИВАНИЕ
ОФИСНОЙ
ТЕХНИКИ,
РЕСТАВРАЦИЯ
КАРТРИДЖЕЙ**



**Алексей
Воеводин**

сервисный инженер

.....

**Моб.тел.
8 (044) 332-49-65
8-097-56-36-777
E-mail: toner@ukr.net
ICQ # 343-047-727**



**ЛЕНИНГРАД
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
ЛЕНИНГРАДСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ**

1988

ББК 31.264.5
Н16
УДК 681.327.6

Рецензент канд. техн. наук Ю. Н. Потепалов

Нагорный В. С.

Н16 Электрокаплеструйные регистрирующие устройства.—
Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988.—269 с.: ил.

ISBN 5-217-00012-0

Книга посвящена созданию новых быстродействующих периферийных регистрирующих электрокаплеструйных устройств. В ней рассмотрены физические принципы их работы, теория каплеобразования; даны описания основных узлов; изложены основы расчета, проектирования, управления и применения электрокаплеструйных устройств.

Книга предназначена для инженерно-технических работников, занимающихся созданием и использованием периферийных устройств в области информатики и вычислительной техники.

Н $\frac{2405000000-011}{038(01)-88}$ 11-88

ББК 31.264.5

ISBN 5-217-00012-0 © Издательство «Машиностроение», 1988

В материалах XXVII съезда КПСС в качестве основных направлений развития промышленности отмечается, что «...одно из важнейших направлений научно-технического прогресса — широкое освоение передовых технологий... Другое направление — автоматизация и механизация производства... Современный этап автоматизации опирается на революцию в электронно-вычислительной технике, электронизацию народного хозяйства... Характерная черта автоматизации народного хозяйства — быстрое развитие робототехники, роторных и роторно-конвейерных линий, гибких автоматизированных производств, обеспечивающих высокую производительность».

В связи с роботизацией, развитием гибких автоматизированных производств на основе управляющих ЭВМ, систем коллективного пользования и быстрым распространением мини- и микроЭВМ резко возрастают объемы работ терминалов и повышается роль периферийных (регистрирующих) устройств, обеспечивающих пользователя различной буквенно-цифровой и знакографической информацией. Однако возникшее в последние годы несоответствие между возможностями по функциональной гибкости, быстродействию и надежности регистрирующих устройств и ЭВМ становится все более ощутимым тормозом на пути эффективного использования электронных вычислительных машин.

Кроме того, нанесение знаковой и графической информации на изделия и их элементы при автоматизации сборочных производств различных отраслей промышленности, производства ковровых и текстильных изделий, клеймения и маркировки материалов, печати на упаковках и почтовых отправлениях, вывод графической информации в системах автоматизированного проектирования с использованием традиционных электро-механических средств не обеспечивают требуемой производительности, гибкости и надежности данных систем. Причем для каждой из перечисленных выше операций требуются свои специфичные, отдельные электро-механические регистрирующие устройства.

В книге впервые в мировой технической литературе сделана попытка с единых методологических позиций обобщить отечественные и зарубежные данные по разработке и расчету новых бесшумных быстродействующих электрокапеструйных регистрирующих устройств (ЭКСПУ), печатающий блок которых не содержит потенциально ненадежных подвижных механических элементов. Быстродействие ЭКСПУ на несколько порядков превосходит быстродействие лучших электро-механических регистрирующих устройств. Характерными особенностями

ЭКСПУ являются микропрограммное управление процессом регистрации информации, возможность на одном и том же техническом устройстве реализовать в черно-белом или цветном исполнении бесконтактным образом регистрацию знаковой, буквенно-цифровой, графической информации на носителях не только с плоскими, но и с криволинейными поверхностями из различных материалов (бумага, металл, пластмассы, стекло, кожи, ткани и т. д.), конструктивная простота собственно печатающего устройства.

В настоящей книге изложены основы расчета и проектирования электрокапеструйных регистрирующих устройств с учетом типа рабочих жидкостей (чернил, красок), на основании которых специалисты могут делать обоснованный эффективный выбор соответствующих узлов и блоков ЭКСПУ в процессе их проектирования.

Автор считает своим приятным долгом выразить благодарность сотрудникам СКБ ПС (г. Курск) П. М. Горячеву и В. Л. Падалке за предоставление материалов по электрокапеструйному устройству типа УПС-35; докторам технических наук В. А. Олейникову, В. Б. Яковлеву, канд. техн. наук Лауреату Государственной премии А. Д. Долбежину — за высказанные пожелания по компоновке и содержанию материала рукописи; канд. техн. наук Ю. Н. Потепалову — за весьма полезные замечания при подготовке рукописи книги к изданию.

Автор надеется, что книга окажется полезной разработчикам аналогичных регистрирующих устройств, от которых он с благодарностью примет все замечания, рекомендации и пожелания по адресу: 191065, Ленинград, ул. Дзержинского, 10, ЛО издательства «Машиностроение».

СОСТОЯНИЕ И ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РЕГИСТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

1.1. ЭТАПЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РЕГИСТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ И ТЕНДЕНЦИИ ИХ РАЗВИТИЯ

В связи с развитием работ по гибким автоматизированным производствам, системам автоматизированного проектирования, роботизированным комплексам с широким использованием микроЭВМ и микропроцессоров возрастает роль регистрирующих (печатающих) устройств (РУ), представляющих результаты машинной обработки в буквенно-цифровом или знакографическом виде. В настоящее время ситуация такова, что самые современные регистрирующие устройства намного отстают по быстродействию и надежности от других узлов этих систем — микроЭВМ и микропроцессоров. Поэтому усилия разработчиков РУ как ударного, так и безударного типов [31, 35, 36, 80], направлены прежде всего на улучшение данных показателей регистрирующих устройств при обеспечении приемлемого для практики качества регистрации информации. При этом необходимо предусмотреть многофункциональность (гибкость) использования одного и того же РУ, т. е. реализовать на одном и том же устройстве регистрацию как знако-цифровой, так и графической информации с изменением ее масштаба, тональности и других параметров. Последнее, как правило, невыполнимо в устройствах ударного действия, в которых регистрация информации осуществляется путем механического удара или прижима исполнительного устройства, несущего выпуклый контур знака или отдельной его части. Использование непосредственно для регистрации информации подвижных механических и электромеханических элементов принципиально не может обеспечить высокого быстродействия и гибкости использования РУ, снижает надежность регистрирующих устройств, вызывает высокий уровень шума при их работе.

С учетом основных тенденций развития РУ (увеличения быстродействия и надежности, обеспечения многофункциональности при непосредственном управлении от ЭВМ, снижения уровня шума при работе) в настоящее время в СССР и за рубежом интенсивно разрабатываются РУ безударного действия [31, 35].

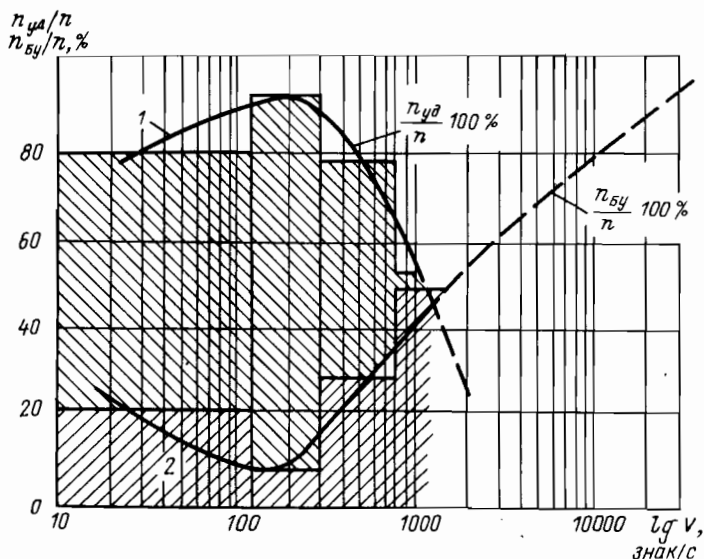


Рис. 1.1. Распределение регистрирующих устройств по способам печати (1980 г., США):

1 — ударные РУ; 2 — безударные РУ

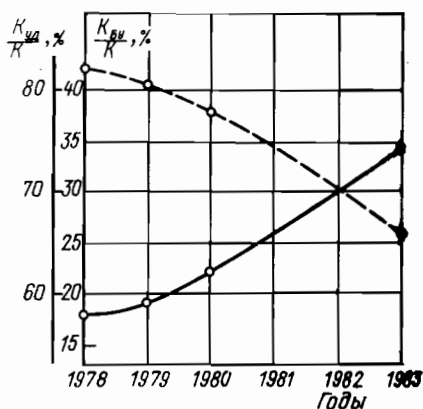
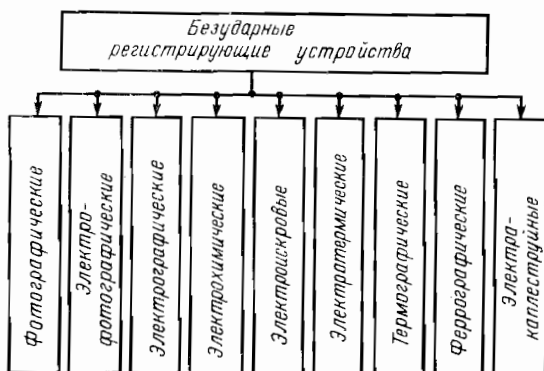


Рис. 1.2. Объем поставок K (млн дол.) по годам регистрирующих устройств низкого (до 120 знак/с) быстродействия (США)

Для иллюстрации развития РУ на рис. 1.1 показан характер распределения соотношений между числом ударных ($n_{уд}$) и безударных ($n_{бу}$) регистрирующих устройств (n — общее число РУ) в зависимости от требуемого быстродействия (скорости v регистрации информации) на примере США по состоянию на 1980 г. [35]. Как следует из рис. 1.1, несмотря на то что по абсолютной величине процент использования ударных РУ еще исторически выше, чем безударных, наблюдается четкая тенденция с увеличением быстродействия переходить к безударным принципам построения РУ. Причем ударные регистрирующие устройства вообще оказываются неприменимы для обеспечения высоких скоростей регистрации информации. Такие скорости регистрации можно реализовать только в безударных РУ. И даже при низких скоростях регистрации

Рис. 1.3. Классификация регистрирующих устройств безударного действия



информации (до 120 знак/с, 120 строк/мин), когда традиционно могут быть применены ударные средства, также наблюдается из года в год тенденция увеличения объема поставок на рынок безударных РУ и снижения объема поставок ударных регистрирующих устройств (рис. 1.2).

Таким образом, в последние годы на мировом рынке наблюдаем все увеличивающуюся роль регистрирующих устройств безударного действия с тенденцией исключения подвижной механики из процесса регистрации информации. Последнее обстоятельство позволяет не только повысить быстродействие и надежность РУ, но и избавиться от шума, характерного для ударных регистрирующих устройств.

В зависимости от способа заполнения строки различают безударные РУ последовательного и параллельного действия [31]. В первых из них печать знака в каждой позиции строки начинается после окончания печати знака в предыдущей позиции, т. е. исключается одновременная печать знаков в двух и более позициях строки. В РУ параллельного действия одновременно можно печатать несколько знаков в различных позициях, что обеспечивает существенное повышение их быстродействия.

На рис. 1.3 представлена укрупненная классификация РУ безударного действия, в основу которой положен характер электрофизико-химических процессов, используемых для регистрации информации.

Принцип действия различных типов безударных РУ рассмотрен в работе [31]. Здесь же при сравнительном анализе таких устройств будем прежде всего учитывать удобство и эффективность пользования ими при применении в САПР, ГАП и других областях.

Работа электрокаплевых регистрирующих устройств (ЭКРУ) подобна работе электронно-лучевой трубки. Но если в электронно-лучевой трубке изображение формируется отклонением электронов в отклоняющем поле отклоняющих пластин по координатам X , Y , то в ЭКРУ соответствующим образом отклоняют униполярно заряженные капельки чернил (краски), размер которых составляет несколько десятков микрометров. Одной из разновидностей ЭКРУ являются устройства, в которых процессы сообщения униполярного заряда каплям чернил и отклонения их в электрическом поле отсутствуют, а формирование изображения

осуществляется отдельными каплями, выпускаемыми при каждом электрическом импульсе, поступающем на вход устройства в соответствии с законом модулирования.

При электрокапеструйном методе регистрации числом капель в элементе изображения создается требуемый контраст оптических плотностей в изображении. Размеры изображения легко меняются изменением отклонения капель в электрическом поле.

Одними из основных критериев при сопоставительном анализе различных типов безударных РУ являются стадийность процесса регистрации информации и гибкость использования РУ при выводе различной информации на носитель. РУ с многостадийным процессом регистрации информации (создание скрытого изображения, проявление, закрепление) и с применением специальных типов бумаг не обеспечивают достаточной эффективности их использования в таких системах. Многостадийность процесса регистрации снижает быстродействие, усложняет конструкцию устройств, требует разработки целой гаммы эксплуатационных материалов (специальной бумаги, проявляющих порошков, закрепляющих составов), что ставит потребителя в большую зависимость от поставщиков данных материалов.

И здесь очевидны преимущества РУ с одностадийным процессом регистрации информации с использованием обыкновенной бумаги — электрокапеструйных устройств. В ЭКСРУ изображения (в том числе полутоновые и цветные) любой конфигурации можно одностадийно формировать каплями чернил (краски) на любом носителе информации (обыкновенной бумаге, пластмассе, металле, коже, стекле и т. п.) как плоской, так и криволинейной формы. Это обстоятельство, а также положенные в основу работы ЭКСРУ электрогидродинамические процессы

Т а б л и ц а 1.1

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗУДАРНЫХ
РЕГИСТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ (ПО ЗАРУБЕЖНЫМ ИСТОЧНИКАМ [35])

Тип РУ	Способ печати	Быстродействие	Цена, дол.
Термографические Электротермические	Последовательный	30—120 знак/с 160—2 200 знак/с	1 000—5 000 400—3 000
Электрографические Электрофотографические (лазерные)	Параллельный	300— 18 000 строк/мин 4 000— 14 000 строк/мин	5 000—165 000 145 000—310 000
Электрокапеструйные	Последовательный или параллельный	30 знак/с — 45 000 строк/мин	2 500—25 000 (низкоскоростные), 5800 долл/мес (стоимость аренды высокоскоростных устройств)

**ПРОДАЖА БЕЗУДАРНЫХ РЕГИСТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ
НА МИРОВОМ РЫНКЕ (ПО ЗАРУБЕЖНЫМ ИСТОЧНИКАМ [33])**

Тип РУ	1979 г.		1982 г.		1985 г.	
	К, млн долл.	%	К, млн долл.	%	К, млн долл.	%
Электрофотографические и лазерные	364	43	1343	64	1696	62
Термические	344	41	483	23	502	18
Электрокапеструйные	30	3	105	5	314	11
Электростатические	91	11	147	7	209	8
Электронисковые	20	2	21	1	21	1
Всего:	849	100	2099	100	2742	100

обеспечивают высокое быстродействие электрокапеструйных регистрирующих устройств (табл. 1.1) по сравнению с другими типами РУ.

Основными недостатками электротермических и термографических устройств являются использование в качестве носителя информации дорогой и дефицитной термочувствительной бумаги, недостаточно высокое качество печати и устойчивость отпечатка (особенно в электротермических устройствах [35]), относительно низкое быстродействие. Поэтому несмотря на «молодость» электрокапеструйного метода регистрации информации, он наиболее динамично развивается в последние годы (табл. 1.2) [33].

Из рис. 1.4 следует, что объем производства ЭКСРУ в 1985 г. возрос более чем в десять раз по сравнению с 1979 г. По данным зарубежной печати, в 1991 г. ожидается продажа ЭКСРУ в объеме 500 млн. долл., что составит около 20 % всего объема (2585 млн долларов) рынка безударных печатающих устройств. Выше уже отмечалось, что преимуществами ЭКСРУ перед другими устройствами безударного действия являются: высокое быстродействие; широкие сферы применения (многофункциональность); использование обычной бумаги и других самых разнообразных носителей информации, различных по форме и физическим свойствам; простота конструкции и низкая стоимость. Области применения ЭКСРУ: выводные устройства гибких автоматизированных производств, систем коллективного пользования, систем автоматизированного проектирования (САПР), устройства регистрации информации при неразрушающих методах контроля, клеймение кож и других материалов, маркировка полупроводниковых приборов, интегральных схем, жгутов и т. п., капельное формирование резисторов интегральных схем и т. п., точное микрокапельное дозирование жидкостей, картография, регистрирующие устройства при сейсморазведке, цветные регистрирующие устройства различного назначения, полиграфия, цветные полутеневые методы диагностики в медицине, печатание адресов и другие области (рис. 1.5).

Особо остановимся на актуальности проблемы регистрации полутонных и цветных изображений на основе бессеребряных носителей

(данный материал подготовлен автором совместно с В. П. Коротковым и В. Ф. Москаленко). В последние годы добыча серебра в мире катастрофически уменьшается и оно стремительно дорожает. Значительная доля серебра расходуется на фотографию, поэтому становится естественным всеобщий интерес к получению фотоотпечатков на бессеребряном носителе. Внимание к этой проблеме еще в большей мере привлекло сообщение о появлении в Японии электронной фотокамеры «Мавика» [10].

Преодоление трудностей и окончательное решение проблемы фотографии без серебра видят в развитии электронных методов регистрации изображений, отличительная особенность которых заключается в том, что изображение фотографируемого объекта предварительно преобразуется в электрический видеосигнал [9].

Особенно интенсивное развитие в последнее время получают электронные методы регистрации изображений на магнитный носитель, в частности на магнитный диск [а. с. 1094018 (СССР)], что, в свою очередь, стимулирует и развитие бессеребряных способов получения изображений, а также устройств для получения фотоотпечатка на бессеребряный материал. В табл. 1.3 приведены основные характеристики наиболее известных способов получения отпечатка на бумаге и устройств на

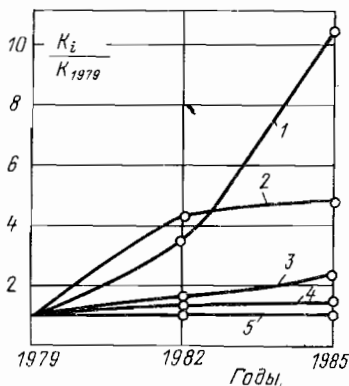


Рис. 1.4. Динамика продаж безударных регистрирующих устройств на мировом рынке в 1979—1985 гг.:

1 — электрокапеструйные РУ; 2 — электрофотографические и лазерные; 3 — электростатические; 4 — термические; 5 — электронскровые

Рис. 1.5. Области применения электрокапеструйных регистрирующих устройств



**СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗУДАРНЫХ СПОСОБОВ
ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Способ регистрации	Оптическая плотность		Разрешающая способность, лин/мм	Время фиксации одной точки, мкс	Способ получения полутонов
	D_n	D_v			
Фотографический: на фотопленке на фотобумаге	2,5 1,4	0,1 0,1	2000 10—20	1 2—5	Экспозиционный
Электрофотографический: на селене на фотополупроводниковой бумаге	1,2 1,2	0,12 0,15	5—10 5—10	10 (ЭЛГ); 100 (харак- трон)	Растровый
Электрографический Феррографический	1,2 1,2	0,12 0,12	5—10 5—8	1—10 1—10	
Электротермический Электрохимический Термографический	1,3 1,0 1,5	0,3 0,1 0,3	4—6 3—6 3—6	200—500 300—700 (1—10) 10^3	Экспозиционный
Электрокаплеструйный	1,5	0,08	16—40 точек/мм	4—10	Растровый

их основе. В ней D_n — оптическая плотность изображения, которая характеризует степень почернения носителя на участках с записью, т. е. способность участка изображения отражать падающий световой поток. Максимальная оптическая плотность изображения на бумаге 1,6—1,7, на фотопленке 3—3,2. Оптическая плотность вуали D_v характеризует степень почернения свободных от записи участков носителя. Максимальная оптическая плотность вуали (фона) белой бумаги составляет приблизительно 0,03—0,04. Приемлемой считается оптическая плотность вуали не больше 0,06—0,08. Качество черно-белого изображения считается приемлемым (хорошим), если его контрастность — разность оптической плотности изображения и вуали — составляет не менее 0,7—0,8, а плотность записи $1/\rho$ — 2—4 элементов/мм, где ρ — разрешающая способность, определяющая максимально допустимые размеры элементов изображения. Указанным требованиям отвечает большинство способов регистрации.

Конструкция устройств для получения цветного полутонового отпечатка, в котором реализован тот или иной способ регистрации, тем сложнее, чем больше необходимо операций (стадий) для получения отпечатка в окончательном виде. Многостадийность сопровождается увеличением результирующего времени печати и покупной стоимости печатающих устройств.

В табл. I.3 приведены усредненные значения длительности обработки одного элемента изображения.

Исходя из этих общих положений, видим, что наиболее перспективными для получения цветного отпечатка являются термографический и электрокапеструйный методы. Главными недостатками способа термографической печати является низкое разрешение в отпечатке по сравнению с фотоотпечатком, которое составляет обычно $10\text{--}20\text{ мм}^{-1}$ фотографического разрешения, а также относительно низкое быстродействие. В свою очередь, использование специальных листов различных красконосителей усложняет термографический метод получения цветных изображений. Поэтому разработчики во всем мире все чаще обращаются к электрокапеструйному методу получения цветных полутонных изображений, как к одному из перспективных методов.

Японская фирма «Хитачи сэйсакусе» разработала [37] приставку для получения на простой бумаге цветных твердых копий с помощью микрокапель красителей, которая обеспечивает плотность записи 16 и 40 точек/мм. Фирма ИБМ (IBM, США) использовала технологию строго дозированного капельного разбрызгивания чернил для контрастной цветной печати с применением многосопловой печатающей головки, с помощью которой можно получить цветные изображения высокой четкости и разрешения [77]. Разработан [заявка 3407500 (ФРГ)] способ репродукции цветных оригиналов, применяемый при четырехцветной печати, при котором цветной оригинал трехцветно считывают и преобразуют в сигналы RGB (красный — зеленый — голубой), которые затем цветокодируют в сигналы YMCK (желтый — пурпурный — синий — черный) изображений, используемых при четырехцветной печати с регулированием цвета.

Улучшение качества цветных оригиналов достигается за счет модификаций регулирования цвета при печати цветоделенных изображений. Для этого выделяют из оригинала сигналы яркости и цветности. Регулирование уровня сигнала серого цвета при печати осуществляют с учетом баланса серого цвета печатных красок YMC, а регулирование уровней сигналов цветности при печати осуществляют в соответствии с результатом их сравнения с максимальным, средним или минимальным значением цвета печатных красок YMC. В процессе регулирования уровня сигнала серого цвета при печати сигнал черного цвета (K) получают из сигнала синего цвета (C).

Уровни сигналов печатных красок с учетом регулирования тонов серого и цветного, а также регулирования цвета от серых тонов до цветных определяются по следующим уравнениям:

$$Y = Y_f + (1 - \Delta) Y_g; \quad M = M_f + (1 - \Delta) M_g;$$

$$C = C_f + (1 - \Delta) C_g; \quad K = K_f + (1 - \Delta) K_g.$$

Здесь Y_f, M_f, C_f, K_f — уровни сигналов цветности печатных красок YMCK; Δ — сигнал оценки серого цвета, $\Delta = \{B:\delta\}$; B — уровень сигнала сероецветное; δ — величина отклонения уровня сигналов цветности от уровня сигнала серого цвета,

$$\delta = \sqrt{[f^{-1}(C) - f^{-1}(M)]^2 + [f^{-1}(M) + f^{-1}(Y)]^2 + [f^{-1}(Y) - f^{-1}(C)]^2};$$

 $f^{-1}(Y), f^{-1}(M); f^{-1}(C)$ — инверсные функции баланса серого цвета;
 Y_g, M_g, C_g, K_g — значения уровней сигналов цветности печатных красок
 в процессе регулирования серого цвета,

$$Y_g = Y_3(1 - S_g); M_g = M_3(1 - S_g); C_g = C_3(1 - S_g); K_g = f^{-1}(C_3)S_g,$$

где Y_3, M_3, C_3 — значения уровней сигналов цветности печатных красок до регулирования серого цвета; S_g — значение уровня сигнала яркости в оригинале, изменяемое от 0 до 1; $f^{-1}(C_3)$ — инверсная функция $C_3 = f(K)$.

Возможны другие способы обработки сигналов цветности при репродукции и печати, при которых, например, учитывают особенности цветокодирования изображения оригинала, применяют приближенные (экстраполированные) методы процессорной обработки видеосигналов изображений, а также характеристики методов печати.

Таким образом, можно заключить, что дальнейшее совершенствование регистрирующих устройств связано, в частности, с использованием электрокапеструйного метода регистрации информации. Большой интерес разработчиков и потребителей к ЭКСРУ обусловлен прежде всего гибкостью (многофункциональностью) метода при отображении информации на различных носителях в разнообразных технологических процессах, повышенным быстродействием ЭКСРУ и бесшумностью их работы, технологичностью при изготовлении ЭКСРУ и их относительно небольшой стоимостью.

1.2. СТРУЙНЫЕ СПОСОБЫ РЕГИСТРАЦИИ ИНФОРМАЦИИ

Струйные способы регистрации информации относительно молоды: исследования в области струйной печати начались около 30 лет назад, хотя широкое использование электрокапеструйной технологии в различных отраслях промышленности началось значительно позже — в 1974 г. [35, 37]. Первые патенты на технические решения электрокапеструйных устройств заявлены в конце 1950-х годов (получены и опубликованы в начале 1960-х годов); по ним поток заряженных чернильных капель предлагалось получать методом электростатической эмиссии [пат. 2600129 (США), пат. 3060429 (США), пат. 356477 (Швейцария)]. Для этого чернильная камера с капиллярным соплом и бумагоопорный элемент подключались к разноименным полюсам источника постоянного высокого напряжения. На пути заряженных таким образом капель чернил устанавливались две пары отклоняющих электродов, осуществляющих горизонтальную и вертикальную развертку капель в соответствии с контуром требуемого знака.

В 1962 г. заявлен, а в 1965 г. получен (опубликован) патент [пат. 3211088 (США)] на способ эмиссии капель импульсным давлением, по которому в камере с чернилами создают импульсное давление, доста-

точное для выталкивания через капиллярное сопло одной незаряженной капли на каждый импульс давления, которая летит без всяких отклонений до запечатываемой поверхности. Использование этого способа позволило модифицировать для струйной печати известные конструкции матричных или одноточечных печатающих головок ударного действия.

Год спустя был предложен (Р. Свитом), а в 1971 г. получен и опубликован патент [пат. 3596275 (США)] на способ эмиссии капель высоким давлением, по которому используется эффект самопроизвольного дробления непрерывной струи чернил, испускаемой из капиллярного сопла под действием постоянного высокого давления при наложении на сопло возмущающих колебаний стабильной частоты. В зоне каплеобразования селективно каплям сообщается заряд и затем по ходу движения заряженные таким образом капли отклоняются в поле отклоняющих электродов. Позднее [71] фирма «А. Б. Дик» (*A. B. Dick*, США) на базе этого способа создала серийную машину струйной печати, предназначенную для печатания адресов на различных отправлениях.

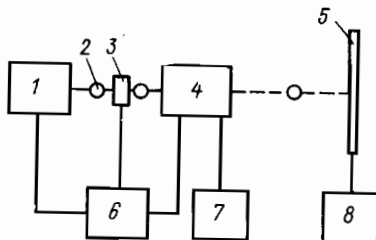
В 1965 г. К. Герцем (Лундский технологический институт, Швеция) был заявлен, а в 1970 г. получен и опубликован патент [пат. 331370 (Швеция)] на способ, по которому избирательно воздействуют на непрерывную струю в зоне каплеобразования электростатическим полем изменяемой напряженности и пропускают струю на бумагу для записи через диафрагму. При этом капли, подвергшиеся воздействию поля, расщепляются на множество мелких частиц, которые в зависимости от напряженности электростатического поля либо частично попадают в отверстие диафрагмы, либо вообще не попадают в отверстие, образуя пробельный участок на бумаге.

Попытки создания новых способов струйной печати продолжают до настоящего времени, но чаще всего они оказываются лишь модификациями описанных выше способов. Таким образом, первые опубликованные зарубежные патенты по электрокапеструйной регистрации информации появились в печати в середине 60-х годов.

В ЛПИ им. М. И. Калинина в середине 1960-х годов начаты исследования по разработке принципиально новых методов преобразования рода энергии сигналов с использованием воздействий электрических полей на заряженные объемы, струи и потоки жидкостей и газов [13—15], в частности работы по расчету характеристик электрогидравлических преобразователей с отклонением заряженной струи жидкости. В результате была разработана обобщенная методика расчета статических и динамических характеристик отклонения каплевых и компактных заряженных струй в электрическом поле [1, 13—15]. Таким образом, к моменту интенсивной разработки таких ЭКСРУ за рубежом (1970-е годы) в СССР уже были разработаны основные положения теории расчета и проектирования основополагающих узлов данных устройств.

В специальном конструкторском бюро программно-управляемых средств (СКБ ПС, г. Курск) были созданы первые в СССР отечественные образцы ЭКСРУ с эмиссией капель электростатическим полем и с эмиссией капель высоким давлением. По данным СКБ ПС, в настоящее время исследования в области электрокапеструйной регистрации инфор-

Рис. 1.6. Обобщенная схема ЭКСРУ с отклонением в электрическом поле заряженных капель чернил (краски)



мации ведут свыше тридцати фирм, в основном США, Японии, ФРГ. Наиболее интенсивные работы проводят научно-исследовательские центры американской фирмы ИБМ, западногерманской фирмы «Олимпиа» (*Olympia*), американской корпорации «Мид» (*Mead*), японских фирм «Сяпу» (*Suapu*) и «Хитачи» (*Hitachi*), западногерманской фирмы «Сименс» (*Siemens AG*), японских фирм «Нихон Дэсин Дэнва Кося» (*Nippon Telephon and Telegraphie*), «Рико» (*Ricoh*), «Кянон» (*Canon*), американских корпораций «Ксерокс» (*Xerox*), «А. Б. Дик» *A. B. Dick* и др.

Способ эмиссии капель чернил (краски) не только определяет принцип действия ЭКСРУ, но решающим образом сказывается на параметрах и конструкции электрокаплевоструйных устройств. Поэтому в дальнейшем более подробно остановимся на принципах построения различных типов ЭКСРУ, учитывая прежде всего применяемый способ эмиссии капель в данных устройствах.

На рис. 1.6 представлена обобщенная схема ЭКСРУ с эмиссией капель электростатическим полем или высоким давлением [1].

Эмиттер капель 1 генерирует однородную прямолинейную каплевую струю 2. Зарядное устройство 3 осуществляет индукционный или ионный заряд капель. Блок управления 4 отклоняет струю по одной или двум координатам, прерывает и очищает ее от сателлитов (брызг); управляется он от знакогенератора 7. Для обеспечения качественной печати на носителе информации 5 эмиссия капель, их зарядка и управление должны быть синхронны и синфазны. Эту функцию выполняет синхронизирующее устройство 6. Механизм привода 8 осуществляет взаимное перемещение печатающего органа и носителя информации.

Скорость печати ЭКСРУ при последовательном формировании знаков в строке в виде матрицы точек 5×7 превышает 1000 знак/с, а если использовать многосопловую печатающую головку и параллельное формирование строки, то скорость печати можно увеличить до 150 000 знак/с. ЭКСРУ обладает высокой универсальностью и в состоянии фиксировать алфавитно-цифровую и знакографическую информацию любой сложности с неограниченным набором символов, а также выполнять цветную (синхронными струями разного цвета) и факсимильную печать. В ЭКСРУ легко регулируются габаритные размеры, плотность и толщина обводки знаков. В качестве носителя информации можно использовать обычную бумагу, металл, стекло, дерево, ткань, кожу и другие материалы с плоскими и искривленными поверхностями. Цифровое управление каплевой струей при знакоформировании упрощает согласование ЭКСРУ с ЭВМ, а при совместном применении ЭКСРУ и дисплея комплексно решается

задача визуализации и документирования. Низкие эксплуатационные расходы и стоимость ЭКСПУ объясняются применением недорогих носителей информации, простотой изготовления печатающего органа, низкой энергоемкостью процесса и возможностью миниатюризации конструкции. ЭКСПУ работает бесшумно, так как устранены ударные шумы, а кроме того,— механические подвижные элементы.

Способ эмиссии капель электростатическим полем (рис. 1.7, а) отличается от других способов с отклонением заряженных капель простотой реализации, так как в нем совмещены процессы зарядки, отрыва и ускорения капель. Этот способ позволяет осуществлять двухкоординатное знакоформирование за счет ортогонального электростатического отклонения, что снижает требования к лентопротяжному механизму. Однако быстродействие таких ЭКСПУ ниже, чем при эмиссии капель высоким давлением. Скорость печати определяется предельной частотой каплеобразования в 10 кГц (с синхронизацией — до 35 кГц).

В настоящее время практика построения ЭКСПУ ориентируется в ряде случаев на ЭКСПУ с чернилами на диэлектрической основе, в которых вследствие потери устойчивости в электростатическом поле кончика мениска жидкости получают относительно мелкие капли. Для стабилизации параметров каплеобразования приходится применять синхронизирующую вибрацию струи в осевом или поперечном направлении, например, за счет дополнительного периодического электрического поля. На рис. 1.7, а представлен один из вариантов решения этой задачи при использовании чернил на диэлектрической основе. Промежуточный и ускоряющий электроды 3 и 4 расположены так, чтобы струя 2, вытекающая из сопла 1, разбивалась на заряженные капли в области, где отсутствует электрическое поле, что несколько стабилизирует параметры

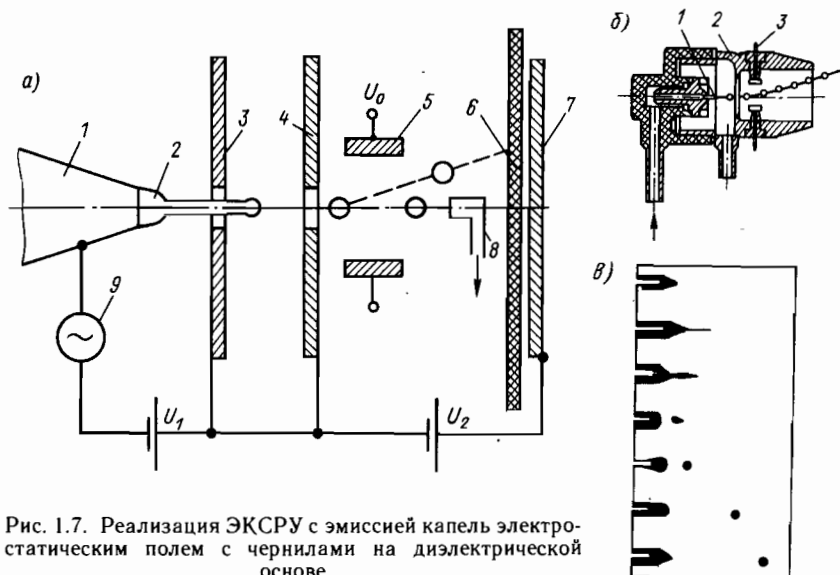


Рис. 1.7. Реализация ЭКСПУ с эмиссией капель электростатическим полем с чернилами на диэлектрической основе

каплеобразования. На ускоряющее и заряжающее поле от напряжения U_1 накладывается периодическое электрическое поле от генератора 9, что заставляет заряженную струю регулярно вибрировать в осевом направлении, тем самым стабилизируются параметры каплеобразования и повышается качество печати. Заряженные таким образом капли отклоняются электродами 5, а незаряженные — попадают в улавливатель 8. Капельки диэлектрических чернил несут небольшие заряды, поэтому для их ускорения и снижения влияния паразитных полей необходимо вводить второй ускоряющий электрод 7 за носителем информации 6 и дополнительное высокое ускоряющее напряжение U_2 (7—10 кВ), а также повышать отклоняющее напряжение U_0 (3 кВ). Наличие при эмиссии капель тонкой длинной диэлектрической струи 2 (7—10 мм) несколько повышает габаритные размеры печатающей головки.

Конструкция пишущей головки для чернил на диэлектрической основе представлена на рис. 1.7, б [45]. К соплу 1 пишущей головки чернила подводятся под небольшим давлением, создаваемым микронасосом, достаточным для создания мениска выпуклой формы на срезе сопла. При создании электрического поля между соплом и электродом 2 приложением постоянного напряжения 2500 В устойчивость конца мениска диэлектрической жидкости нарушается и из него начинает вытягиваться тонкая струйка (рис. 1.7, в), которая в дальнейшем дробится на заряженные капли. Частота каплеобразования при этом получается около 3000 капель/с. Заряженные капли отклоняются далее в поле отклоняющих электродов 3 в зависимости от величины напряжения на отклоняющих электродах. Отклонение капель осуществляется по координатам X и Y . Такая пишущая головка применена в устройстве «Трансдата 8153», разработанном фирмой «Сименс» (*Siemens AG*, ФРГ) [47]. Затрачиваемая при этом энергия составляет $5 \cdot 10^{-8}$ Вт·с, что существенно ниже, чем в других бесконтактных способах печати (при электрофотографическом и тепловом способах имеем соответственно $1 \cdot 10^{-6}$ Вт·с и $1,5 \times 10^{-1}$ Вт·с). Избыточное давление чернил в сопле, необходимое для работы устройства, составляет 2—4 кПа.

Отмеченные выше недостатки устройств с чернилами на диэлектрической основе устраняются в ЭКСПУ с чернилами на водной основе и с электростатической эмиссией капель, хотя капли в этом случае получаются крупнее при одном и том же диаметре сопла.

В 1980 г. в мире эксплуатировалось свыше 20 тыс. ЭКСПУ [35], из которых около 11 тыс. — в Японии. Подавляющее большинство этих машин было произведено японскими фирмами «Касио кэйсанки» (*Casio Computer*) и «Тосиба» (*Tochiba*). Машины этих фирм работают на принципе электростатической эмиссии чернильных капель [71].

Первые регистрирующие устройства на этом принципе печати появились в 1968 г. одновременно в США и Швейцарии [69, 73]. Это были терминал «Инктроник» фирмы «Телетайп» (США) и печатающее устройство «Hermes-HR-3» фирмы «Пайяр» (Швейцария). Впоследствии обе фирмы вложили много усилий и средств в улучшение своих изделий и повышение качества печати. Так, с целью увеличения скорости на терминале «Инктроник» фирма «Телетайп» установила блок печати из

сорока каплеструйных головок, благодаря чему строка из восьмидесяти знаков печаталась за столько же времени, сколько необходимо для печати двух знаков. Фирма «Пайяр» добилась на своем печатающем устройстве «Hermes-HR-3» в режиме последовательной печати вполне приемлемого качества печати и скорости в 30 знак/с. В начале 1970-х годов фирма «Пайяр» продала лицензии на свое устройство фирмам «Сименс» (ФРГ) и «Касио» (Япония), которые быстро освоили лицензии и приступили к выпуску своих ЭКСРУ: «Трансдата» (фирма «Сименс») и «Тайпотер» (фирма «Касио»).

В СССР в 1982 г. межведомственная комиссия рекомендовала к серийному производству ЭКСРУ с электростатической эмиссией каплей типа УПС-35 «Стайер», разработанное в СКБ ПС (г. Курск).

Типовая схема ЭКСРУ с эмиссией капель высоким постоянным давлением и синхронизацией дробления струи представлена на рис. 1.8 [1, 80]. Под действием высокого давления (0,2—0,5 МПа), развиваемого насосом 12 (рис. 1.8, а), из сопла 3 диаметром 30—60 мкм с большой скоростью (20 м/с) выбрасывается струя проводящих чернил, которая затем в окружающей среде на некотором расстоянии от сопла дробится на капли. Ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь 2 модулирует скорость истечения струи и тем самым синхронизирует дробление струи на капли, т. е. стабилизирует параметры каплеобразования. Каждая капля устройством 4 избирательно заряжается за счет электростатической индукции в электроде 5 и далее при полете отклоняется пластинами 6 (траектория 7) пропорционально величине заряда. Незаряженные капли не испытывают отклонения от начальной траектории 8 и попадают в ловушку 9, по системе рециркуляции возвращаясь в чернильницу 11. Развертка знака при знакоформировании обеспечивается по одной координате за счет электростатического отклонения, а по другой — относительным перемещением печатающей головки и носителя информации 10.

Для обеспечения качественной печати необходимо не только синхронизировать каплеобразование использованием генератора 1, но и

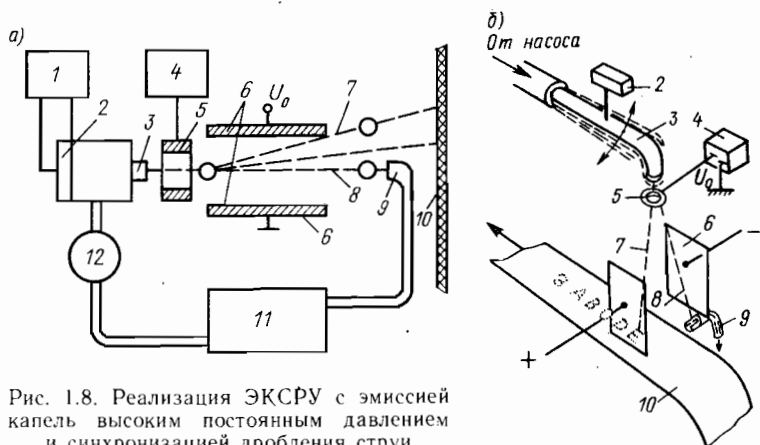


Рис. 1.8. Реализация ЭКСРУ с эмиссией капель высоким постоянным давлением и синхронизацией дробления струи

обеспечить синхронность и синфазность зарядки капель и перемещения носителя информации.

Другой вариант ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением показан на рис. 1.8, б; этот способ позволяет получить частоту каплеобразования 100 кГц, что дает возможность при знакообразующей матрице 5×7 увеличить скорость печати до 1500 знак/с. Печатающую головку можно использовать также в факсимильном аппарате и струйном осциллографе. При знакоформировании применяются два способа управления каплями: печатают незаряженными каплями, а зарядка капель осуществляется только для их выборочного направления на слив, или же на слив идут незаряженные капли, а заряженные, используемые для печати, отклоняются пропорционально индивидуальным зарядам капель. В первом случае многосопловая конструкция печатающей головки допускает миниатюризацию, так как для всех струй используются общие отклоняющие пластины и ловушки, а зарядные электроды выполняются способом печатного монтажа.

Способ струйной печати с дроблением непрерывной струи чернил, испускаемой из капиллярного сопла под постоянным высоким давлением, как уже было упомянуто выше, явился первым способом, используемым в серийно выпускаемых изделиях (данный обзорный материал подготовлен в СКБ ПС Ш. Р. Гойзманом).

Фирма «А. Б. Дик» вслед за первой моделью «Видеоджет» в 1968 г. создает «Видеоджет-II», а в 1971 г. — «Видеоджет 9600». Все три модели базировались на одном и том же блоке печати, для которого характерны следующие особенности: сообщение зарядов различной величины тем каплям чернил, которые должны образовывать на бумаге изображение, и направление всех этих капель через поле постоянной напряженности, в котором заряженные капли занимают различное положение относительно друг друга в соответствии с величиной своего заряда. При этом незаряженные капли попадают в расположенный перед бумагой сливной коллектор. Успехи продукции фирмы «А. Б. Дик» были впечатляющими, и к ней обратились многие фирмы с просьбой о предоставлении им лицензий. В числе фирм, купивших лицензии у «А. Б. Дик», такие, как американские корпорации ИБМ, «Рекогнишн Эквипмент» (*Recognition Equipment*), «Америкен Кэн Кампани» (*American Can Co*), «Мор Бизнес Формз» (*Mocre Business Forms*), швейцарская фирма «Мюллер — Мартини» (*Müller — Martini*) и др. Электрокаплевые устройства всех этих фирм (кроме ИБМ) предназначены для адресования почтовых отправок, распечатки типовых писем и форм, печати на упаковках и других предметах с неровной поверхностью и т. д.

Корпорация ИБМ, начав с середины 1960-х годов исследования по струйной печати во всех направлениях, с 1971 г. выбрала данный способ, т. е. дробление непрерывной струи чернил, испускаемой под постоянным высоким давлением из капиллярного сопла, а также способ эмиссии капель импульсным давлением [44]. Первую модель электрокаплевоструйной машины — модель 46/40 — фирма ИБМ продемонстрировала еще в 1976 г. [67]. Она предназначалась для работы в составе системы обработки текста ИБМ-32 в качестве терминальной пишущей машины

и обеспечивала скорость 77 знак/с при шаге 2,54 мм, а при шаге 2,12 мм — 92 знак/с. В 1977 г. фирма приступила к выпуску системы обработки текста «Офис системз-6» с использованием новой терминальной электрокаплевоструйной машины модели 66/40. Эта машина обеспечивает эксплуатационную скорость 92 знак/с и максимальную скорость 184 знак/с [66]. Высокое качество печати, как утверждают представители фирмы ИБМ, устраняет необходимость в перепечатке конечного документа на пишущих машинах, например, с любым монолитным литероносителем. В 1980 г. фирма выпустила следующую машину — модель 52/58 [87]. В настоящее время фирма ИБМ является самым крупным держателем патентов в области электрокаплевоструйной печати (свыше 200 патентов в США).

Независимо от ИБМ с середины 1970-х годов серийно выпускают аналогичные машины на том же способе струйной печати японские фирмы «Сяпу» [68], «Оки дэнки» (*Oki electric*), «Рико» [68], «Нихон Дэнсин Дэнва Кося» и «Хитачи».

С 1971 г. серийно изготавливает электрокаплевоструйные машины с оригинальной конструкцией печатающей головки американская корпорация «Мид» для печатания текста, выводимого из ЭВМ, репрографии и фототелеграфии. В отличие от способа струйной печати, используемой фирмой «А. Б. Дик», здесь каплям чернил избирательно сообщаются заряды одинаковой величины [пат. 3588906 (США)]. При этом при прохождении через электростатическое поле заряженные капли отклоняются в сливной коллектор, а незаряженные капли попадают на бумагу, образуя изображение.

Печатающая головка представляет собой матрицу из двух, по крайней мере, рядов капиллярных сопел, сдвинутых относительно друг друга в шахматном порядке. Если в матричной печатающей головке Н. Штемме для получения изображения коммутируется та или иная совокупность пьезоэлектрических преобразователей, то в матричной головке фирмы «Мид» коммутируется та или иная совокупность заряжающих электродов. Уже в 1971 г. фирма приступила к выпуску двух электрокаплевоструйных знакографических устройств — черно-белого BP7004 и многоцветного BP7005. В 1974 г. на рынок поступило новое электрокаплевоструйное печатающее устройство «ДИДЖИТ» (*DIJIT—Digital imaging by Jet ink Transfer*), которое неоднократно совершенствовалось. С 1980 г. выпускается четвертая модель ДИДЖИТ-2700, на которой можно выполнять полностраничные письма, этикетировочные работы, осуществлять печать лотерейных билетов, бланков, форм, многоцветных брошюр и т. п. Система ДИДЖИТ продолжает совершенствоваться и пользуется хорошим спросом [71].

Эта система использует 512 миниатюрных сопел, расположенных в ряд, и печатает за секунду 150 000 знаков, что примерно соответствует числу знаков в одном номере газеты малого формата. При этом плотность печати составляет 2 капли на миллиметр. Система ДИДЖИТ (помимо других применений) может, в частности, использоваться для допечатки последних известий на выделенное заранее свободное место на страницах газет. Для увеличения ширины одновременно запечатываемой

поверхности до 21,6 см при сохранении высокой скорости печати предусматривается использовать в сопловой линейке уже 1024 сопла. В свою очередь, для увеличения плотности печати, характеризующейся числом капель на миллиметр, используют два параллельных ряда сопел, расположенных так, чтобы сопла одного ряда были расположены против пробелов другого. Последнее позволяет увеличить плотность печати в два раза. В одном из последних вариантов системы ДИДЖИТ на ширине сопловой линейки 13 см расположены 1024 сопла, что обеспечивает плотность печати 8 капель на миллиметр. Система ДИДЖИТ на формате шириной 6,25 и 32,5 см позволяет печатать буквенно-цифровую информацию при скорости 200 м/мин [65].

Данная система обеспечивает изготовление больших красочных картин для кинотеатров, сцены или же в целях рекламы. При этом она может дистанционно управляться от ЭВМ (как, впрочем, и другие ЭКСРУ), что обеспечивает оперативное размножение информации в различных городах страны из одного центрального пункта.

В многосопловой системе ДИДЖИТ в отличие от приведенной на рис. 1.8 печатают незаряженными каплями, а заряженные капли попадают в краскоуловитель [65]. Поскольку при этом запечатывается одновременно вся ширина материала благодаря применению сопловой линейки, то отпадает необходимость как в горизонтальном, так и в вертикальном отклонении капель (развертку по вертикали можно обеспечить перемещением запечатываемого материала). Поэтому можно использовать лишь одно заряжающее устройство, сообщаемое определенный заряд только тем каплям, которые необходимо отводить в краскоуловитель.

Фирма «Дэйта Корпорейшен» (*Data Corporation*, США) на принципе эмиссии капель высоким давлением разработала несколько печатающих устройств без системы управления [27], предназначенных для печати графических изображений. В устройстве для черно-белой записи используется одно сопло, для цветной записи — четыре сопла.

В черно-белой записи частота эмиссии капель около 80 кГц. Для достижения высокого качества печати путем уменьшения влияния заряда предшествующей капли на заряд формируемой капли применяются защитные капли (капли заряжаются через одну), при этом скорость печати снижается вдвое. Бумага устанавливается на барабане, вращающемся со скоростью 120 об/мин и перемещающемся вдоль оси на 0,09 мм/об. Электростатическое поле используется только для отклонения и сбора капель, не участвующих в печати.

Из американских фирм, выпускающих электроструйные печатающие устройства с эмиссией капель постоянным давлением, следует также отметить компанию «Эпликон» (*Applicon Co*) — производственное предприятие, специализирующееся на выпуске графопостроителей и системы САПР [60].

В СКБ ПС (г. Курск) разработано первое отечественное одно-сопловое ЭКСРУ с эмиссией капель высоким постоянным давлением, которое в 1985 г. межведомственной комиссией рекомендовано к серийному производству.

Использование ЭКСРУ с эмиссией монодисперсных капель или электростатическим полем, или высоким давлением с последующим отклонением заряженных капель в электростатическом поле обеспечивает простоту согласования и удобство управления данных ЭКСРУ от ЭВМ и, как следствие, определяет гибкость их применения для регистрации самой разнообразной информации в различных отраслях промышленности. При получении полутоновых изображений ЭКСРУ производят печать определенного участка запечатываемой поверхности управляемым числом капель с варьированием их местоположения, а также изменением диаметра капель при каплеобразовании или путем управления слиянием капель в полете. Одновременно запечатывая определенную точку поверхности несколькими (четырьмя) цветными каплями краски (основных или дополнительных цветов), можно с использованием ЭКСРУ получить и цветное изображение. Здесь важно подчеркнуть, что при этом не требуется четырех отдельных печатных форм [например, с пурпурной, лазурной (синей), желтой и черной краской], как это имеет место в цветных устройствах, отпадает проблема совмещения отдельных цветов, не требуется соответствующим образом обработанная бумага. При электрокапеструйной цветной печати вся поверхность всеми четырьмя красками на обыкновенной бумаге запечатывается одновременно. Цветной оригинал разворачивается известными сканирующими устройствами.

Электрические сигналы, величина которых определяется тоном и цветом, управляют четырьмя соплами для желтой, синей (лазурной), пурпурной и черной красок. Градация тона происходит определенным наложением соответствующих капелек друг на друга.

Высокое быстродействие ЭКСРУ позволяет получать за малое время последовательно несколько копий при печати их одной головкой по одной программе или одновременно, если по одной программе запечатывать несколько копий различными печатающими электрокапеструйными головками.

Реализация способа К. Герца при эмиссии капель распылением высоким давлением и электростатической модуляцией струи иллюстрируется на рис. 1.9. Здесь уровень высокого давления, под которым подводится краска к соплу, существенно выше (почти на порядок), чем в рассмотренном выше способе. Краска под высоким давлением [27] (обычно 3 МПа) подается в сопло диаметром 10 мкм, выполняемое из стекла или других материалов. Из сопла со скоростью до 30 м/с вытекает струя краски, которая при отсутствии электрического поля разбивается на мелкие

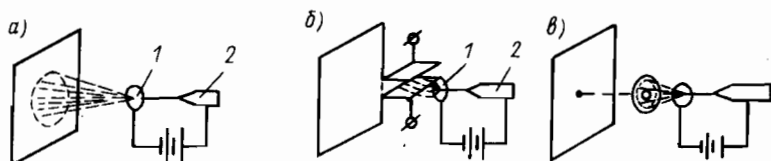


Рис. 1.9. Эмиссия капель распылением высоким давлением с электростатической модуляцией струи

капельки. Эти капельки по прямой линии движутся к запечатываемой поверхности.

Если между соплом 2 и расположенным по оси на некотором расстоянии от него кольцевым электродом 1 (рис. 1.9, а) создать электрическое поле подачей напряжения на электроды в несколько сот вольт, то образуется конус маленьких заряженных капель. Величина заряда каждой капли порядка 10^{-13} Кл, а его знак противоположен знаку потенциала заряжающего кольцевого электрода. Телесный угол струи заряженных капелек зависит от напряжения на электроде 1. Для предотвращения красочного тумана, дающего нежелательный оттенок на запечатываемой поверхности, используют две пластинки, собирающие заряженный туман краски (рис. 1.9, б), на которые подают напряжение около 500 В, или экран с отверстием диаметром 0,2 мм (рис. 1.9, в). При печати с экраном можно получить полную градационную шкалу полутонов, поскольку телесный угол струи заряженных капель зависит от величины управляющего напряжения. Заряженные капли начинают рассеиваться, отклоняться от оси струи (рис. 1.9, б) и отводятся на слив. Незаряженные капли остаются на оси, сближаясь друг с другом, в частности вследствие сопротивления воздуха.

Способ К. Герца не нашел столь широкого применения, как способ с эмиссией капель высоким давлением и синхронизацией дробления струи. В 1977 г. кампания «Артур Д'Литл», которая представляет патентно-лицензионные интересы профессора К. Герца, продала лицензию на этот способ американской корпорации «Белл энд Хауэл». Эта корпорация, специализировавшаяся ранее на средствах размножения документации (гектографы, ротаторы и т. п.) и вложившая много средств в исследование по термоманитографии, сумела быстро освоить лицензию и приступить к серийному выпуску адресовальной машины модели 1/J96 [71]. Модель 1/J96 может печатать до восьми строк адресной информации (из которых четыре строки — сменная информация, а остальные четыре — постоянная) со скоростью 2200 знак/с в реверсивном режиме с различной величиной шрифта. Модель 1/J96 пользуется хорошим спросом.

Судя по патентной информации, западногерманская фирма «Агфа Гевэрт» (*Agfa Gevaert*) в сотрудничестве с К. Герцем работает над созданием аппаратов для репродуцирования полутоновых изображений [64] и получила уже около 20 патентов ФРГ в этом направлении. Возможность изменения толщины линии при печати способом К. Герца побуждает использовать для создания односоплового планшетного графопостроителя японская фирма «Минолта Камэра» (*Minolta Camera*) [пат. 4215353 (США)]. Однако сведений о создании этими фирмами конкретных изделий пока нет.

Способ эмиссии капель импульсным давлением заключается в том, что в камере с внутренним объемом 0,2—0,5 см³, имеющей капиллярное отверстие 30—100 мкм, создают импульс давления, достаточный для вылета из сопла одной единственной капли. Следовательно, характерной особенностью ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением является отсутствие в структуре устройства узла сообщения заряда каплям и узла отклонения капель, поскольку регистрация информации производится не-

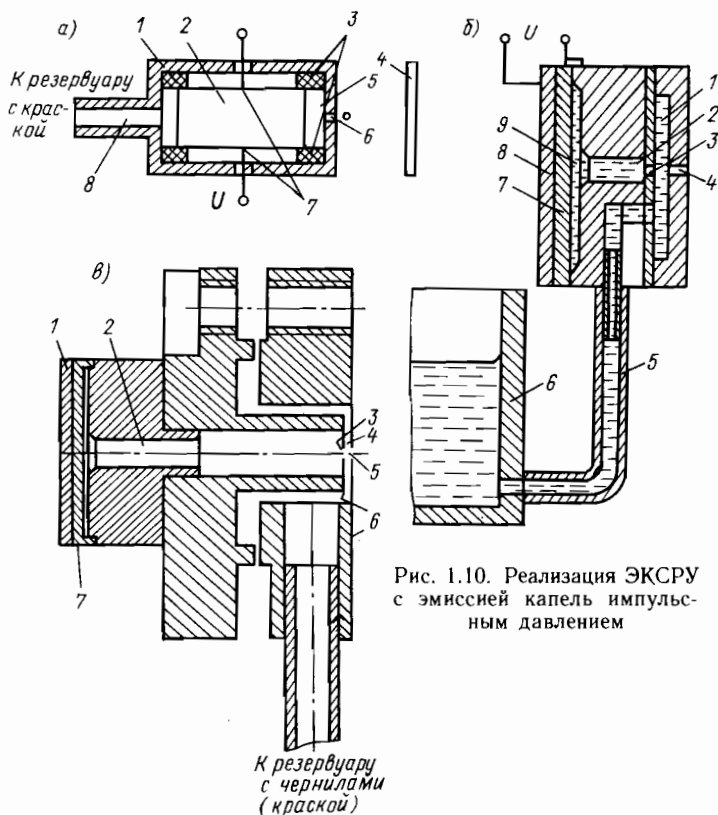


Рис. 1.10. Реализация ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением

заряженными каплями, которые под действием импульса давления вылетают из сопла и летят по инерции к запечатываемой поверхности. В качестве источников импульсного давления очень часто используют пьезоэлектрические, электромеханические, электрогидродинамические и другие преобразователи.

При реализации данного способа эмиссии отрыв капель происходит лишь в том случае, когда силы, развиваемые создаваемым в камере импульсным давлением, превышают силы поверхностного натяжения.

Возможны различные варианты печатающих головок, реализующих данный способ. Рассмотрим здесь варианты печатающих головок и использование для создания импульсного давления пьезокерамики (рис. 1.10) [61, 85].

На качество функционирования устройства (рис. 1.10, а) влияют характеристики пьезокерамики, геометрические размеры камеры 5, а также форма и параметры электрического импульса, подаваемого на электроды 7 пьезоэлектрического преобразователя 2.

В начальный момент времени силы поверхностного натяжения не позволяют вытекать краске (чернилам) из выходного канала 6. На пьезокерамический диск 2, размещенный в корпусе 1 с использованием

герметизирующих прокладок 3, плавно подается нарастающее напряжение U , под действием которого он сжимается в радиальном направлении. При этом в камере 5 создается разрежение и по каналу 8 происходит подсос краски (чернил) в камеру. В последующий момент времени электрическое напряжение U резко падает и пьезокерамика расширяется. За счет расширения пьезокерамики объем камеры 5 уменьшается, а давление в ней резко повышается. Поскольку краска (чернила), находящаяся в камере, практически несжимаема, то часть краски выталкивается в виде капли через выходной канал 6, которая летит к запечатываемой поверхности 4, а в небольших количествах часть краски идет обратно в резервуар через подводящий канал 8.

Чтобы избежать больших потерь энергии на перемещение жидкости от камеры к резервуару, желательнее, чтобы имел место высокий акустический импеданс Z между камерой 5 и подводящим каналом 8. Это обеспечивается малым отверстием входного канала 8 и его длиной, поскольку акустический импеданс Z капилляра равен $Z \approx h/r^2$, где h , r — длина и радиус капилляра.

Скорость вылетевшей из сопла капли зависит от амплитуды и крутизны фронта электрического импульса, подаваемого на пьезокерамический диск 2, и для данной конструкции составляет 1—3 м/с.

Возможны и другие реализации такого струйного печатающего устройства ждущего типа, например при прикладывании электрического импульса к пьезоэлектрическому преобразователю (ПЭП) он сжимает чернильную камеру, ее объем резко уменьшается и из выходного канала (сопла) вылетает капля чернил, которая достигает запечатываемой поверхности. При снятии электрического импульса с пьезоэлектрического преобразователя объем чернильной камеры увеличивается и в нее засасываются чернила.

В ЭКСРУ фирмы ВЕМ (США) с эмиссией капель импульсным давлением печатающая головка представляет собой небольшую прямоугольную камеру размером $15 \times 13 \times 5$ мм с трубкой для подачи чернил с одной стороны и выводом для сопла — с противоположной. Пьезоэлектрический диск диаметром 7 мм крепится на одной из стенок камеры таким образом, что ее объем каждый раз уменьшается при подаче электрического сигнала на такой ПЭП. Капля чернил (краски) при этом выдавливается из камеры. Частота каплеобразования достигает при этом 8000 капель/с. Размер капли зависит от диаметра выходного сопла и мощности электрического импульса, прикладываемого к ПЭП. Однако при слишком большой величине электрического импульса возникает кавитация, т. е. закипание чернил в результате глубокого разрежения, образующегося при резком расширении чернильной камеры после снятия электрического импульса с ПЭП. Поэтому разработана [пат. 4393384 (США)] методика подачи электрического импульса на ПЭП, позволяющая избежать кавитации. По патентуемой методике на ПЭП сначала подается приводной электрический импульс, под действием которого чернильная камера резко сжимается и из сопла вылетает капля чернил. Затем в короткий промежуток времени с ПЭП снимается напряжение и чернильная камера резко расширяется. Далее в последующий промежуток времени на ПЭП

подается успокаивающий электрический импульс, немного сжимающий чернильную камеру и исключая возникновение кавитации. В вариантах изобретения на ПЭП подается серия приводных и серия успокаивающих электрических импульсов. Напряжение, подаваемое на ПЭП, обычно выбирается до 100 В.

В 1971 г. шведский инженер Н. Штемме заявил [пат. 349676 (Швеция)] конструкцию струйной печатающей головки, которая оказалась достаточно удачной, и ее для своих разработок использовали сразу несколько крупных фирм: «Олимпия», «Сименс», шведское акционерное общество «Фацит» (*Facit*) и др.

На рис. 1.10, б представлена конструкция одного из вариантов печатающей головки, разработанной Н. Штемме [85]. В этой конструкции резервуар с чернилами 6 расположен несколько ниже печатающей головки и в исходном состоянии во внешнем капилляре 4 для выброса капель чернил поддерживается небольшое отрицательное гидростатическое давление. Вследствие этого мениск чернил имеет вогнутую форму, поэтому чернила не покрывают лицевую сторону печатающей головки. Пьезоэлектрический преобразователь состоит из склеенных между собой пьезопластины 8 и стальной мембраны 7, которые одновременно являются электродами ПЭП. При подаче импульсного напряжения на электроды пьезопластина 8 резко расширяется и объем щелевой камеры 9 уменьшается. В результате благодаря наличию канала 2 во внутреннем капилляре 3 и внешнем капилляре 4 (расположенных соосно) образуется скоростной поток чернил, давления которого (350—500 кПа) достаточно для преодоления сил поверхностного натяжения мениска жидкости на выходе 4, выброса капли чернил и получения ею кинетической энергии, необходимой для полета. Выброшенные из сопла 4 чернила на вылете имеют скорость 2—3 м/с и при подлете к запечатываемой поверхности уже имеют сферическую форму вследствие действия сил поверхностного натяжения. Скорость жидкости в капиллярах 3, 4 примерно в 1000 раз превосходит скорость у мембраны 7.

После снятия напряжения с электродов ПЭП мембрана 7 возвращается в исходное положение и в камере 9 образуется разрежение, которое передается в щелевую камеру 1, и происходит всасывание чернил по трубопроводу 5 из резервуара 6 в пишущую головку. Следует подчеркнуть, что при этом всасыванию в пишущую головку воздуха через выходное сопло (капилляр) 4 препятствуют силы поверхностного натяжения мениска чернил в капилляре, капиллярный эффект и большое гидравлическое сопротивление капилляра. Таким образом, здесь реализуется принцип импульсного бесклапанного насоса, в соответствии с которым и сопло 4 обладает диодным эффектом: пропускает давление в камере и препятствует обратному течению жидкости, находящейся в сопле, в камеру при создании в ней разрежения.

Конструктивно при реализации данного способа эмиссии капель имеется возможность разместить носитель информации на расстоянии менее 1 мм от сопла [28, 73, 79, 3]. Диаметр и длина капилляров и камер выбираются в пределах 25—40 мкм. То обстоятельство, что чернила не смачивают передней поверхности печатающей головки, позволяет мини-

мизировать габаритные размеры печатающей головки ($15 \times 13 \times 5$ мм) и размещать на высоте печатного знака 7, 12, 16 сопл. В печатающей головке (рис. 1.10, б) пьезоэлектрическая пластина имеет диаметр 5 мм и толщину 0,3 мм. Так как диаметр капли существенно зависит от амплитуды и длительности импульса напряжения на электродах ПЭП, то, меняя напряжение в пределах $U \in [80, 130]$ В и длительность импульса $\tau_{\text{и}} \in [15, 100]$ мкс, получаем возможность управлять диаметром отпечатка точки в пределах 0,1—0,65 мм. Последнее позволяет использовать печатающую головку в факсимильных аппаратах для передачи полутонных изображений.

Потребляемая мощность печатающей головки с эмиссией капель импульсным давлением менее 0,2 Вт, частота каплеобразования достигает 8—10 кГц, что позволяет получить скорость печати 300 знак/с.

На рис. 1.10, в изображен другой вариант конструктивного исполнения печатающей головки для эмиссии капель импульсным давлением [61]. Печатающая головка содержит пластину 1, металлическую пластину 7, внутренний канал 2, заполненный чернилами (краской), внутреннее отверстие 3 и соосно с ним расположенное выходное капиллярное сопло 5, между которыми находится тонкий слой чернил (краски) 4. Выходной торец печатающей головки покрыт пленкой 6. Работа печатающей головки (рис. 1.10, в) аналогична работе устройства, предложенного Н. Штемме (рис. 1.10, б).

Уже в июле 1972 г., т. е. в год первой публикации заявки Н. Штемме, фирма «Олимпия» усовершенствовала [пат. 2233469 (ФРГ)] конструкцию этой головки и предложила оригинальную технологию ее изготовления. Печатающие элементы головки фирмы «Олимпия» представляют собой два столбца сопл, сдвинутых относительно друг друга в шахматном порядке и каналами сообщающихся с индивидуальными камерами для чернил, в каждую из которых встроен пьезоэлектрический преобразователь. На базе такой головки фирма в 1982 г. создала пишущий автомат модели 1011 [56] для латинского и китайского алфавитов, а в 1983 г. — модель ГР40 [62].

В 1975 г. подобного же типа головку запатентовала фирма «Сименс» [пат. 2543451 (ФРГ)]. В отличие от головки фирмы «Олимпия» новая конструкция содержит только одну камеру, общую для всех сопл, а пьезоэлектрические преобразователи размещены в каналах, соединяющих сопло с общей камерой. Терминальная струйнопечатающая машина РТ80i, созданная на базе этой головки, выпускается фирмой с 1977 г. [63].

В конце 1970-х годов фирма «Сименс» продала лицензию на конструкцию головки американским фирмам «Белл энд Хауэлл» (*Bell & Howell*) [71], «Эдванст Калор Технолоджи» (*Advanced Color Technology*) [53] и «Принта Калор» (*Printa Color*). К 1983 г. фирма «Сименс» уже продала около 45 тыс. струйнопечатающих устройств. Некоторые фирмы, например французская фирма СЕКАПА (*SEKAPA*), изготавливают свои струйнопечатающие машины с использованием покупных узлов, поставляемых фирмой «Сименс».

Фирма «Принта Калор» на базе матричной головки фирмы «Сименс», модифицированной для трехцветной печати, в 1980 г. выпустила много-

цветное знакографическое устройство I8001, в 1981 г. — модель HP8002, а в 1983 г. — «Спектр 2000». Фирма «Эдванст Калор Технолоджи» в те же годы выпустила две модели: АСТ-I и АСТ-II — StomaJet аналогичного назначения и конструктивного исполнения, а в Европе многоцветное знакографическое печатающее устройство СНС—896 выпустила французская фирма СЕКАПА. В 1983 г. фирма объявила о выпуске двух новых (одноцветных) струйнопечатающих знакографических устройств из семейства РТ-GME-PT80i2 [54] и РТ-88 [70]. В этом же году к выпуску

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКСРУ С РАЗЛИЧ

Модель, фирма, организация, страна	Способ эмиссии капель	Скорость печати, знак/с	Размер знакобразующей матрицы	Размер поля знака, мм	Скорость носителя информации, м/с
Inktronik («Teletype Corp.», США)	Сильным электростатическим полем	120	8×10	2,5×2	
Typuter («Casio Computer Co», Япония)		54	10×11	2,5×1,6	
Transdata 8153 («Siemens AG», ФРГ)		30			0,1
УПС-35 Стайер (СКБ ПС, г. Курск, СССР)		35	8×10	2,8×2	
Jetmailer («Müller Martini», Швейцария)	Высоким постоянным давлением	1 375	5×7	Высота знака 2,5—5	3
Модель 2400 («Sharp», Япония)		500			
Videojet 9600 («A. B. Dick», США)		250	9×11		0,63
УПС-120 (СКБ ПС, г. Курск, СССР)		120	12×16		

струйных печатающих устройств приступили японская фирма «Кяпон», которая объявила о выпуске бесшумного калькулятора JP1280-D [81] и семицветного знакографического печатающего устройства A1210 [57], а также американские корпорации «Ксерокс» и «Экзон» (Exxon) [79].

В последние годы [77] фирма ИБМ (США) также проводит интенсивные работы по созданию цветных каплеструйных регистрирующих устройств с эмиссией капель импульсным давлением.

ТАБЛИЦА 1.4
НЫМИ СПОСОБАМИ ЭМИССИИ КАПЕЛЬ

Число печатающих головок	Краска (чернила)	Другие параметры	Назначение
40 сопел в ряд	На водной или масляной основе	РС = 4 точки/мм; $f_k = 3$ кГц	Выводное устройство ЭВМ
		$d_c = 120$ мкм (стекло); $p = (0,2 \div 0,3)$ МПа; $U_0 = 100 \div 200$ В	
1			
	На водной основе	$d_c = 90$ мкм (стекло); уровень шума 65 дБ	Выводное устройство ЭВМ
1—8	На водной или спиртовой основе		Печать рекламных изданий и клеймение упаковок
		$d_c = 60$ мкм; $p = 280$ кПа; $f_k = 25$ кГц; уровень шума 55 дБ	Печать полутоновых иллюстраций
		$d_c = 65$ мкм; $d_s = 125$ мкм; $p = 210$ кПа; $f_k = 66$ кГц; РС = 2,8 точки/мм	Печать этикеток, адресов на газетах, журналах, маркировка упаковок
1	На водной основе	Уровень шума 60 дБ	Выводное устройство ЭВМ

Модель, фирма, организация, страна	Способ эмиссии капель	Скорость печати, знак/с	Размер знакообразующей матрицы	Размер поля знака, мм	Скорость носителя информации, м/с
DJIT («Mead Corp», США)		150 000	8×16		10
Bem Printer («Bem», США)	Импульсное давление	200	5×7		
PT80 («Simens AG», ФРГ)		300	9×12		
ПС 6401 «Мозаика-A0» (СССР)		Время вывода ФИ 1200× ×1200 мм в трех цветах при РС=4 точ- ки/мм 20 мин			
ПС 6402 «Мозаика-A2L» (СССР)		84 мм/мин при РС=8 то- чек/мм			

Примечание. РС - разрешающая способность; d_s -- диаметр сопла; d_k -- диаметр.

Рассмотренные способы струйной печати имеют разные характеристики, которыми в конечном итоге определяется область их применения [35, 27, 4] (табл. 1.4). В общем случае ЭКСРУ применяются в выводных устройствах ЭВМ, видеотерминалов и телетайпов, множительной и фототелеграфной аппаратуре, осциллографах и графопостроителях, при печати газет, бланков, этикеток, для получения контрольных отпечатков при фотонаборе, впечатывания адресов, кодирования почтовых отправлений и автоматизации экспедирования газет, при получении цветных крупноформатных репродукций и цветных фотографий без использования серебра для их получения, автоматизации маркировки деталей произвольной формы, автоматизации клеймения материалов и др.

В зависимости от области применения и требований к ним используется тот или иной способ эмиссии капель.

Число печатающих головок	Краска (чернила)	Другие параметры	Назначение
512 сопл в ряд		$d_c = 50$ мкм; $d_k = 150$ мкм; $f_k = 50$ кГц; РС = 4 точки/мм; печать незаряженными каплями	Печать газет, этикеток, бланков, впечатывание переменного текста
7 сопл в ряд		$d_c = 50$ мкм; $U \leq 100$ В; $f_k = 8$ кГц	
12 сопл 24 пишущих головки (по 12 в каждом вертикальном ряду)	Фломастерные чернила, чернила «Радуга»	$d_c = 100$ мкм; $f_k = 2,5$ кГц РС = $4 \div 8$ точек/мм; ФИ _{max} = 1200×1200 мм	Выводное устройство телетайпа Регистрация сложных цветных полутоновых или графических изображений
9 пишущих головок		РС = $4 \div 8$ точек/мм; $d_k = 200$ мкм; ФИ — рулонная бумага шириной 420 мм	

метр капли; p — давление питания; f_k — частота каплеобразования; ФИ — формат изобра-

Достоинством способа эмиссии капель импульсным давлением является простота конструкции печатающей головки, допускающая миниатюризацию. В свою очередь, отсутствие смачиваемости чернилами передней поверхности печатающей головки позволяет, во-первых, несколько сопл размещать близко друг от друга и таким образом достигать большой степени интеграции при реализации многосопловых головок в заданных габаритах, а, во-вторых, носитель информации размещать непосредственно возле выходных срезов инжектирующих капли сопл.

Кроме того, в ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением отпадает необходимость в таких конструктивных узлах, как заряжающие и отклоняющие электроды с соответствующими источниками напряжения, в том числе и источниками высокого напряжения. Отпадает необходимость в блоках управления процессами зарядки и отклонения капель, в ло-

вухе капель и системе возврата неиспользуемых капель в резервуар с чернилами. Все эти узлы и блоки принципиально необходимы при реализации ЭКСРУ с эмиссией капель электростатическим полем или высоким постоянным давлением с синхронизацией дробления струи на капли (см. рис. 1.8). Поэтому способ эмиссии капель импульсным давлением позволяет реализовать более миниатюрные и конструктивно простые ЭКСРУ, чем другие способы.

Процесс управления каплями при знакоформировании в ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением также упрощается по сравнению с другими способами, поскольку не требует высокого давления в сопле с чернилами (как в ЭКСРУ с высоким давлением) и высокого напряжения управления (как в ЭКСРУ с электростатическим полем и высоким давлением). Для управления ЭКСРУ с импульсным давлением маломощных импульсов управляющего напряжения ($U=100$ В) с мощностью 0,2 Вт. В связи с тем что в ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением регистрация информации производится незаряженными каплями, отпадает необходимость в системах синхронизации и фазировки момента отрыва капли, зарядки и отклонения капель, которые имеют место в ЭКСРУ с эмиссией капель электростатическим полем или высоким постоянным давлением. Возможность в любой момент времени сформировать заданное число капель на выходе каждого сопла (т. е. синхронность процесса каплеобразования) также является преимуществом способа эмиссии капель импульсным давлением перед другими способами. Преимуществом является также и то, что при регистрации информации траектория полета таких незаряженных капель коротка (менее 1 мм) и, кроме того, исключается влияние помех при полете, паразитные электрические поля не оказывают воздействия на незаряженные капли. ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением так же, как и ЭКСРУ с эмиссией капель электростатическим полем и высоким постоянным давлением, позволяют осуществлять как последовательное, так и параллельное формирование строк и воспроизводить полутоновые и цветные изображения.

Однако ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением имеют целый ряд недостатков по сравнению с другими типами электрокапеструйных регистрирующих устройств, которые ограничивают сферы их применения. Прежде всего они уступают в быстродействии ЭКСРУ с эмиссией капель высоким постоянным давлением и синхронизацией дробления струи (табл. 1.4). Максимальная частота каплеобразования в них составляет около 10 000 кап/с. Кроме того, несмотря на конструктивную простоту печатающей головки с эмиссией капель импульсным давлением технология ее изготовления довольно трудоемка и требует использования прецизионного оборудования. Последнее вызвано тем, что необходимо изготовить с высокой точностью и чистотой обработки сложную капиллярную систему с диаметром капилляров 25—40 мкм, обеспечивающую основное свойство печатающей головки — диодный эффект. Небольшие диаметры капилляров требуют, в свою очередь, для повышения надежности работы головки организовать тщательную очистку и фильтрацию чернил, чтобы исключить закупорку и загрязнение капилляров. Необходи-

димо учитывать также возможные облитерационные явления, закупорку сопл воздушными пузырьками, а также пылью с носителя, на котором регистрируется информация, поскольку он находится в непосредственной близости от среза сопла. Последнее требует предусматривать в конструкции фильтры, отстойники, щетки и т. п.

В ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением используется, как правило, старт-стопный режим формирования знака, при этом одна из координат развертки обеспечивается взаимным перемещением печатающей головки и носителя информации. В связи с этим в ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением требуется точный шаговый электропривод.

При выборе того или иного способа электрокапеструйной регистрации информации не последнее место занимает требование обеспечения гибкости регистрации, т. е. на одном и том же устройстве обеспечения регистрации самой различной информации — знаковой, графической, цифровой и т. п. С этих позиций наиболее пригоден способ с электростатической эмиссией капель (см. рис. 1.7), поскольку он предусматривает управление каплями сразу по двум координатам X и Y изменением напряжений на соответствующих отклоняющих электродах. В ЭКСРУ с эмиссией капель высоким постоянным давлением с синхронизацией дробления струи электростатическое отклонение капли осуществляется только по одной координате (см. рис. 1.8), а другая координата разворачивается за счет механического перемещения носителя информации относительно сопла. Такие же взаимные перемещения носителя информации и печатающей головки предусматривает реализация ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением. Следовательно, наибольшая гибкость при микропрограммном управлении обеспечивается в ЭКСРУ с эмиссией капель электростатическим полем, хотя данные ЭКСРУ проигрывают в быстродействии электрокапеструйным устройствам с эмиссией капель высоким постоянным давлением (см., например, табл. 1.4) с синхронизацией дробления струи.

ЭКСРУ с эмиссией капель электростатическим полем и высоким давлением используют для регистрации информации заряженные капли, которых на траектории полета может быть более 200 при интервале около 0,2 мм друг от друга (особенно при эмиссии капель высоким постоянным давлением и с синхронизацией дробления струи). Происходит электростатическое взаимодействие капель при отрыве и полете. При отрыве заряд предыдущей капли может снизить заряд последующей до 15 %, что в конечном итоге ухудшает качество регистрации информации. Для уменьшения таких влияний капли заряжают через одну и таким образом экранируют их от электростатического взаимодействия или с использованием дополнительных запоминающих устройств корректируют заряд каждой последующей капли с учетом зарядов предыдущих. Другой путь уменьшения электростатического влияния капель друг на друга — это снижение зарядов капель с последующим повышением напряжения на отклоняющих электродах.

Увеличение разрешающей способности ЭКСРУ предполагает прежде всего уменьшение диаметра капель, что, в свою очередь, обуславливает

уменьшение диаметра канала формирующего сопла. В ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением, как отмечалось выше, диаметр канала сопла выбирается равным 25—40 мкм. В ЭКСРУ с эмиссией капель высоким постоянным давлением и синхронизацией дробления струи соответственно имеем диаметр сопла такого же порядка — 35—65 мкм. Однако облитерационные явления в капилляре в последнем случае исключаются вследствие вынужденных колебаний сопла (см. рис. 1.8), в то время как в ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением они могут иметь место и необходимо принимать меры для исключения их влияния на работу устройства.

Таким образом, каждый из способов реализации эмиссии капель в ЭКСРУ имеет свои положительные и отрицательные стороны и применение того или другого типа ЭКСРУ определяется конкретными требованиями, которые диктует практика в каждом частном случае к устройствам регистрации информации.

Интересно в этой связи проследить динамику патентования ЭКСРУ с различными способами эмиссии капель. На рис. 1.11 и 1.12 представлена по годам динамика патентования изобретений за границей по данным патентного отдела СКБ ПС (г. Курск) соответственно по ведущим капиталистическим странам и по способам

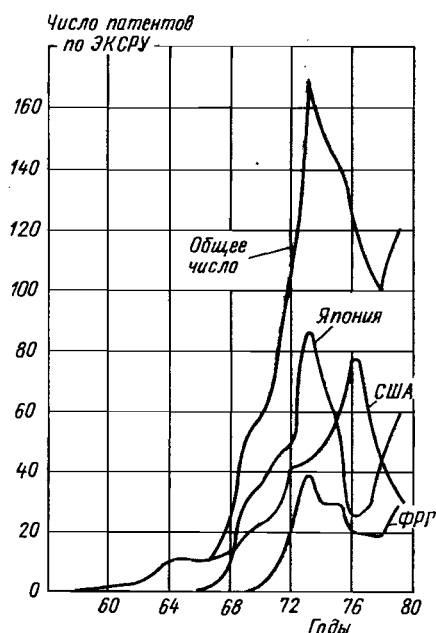


Рис. 1.11. Динамика патентования изобретений по электрокапельным регистрирующим устройствам

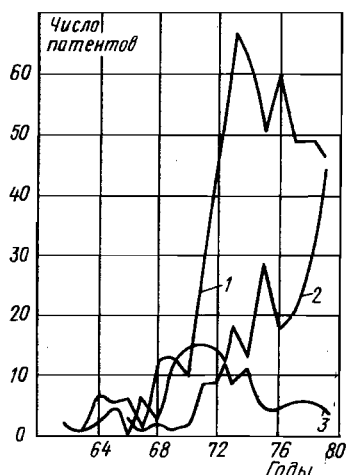


Рис. 1.12. Динамика патентования ЭКСРУ по годам с различными способами генерации капель чернил (краски):

1 — эмиссия капель высоким давлением; 2 — эмиссия капель импульсным давлением; 3 — электростатическая эмиссия капель

эмиссии капель чернил. Как видно из рисунков, в определенные годы в различных странах имеются всплески активности патентования. Следует учитывать при этом, что число патентований информации по годам имеет волнообразный характер, связанный со всплесками активности подачи заявок на изобретения, по времени, как правило, совпадающими с завершением разработок новых моделей ЭКСРУ. Анализируя динамику патентования ЭКСРУ с различными способами эмиссии капель (рис. 1.12), отмечаем, что в различные годы интенсивно создавались новые образцы ЭКСРУ с тем или иным способом генерации капель и, как следствие, в эти годы увеличивалось число заявок на изобретения по устройствам, реализующим эти способы. При этом взаимное патентование изобретений наиболее интенсивно происходит между США и Японией. Но так или иначе отмечаем все более возрастающий интерес зарубежных фирм к совершенствованию электрокаплеструйных регистрирующих устройств различного типа и назначения.

Рассмотренные выше способы эмиссии капель имеют разные характеристики, которые в конечном итоге определяют широкие возможности применения электрокаплеструйного способа регистрации информации как в области создания последовательных печатающих устройств для терминалов вычислительных систем коллективного пользования, так и в системах передачи факсимильных изображений на расстояние, в оперативной полиграфии, в фотографии, в устройствах для вывода графической информации [30]. При этом каплевой струей можно управлять по двум координатам, подобно электронному лучу электронно-лучевой трубки, или осуществлять цифровое управление, формируя для регистрации каплю только по получении бита информации. Последний метод управления лежит в основе эмиссии капель при импульсном возбуждении давления в камере и эмиссии высоким давлением с электростатической модуляцией (см. рис. 1.9). Он может быть реализован и при других рассмотренных выше способах эмиссии, если заряженные капли, соответствующие коду НЕТ, отклонять на слив.

1.3. КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОКАПЛЕСТРУЙНЫХ РЕГИСТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Из всего вышесказанного с учетом работ [29—31] можно предложить классификацию электрокаплеструйных регистрирующих устройств, представленную на рис. 1.13. В основу ее положен способ эмиссии капель, поскольку он во многом определяет и параметры ЭКСРУ, и их конструктивное исполнение. Так как процесс каплеструйной регистрации информации включает в себя кроме эмиссии капель операции управления заряженными или незаряженными каплями, то при классификации ЭКСРУ (рис. 1.13) учитывается как способ зарядки капель, так и способы управления каплями. И если в ЭКСРУ с эмиссией капель электростатическим полем или высоким постоянным давлением при регистрации информации управляют отклонением заряженных капель, как правило, в электростатическом поле, то в устройствах с эмиссией капель импульсным давлением эти операции исключаются и незаряженная капля летит

без отклонения к заданной точке поверхности носителя информации. Последнее, как уже отмечалось, упрощает конструкцию таких ЭКСРУ, однако их быстродействие ниже, чем, например, в устройствах с эмиссией капель постоянным высоким давлением и синхронизацией дробления струи.

В зависимости от принятого способа эмиссии капель имеем асинхронное или синхронное каплеобразование по отношению к запечатываемой информации (знаку или элементу изображения). В ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением на каждый управляющий импульс образуется только одна капля, которая сразу же летит к запечатываемой точке носителя информации. В электрокапеструйных устройствах с дру-

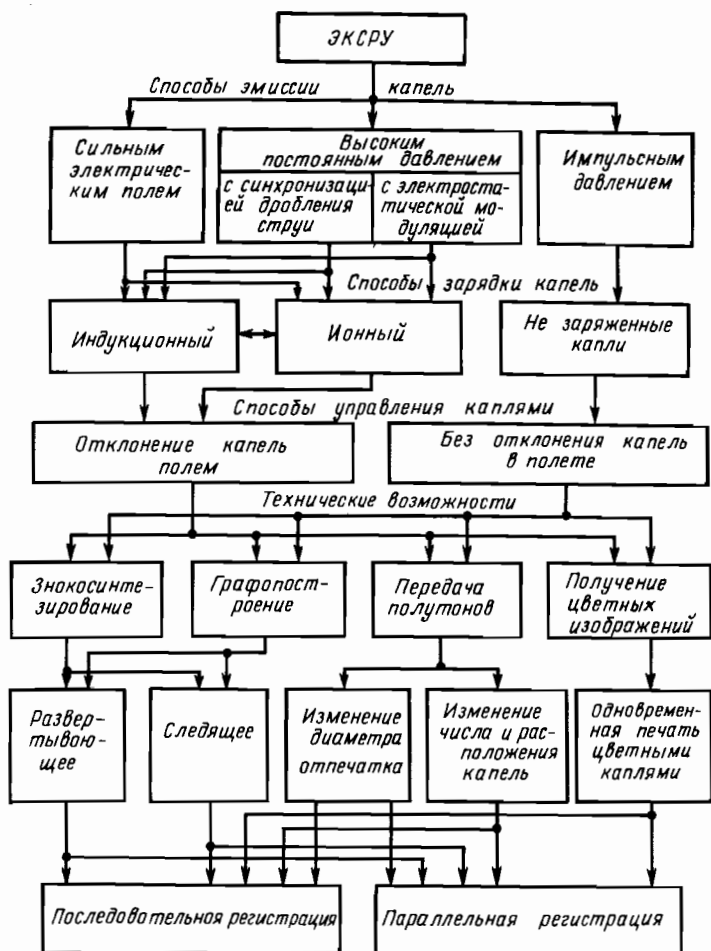


Рис. 1.13. Классификация и технические возможности электрокапеструйных регистрирующих устройств

гими способами эмиссии капель всегда имеем поток капель, образующихся с частотой от нескольких десятков до сотен килогерц, из которых для регистрации информации используется только часть капель, а оставшиеся отводятся на слив. Этим, в частности, объясняется принципиально большее быстродействие данных ЭКСРУ по сравнению с устройствами и эмиссией капель импульсным давлением, поскольку время образования собственно капли в последнем случае непосредственно входит в общее время нанесения одной точки информации на запечатываемую поверхность.

Для заряда капель в ЭКСРУ используются, как правило, индукционные способы сообщения заряда (рис. 1.13), хотя в ряде случаев применяется и ионный способ (например, в поле коронного разряда) или комбинация индукционного и ионного способов.

Следует сразу же отметить, что в зависимости от режима истечения струи чернил (краски) из сопла печатающей головки можно получить или распад осесимметричной ламинарной струи на монодисперсные капли в соответствии с теорией Рэлея [34], или полидисперсное дробление турбулентной струи. В нашем дальнейшем изложении особое внимание уделяется рэлеевскому дроблению струи чернил (краски) с синхронизацией данного процесса. Имеется целый ряд способов синхронизации дробления струи чернил на монодисперсные капли: с использованием пьезоэлектрических, электромагнитных, магнитострикционных и электро-механических преобразователей. Однако в нашей книге акцент будет сделан на синхронизации распада струи на капли с помощью пьезоэлектрических преобразователей, поскольку они получили наибольшее применение как в отечественных, так и в зарубежных ЭКСРУ в силу известных преимуществ: простоты и малогабаритности, удобства управления частотой и амплитудой синхронизирующих колебаний. Изменяя частоту, амплитуду и форму синхронизирующих импульсов, можно управлять диаметром образующихся монодисперсных капель и таким образом управлять толщиной обводки знаков и оптической плотностью отпечатков. В ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением толщиной обводки знаков и оптической плотностью отпечатков также управляют, в частности, с использованием пьезоэлектрических преобразователей, которые в данном случае применяются уже не как синхронизирующие устройства, а как основные элементы для получения единичной капли при поступлении входного сигнала.

При использовании способов построения ЭКСРУ с электростатическим управлением отклонением заряженных капель чернил (рис. 1.13) для оптимизации конструктивных и электрических параметров отклоняющей системы и характеристик всего устройства в целом необходимо реализовать максимальную величину отношения заряда капли q_k к массе капли m_k , т. е. q_k/m_k . Последнее осуществляется различной организацией заряжающих электрических полей, выбором конструктивных параметров сопла и чернил (краски), используемых для регистрации, применением новых способов получения капель (например, дозированным испарением капель лазерным лучом). Все это предопределяет отличия в реализации таких ЭКСРУ, причем, если в ЭКСРУ с эмиссией капель электро-

статическим полем информативным параметром является величина напряжения на отклоняющих электродах при постоянном заряде капли $q_k = \text{const}$, то в устройствах с эмиссией капель высоким постоянным давлением с синхронизацией каплеобразования информативным параметром является заряд капли (q_k изменяется в зависимости от напряжения на заряжающих электродах), а напряжение на отклоняющих электродах остается постоянным. В ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением и электростатической модуляцией для получения полутонных и штриховых изображений можно менять величину заряжающего, отклоняющего и фокусирующего электрических полей. Конечно, можно управлять отклонением капель и изменением массы капли m_k при $q_k = \text{const}$, тем самым изменяя удельный заряд капли. Эту возможность при реализации ЭКСРУ можно положить в основу управления процессом печати или иметь ее в виду как источник возможного ухудшения качества регистрации информации (образование фона) за счет образования сателлитов основных капель.

Все типы ЭКСРУ многофункциональны и могут быть применены для регистрации знаковой информации (рис. 1.13), в качестве графопостроителей и выводных устройств САПР, для регистрации полутонных и цветных изображений в различных технических приложениях для различных отраслей промышленности. Конечно, параметры данных устройств будут определяться принятым способом эмиссии капель, что в каждом отдельном случае предопределяет выбор того или иного типа ЭКСРУ.

Для передачи полутонных в одних случаях изменяют диаметр отпечатка изменением диаметра капель или слиянием нескольких капель в полете. В других реализациях изменяют число и расположение капель на элементарной площадке запечатываемой поверхности. Для регистрации цветных изображений печатающая головка содержит четыре сопла с чернилами основных или дополнительных цветов (плюс черные чернила). Цветная печать осуществляется одновременным запечатыванием точки носителя информации четырьмя цветными каплями таким образом, чтобы смешение капель данных цветов происходило в выбранной точке запечатываемой поверхности.

Регистрация информации может производиться во времени последовательно или параллельно. Последний вариант определяет применение многосопловых печатающих головок, с помощью которых можно сразу печатать строку информации или запечатывать заданную поверхность (страницу и т. п.).

ЭЛЕКТРОКАПЛЕСТРУЙНЫЕ РЕГИСТРИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА С ЭМИССИЕЙ КАПЕЛЬ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ ПОЛЕМ

Принципиальной отличительной особенностью ЭКСРУ от других типов безударных регистрирующих устройств является использование капель чернил (краски) для процесса регистрации информации. Применение специальных красок в ЭКСРУ будет оговариваться особо.

На процессы каплеобразования и сообщение зарядов каплям в ЭКСРУ решающую роль играют физико-химические свойства чернил, и прежде всего такие, как электропроводность, поверхностное натяжение, диэлектрическая проницаемость, вязкость. В свою очередь, характер сил, вызывающих каплеобразование, определяется принятым способом эмиссии капель в ЭКСРУ.

2.1. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ КАПЛЕОБРАЗОВАНИЯ И СООБЩЕНИЯ ЗАРЯДА КАПЛЯМ ЧЕРНИЛ (КРАСКИ) В ЭКСРУ С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ЭМИССИЕЙ КАПЕЛЬ. ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ

Явление распыления жидкостей в электрическом поле было известно еще в 1745 г. [19], хотя его систематическое изучение началось значительно позже: с 60-х годов настоящего столетия для получения монодисперсного аэрозоля и для электростатического распыления [19] при применении в окрасочных устройствах [8].

В ЛПИ им. М. И. Калинина проведены исследования эмиссии капель в электростатическом поле применительно к электрокаплеструйным регистрирующим устройствам [24], в которых, как уже указывалось выше, для обеспечения требуемого качества печати и быстрогодействия необходимо получить прямолинейную струю монодисперсных униполярно заряженных капель с максимальной частотой и стабильностью каплеобразования, диаметра, заряда, скорости капель и интервала между каплями. Именно эти требования определили специфику и направленность проведенных исследований, поскольку полученные результаты по распылению жидкостей в электростатическом поле применительно к

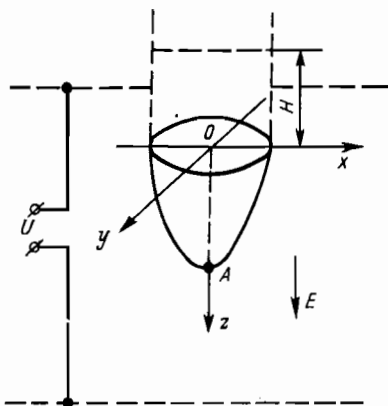


Рис. 2.1. Модель печатающей головки для оценки влияния параметров чернил на процесс эмиссии капель в электростатическом поле

вязкости) при формулировке требований к чернилам ЭКСРУ. Необходимо, конечно, учитывать особенности и принципы действия работы ЭКСРУ с электростатическим отклонением заряженных капель чернил. И если при электроописке стремятся сообщить такой заряд капле, чтобы заряженная капля, потеряв устойчивость, распадалась на более мелкие капли, то при электрокапельной регистрации информации последнее является недопустимым (в данном типе ЭКСРУ), хотя для снижения напряжения на отклоняющих электродах желательно также сообщить максимальный заряд капле, но такой, чтобы заряженная капля была устойчива в процессе полета к носителю информации.

В ЭКСРУ с эмиссией капель электростатическим полем (ЭКСРУ ЭП) избыточное давление в сопле с чернилами выбирается таким, чтобы на выходе сопла образовывался только мениск, но чернила при этом не вытекали из сопла. Следовательно, необходимое давление невелико и, как правило, составляет сотни паскаль.

Для качественной оценки влияния физико-химических свойств чернил на процессы эмиссии капель по аналогии с методикой, рассмотренной в работе [8], предположим, что мениск чернил имеет форму полуэллипсоида вращения. Считаем также, что сопло закреплено вертикально на плоском металлическом основании и направлено вниз своим выходным концом, а ускоряющий электрод также выполнен в виде плоскости (рис. 2.1). Тогда для такой модели можно записать:

а) условие отрыва капли от сопла $F_{3z} + F_g \geq F_\alpha$, или

$$\frac{\pi \epsilon_0 b^4 E_p^2}{2a^2 e^2 x^2} \left(\frac{2}{e} \ln \frac{a}{b} - 1 \right) + \frac{2}{3} \pi a b^2 \rho g \geq 2\pi \alpha b; \quad (2.1)$$

б) условие нарушения устойчивости поверхности жидкости в точке А на конце мениска $p_3 + p_h \geq p_\alpha$, или

$$\frac{\epsilon_0 E_p^2}{2x^2} + h \rho g \geq \frac{2\alpha a}{b^2}, \quad (2.2)$$

где F_{3z} , F_g , F_α — действующие на мениск электрические силы, силы тя-

жести и поверхностного натяжения; p_z, p_h, p_a — давления на конце мениска (точка А, рис. 2.1), обусловленные силами электрического поля, гидростатического давления столба жидкости и силами поверхностного натяжения; ϵ_0 — электрическая постоянная (диэлектрическая проницаемость вакуума); a, b — большая и малая полуоси эллипсоида вращения; E_p — напряженность равномерного поля при отсутствии эллипсоида чернил; χ — коэффициент деполяризации эллипсоида относительно оси z (рис. 2.1); e — эксцентриситет эллипсоида; α — коэффициент поверхностного натяжения; h — высота столба чернил; ρ — плотность жидкости; g — ускорение свободного падения.

Эти два условия при приложении напряжения к электродам начинают работать одновременно. Однако при функционировании печатающей головки для различных чернил выполняется только одно из них в зависимости от того, какое неравенство будет выполнено раньше при увеличении напряженности поля. Если раньше выполняется условие (2.1), то мениск чернил, вытягиваясь в электрическом поле, будет разрываться у основания, образуя при этом крупную каплю. Если же раньше выполняется условие (2.2), то при увеличении напряженности поля до определенной величины нарушается устойчивость конца мениска чернил и из него выбрасывается тонкая струйка, которая в дальнейшем или дробится на следующие друг за другом капли приблизительно одного размера (монодисперсные капли), или распыляется в виде факела в зависимости от свойств чернил и выбранного режима работы. Проведенные эксперименты [8, 19] с различными жидкостями, проводимость у которых менялась в широких пределах — $\gamma \in [10^{-16}; 10^{-3}]$ См/м — показали, что для одних жидкостей раньше (с момента возрастания напряженности поля) выполняется условие (2.1), а для других — условие (2.2) в зависимости от величины γ .

Показано [8], что при этом на параметры каплеобразования существенное влияние оказывает коэффициент поверхностного натяжения α . Для жидкостей с малым коэффициентом поверхностного натяжения, у которых

$$\alpha < \alpha_{кр} = \frac{b^2}{2a} \left(\frac{\epsilon_0 E_k^2}{2\chi^2} + hg\rho \right), \quad (2.3)$$

сначала выполняется условие (2.2) и происходит выброс тонкой струйки жидкости из конца мениска при напряжении $U = U_{мин}$. В противном случае ($\alpha > \alpha_{кр}$) нарушается устойчивость у основания мениска и образуются существенно большие капли. В выражении (2.3) E_k — напряженность равномерного поля (рис. 2.1), при котором возникает коронный разряд. При дальнейшем увеличении напряжения на электродах ($U > U_{мин}$) для жидкостей с коэффициентом поверхностного натяжения $\alpha < \alpha_{кр}$ характер распыления зависит от удельной проводимости. При $\gamma = 1 \cdot 10^{-6}$ См/м имеем пульсирующий режим распыления жидкости, не пригодный для работы ЭКСРУ ЭП.

Образование монодисперсных капель при дроблении тонкой струйки жидкости, вырывающейся из кончика мениска жидкости при $\alpha < \alpha_{кр}$,

имеет место для жидкостей с удельной проводимостью в пределах $[6 \cdot 10^{-8}; 1 \cdot 10^{-7}]$ См/м только в относительно узком диапазоне изменения напряжения на электродах сверх $U_{\min}$. Следовательно, для уменьшения диаметра капель в ЭКСРУ целесообразно в ряде случаев выбирать чернила на диэлектрической основе, при этом устойчивость конца мениска нарушается в электрическом поле, из мениска выбрасывается тонкая струйка чернил, которая в дальнейшем дробится на монодисперсные капли (см. рис. 1.7, в). При этом упрощается изготовление сопл с малым диаметром, так как роль эквивалентного диаметра играет диаметр поверхности мениска, из которого вырывается тонкая струйка чернил. Частота каплеобразования в этом случае достигает 35 кГц. Однако все вышесказанное требует разработки специальных чернил.

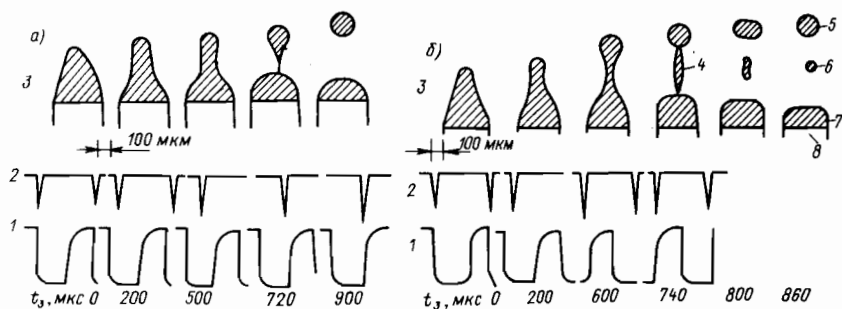
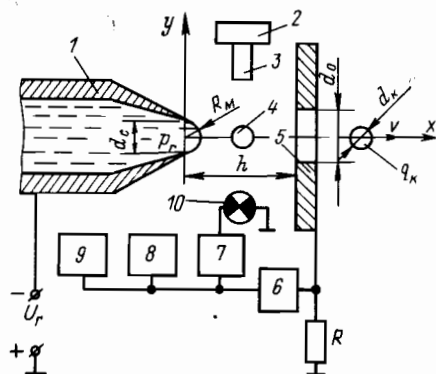
Естественно, разработчики ЭКСРУ параллельно стали искать возможность применения в электрокапеструйных регистрирующих устройствах чернил, изготовленных на базе серийно выпускаемых чернил на водной основе (например, отечественных чернил типа «Радуга»). Однако проводимость таких чернил относительно велика, а коэффициент поверхностного натяжения больше критического, определенного из формулы (2.3). Последнее решающим образом влияет и на характер каплеобразования, поскольку в данном случае $U_* < U_{\min}$ и сначала выполняется условие (2.1), а следовательно, коронный разряд с вершины предшествует нарушению ее устойчивости и исключает выброс тонкой струи. В результате нарушается устойчивость у среза сопла. Капли отрываются от сопла, причем имеют больший диаметр, чем у чернил на диэлектрической основе. Однако имеется целый ряд преимуществ чернил на водной основе, которые и определили их широкое использование в ЭКСРУ. Имея большую проводимость, капли чернил на водной основе приобретают больший разряд, а следовательно, снижаются требования к максимальной величине напряжения на отклоняющих электродах (см. рис. 1.7, а) и упрощается конструкция соответствующих блоков ЭКСРУ. В свою очередь, поскольку коронный разряд с конца мениска предшествует образованию капли, то получаемые при этом импульсы тока можно использовать для получения информации по каплеобразованию с целью синхронизации работы отклоняющих систем, лентопротяжных механизмов и других элементов ЭКСРУ. В ряде случаев требуется регистрировать информацию с относительно большой толщиной знаков (например, при клеймении кож и т. п.). Для этого можно использовать капли большого диаметра. Поэтому здесь вопросы уменьшения диаметра капель становятся неактуальными, что предопределяет использование чернил на водной основе.

Влияние электрических, гидравлических, физико-химических и конструктивных параметров на эмиссию капель обычной воды и водных чернил в электростатическом поле исследовалось на лабораторной установке, представленной на рис. 2.2 [24]. Эмиттер капель 4 состоит из капиллярного сопла 1, к которому под гидростатическим давлением p_r подается жидкость, и ускоряющего (клапанного) электрода 5. К ним прикладывается высокое постоянное напряжение U_r . С сопротивления R , выполняющего роль датчика каплеобразования, сигнал через формиро-

Рис. 2.2. Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования эмиссии капель чернил на водной основе

Рис. 2.3. Стадии каплеобразования в ЭКСРУ ЭП без сателлитов (а) и с сателлитами (б):

1 — осциллограммы отрицательных импульсов коронного разряда; 2 — осциллограммы стробирующих импульсов ($t_{\text{ст}} = 10 \text{ мкс}$); 3 — стробоскопические изображения каплеобразования; 4 — перешеек; 5 — капля; 6 — сателлит; t_3 — время задержки стробирующего импульса относительно начала коронного разряда; 7 — мениск



ватель 6 поступает на частотомер 8 типа ЧЗ-38, осциллограф 9 типа С1-19 и стробоскопическую приставку. В нее входят генератор прямоугольных импульсов 7 типа Г5-15, выполняющий роль регулируемой линии задержки, тиратрон 10 типа МТХ-90, используемый как импульсный источник света, микроскоп 3 типа МПБ-2 и фотоаппарат 2 типа «Зенит Е».

Анализ стробоскопических изображений каплеобразования, полученных методом импульсной микрофотографии, осциллограмм импульсов коронного тока (рис. 2.2) и других характеристик позволил получить следующую картину процесса эмиссии капель. В исходном состоянии $U_r = 0$ (рис. 2.3) на торце сопла образуется мениск, который из-за равенства гидростатического и лапласовского (обусловленного силами поверхностного натяжения) давлений находится в покое. Размер мениска зависит от гидростатического давления, которое по уровню чернил и выходному давлению выбирается из определенного диапазона, при котором в процессе эмиссии капля ($U_r \neq 0$) не образуется сателлитов. Если в схеме эмиттера капля имеет устройство для поддержания постоянного давления чернил в сопле, то статические ЭФ ПРЭС могут быть исключены из структуры эмиттера.

Если к мениску жидкости, находящемуся в состоянии покоя из-за равенства гидростатического p_r и лапласовского p_n давлений, приложить высокое постоянное напряжение, то под действием электростатической индукции на мениске наведется поверхностный заряд с максимальной

плотностью у вершины, возникнет пондеромоторная сила и мениск будет вытягиваться в конус. При этом возрастает кривизна мениска, уменьшается межэлектродное расстояние h , что вызывает увеличение напряженности электрического поля, и в момент выполнения условия $E = E_k$ возникает коронный разряд (рис. 2.3, $t_3 = 0$). Здесь E_k — начальная напряженность возникновения коронного разряда с конца мениска. Если приложенное напряжение не превышает определенной величины $U_{к1}$, то корона сразу гаснет, что объясняется уменьшением напряженности электрического поля за счет введения в межэлектродный промежуток объемного заряда и уменьшения кривизны мениска из-за взаимодействия его поверхностных зарядов. Мениск под действием лапласовского давления, достигшего максимального значения, стремится минимизировать свою потенциальную энергию и устремляется к положению равновесия. Начинаются периодические колебания мениска с образованием импульсов коронного разряда на каждый период без эмиссии капель.

Если выполняется условие возникновения развитой короны $U > U_{к1}$, то поверхность коронирования на вершине вытянутого в конус мениска увеличивается. При этом в пределах поверхности коронирования стабилизируется значение напряженности и, как следствие, — поверхностная плотность зарядов и пондеромоторной силы. В результате взаимодействия поверхностных зарядов радиус вершины мениска увеличивается. Это вызывает уменьшение лапласовского давления, и в момент выполнения условия $f_{кc} > f_{л} - f_{г}$ (где $f_{г}$, $f_{л}$ — поверхностные плотности сил гидростатического и лапласовского давления, $f_{кc}$ — поверхностная плотность кулоновской силы притяжения к ускоряющему электроду типа плоскость с отверстием) из мениска начинает вытягиваться капля (рис. 2.3, $t_3 = 200$ мкс), а оставшаяся часть мениска стремится к положению равновесия. В момент отрыва капли корона гаснет (рис. 2.3, а, $t_3 = 720$ мкс; рис. 2.3, б, $t_3 = 740$ мкс), так как уменьшается кривизна мениска и не выполняется условие коронирования. Далее процесс эмиссии капель периодически повторяется.

При дальнейшем увеличении напряжения до определенной величины $U_{к2}$ выполняется условие коронирования со значительной части неподвижного сфероидального мениска, колебания которого прекращаются, периодическая корона переходит в стационарную и эмиссии капель не происходит. При последующем увеличении напряжения в момент выполнения условия $F_{к} > F_{п}$ (где $F_{к}$ — кулоновская сила, действующая на мениск, $F_{п}$ — суммарная сила поверхностного натяжения мениска) с торца сопла начинают периодически отрываться крупные капли.

Таким образом, необходимым условием эмиссии монодисперсных заряженных капель является выбор напряжения из промежутка

$$U_{г} \in (U_{к1}; U_{к2}).$$

Каплеобразование существенно зависит от гидростатического давления $p_{г}$ (рис. 2.4, в). Установлен диапазон $p_{г} \in (p_{г\min}; p_{г\max})$ устойчивого каплеобразования, причем он зависит от диаметра сопла и изменяется от сотен до тысяч паскаль. Например, для сопла диаметром 0,275 мм $p_{г\min}$ составляет 200 Па, а $p_{г\max} = 400$ Па.

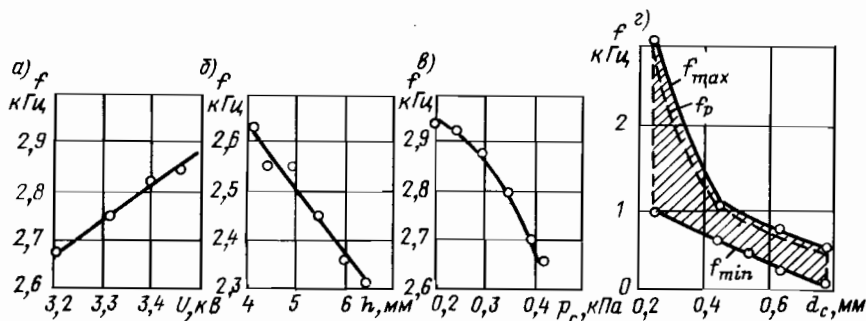


Рис. 2.4. Зависимость частоты каплеобразования от напряжения (а), межэлектродного расстояния (б), гидростатического давления (в) и область изменения для разных диаметров сопел (г): а, б, в — $d_c = 0,275$ мм; а — $p_r = 0,3$ кПа, $h = 2,9$ мм; б — $p_r = 0,4$ кПа, $U = 3,8$ кВ; в — $l = 4,8$ мм, $U = 3,75$ кВ; $f_{\max}$, $f_{\min}$ и f_p — максимальная, минимальная и расчетная частоты каплеобразования

Для $p_r < p_{r\min}$ существует режим, где начинаются высокочастотные колебания мениска с образованием коронных разрядов без эмиссии капель. В точке $p_{r\min}$ начинается генерирование мелких капель. С началом эмиссии оказалось возможным увеличить p_r выше $p_{r\max} = 4\alpha/d_c$, где α — коэффициент поверхностного натяжения, что было невозможно в исходном состоянии при $U=0$ из-за самопроизвольного вытекания жидкости из сопла. При достижении давления $p_{r\max}$ амплитуда колебаний мениска настолько увеличивается, что при формировании капли и возвращении мениска к положению равновесия между ними образуется перешеек, из которого формируется дополнительная мелкая капля (сателлит) (рис. 2.3, б, $t_s = 740$ мкс). При дальнейшем увеличении p_r эмиссия капель продолжается, но она сопровождается обильным брызгообразованием, так как из перешейка образуется семейство разноразмерных сателлитов.

Таким образом, необходимым и достаточным условием эмиссии монодисперсных заряженных капель является выбор рабочего режима из диапазонов:

$$U_{r\min} = U_{x1} < U_r < U_{r\max} = U_{x2}; \quad (2.4)$$

$$p_{r\min} \leq p_r < p_{r\max}. \quad (2.5)$$

Установлено, что с увеличением давления в рамках его рабочего диапазона (2.5) стабильность каплеобразования и, следовательно, качество печати улучшаются. Последнее, в частности, объясняется уменьшением влияния на параметры каплеобразования лапласовского давления. Чтобы исключить случайные флуктуации давления, снижающие качество печати, предусматривают соответствующие системы стабилизации давления. Для уменьшения гидравлического сопротивления сопла сокращают его рабочую длину и повышают точность и чистоту обработки рабочего канала.

Рабочий диапазон изменения напряжения (2.4) достаточен для его реализации. Например, для $d_c = 0,45$ мм рабочий диапазон напряжения

U_r составляет, как показали эксперименты, $U_r \in [3,7; 4,1]$ кВ. Экспериментально установлено, что с уменьшением диаметра сопла d_c , угла заточки, рабочей длины l_c , межэлектродного расстояния h , диаметра отверстия в ускоряющем электроде (см. рис. 2.2) и коэффициента α поверхностного натяжения рабочее напряжение, необходимое для создания устойчивой периодической короны, сопутствующей эмиссии капель, уменьшается. Это лежит в основе выбора названных параметров. В частности, на основании вышесказанного и необходимой жесткости сопла угол его заточки целесообразно выбирать в пределах $10-30^\circ$.

Минимальное напряжение $U_{r\min}$ на электродах генератора капель при $p_r = \text{const}$ можно определить исходя из линейной теории гидродинамической устойчивости полусферического мениска проводящей жидкости аналогично устойчивости сферической проводящей заряженной капли, рассмотренной Рэлеем.

Если каплеобразование происходит в воздухе, то максимальная частота каплеобразования

$$f = 1,5 \sqrt{\alpha / \rho d_c^3}, \quad (2.6)$$

где для воды $\alpha = 72 \cdot 10^{-3}$ Н/м; d_c — периметр смачивания сопла; ρ — плотность жидкости.

Выражение (2.6) хорошо согласуется с результатами экспериментов для чернил на водной основе [2, 24, 25].

Для стабилизации процесса каплеобразования, т. е. повышения качества печати, требуется, чтобы коронный разряд возникал с ограниченной поверхности жидкости. Поэтому необходимо конструктивные параметры сопла и ускоряющего клапанного электрода (см. рис. 1.7 и 2.2) иметь такими, чтобы создать резко неоднородное электрическое поле, характеризующееся коэффициентом неоднородности $k_n = E_{\max} / E_{\text{ср}}$, где $E_{\max}$, $E_{\text{ср}}$ — наибольшая и средняя напряженности электрического поля в межэлектродном промежутке.

Экспериментально снятые характеристики показали, что увеличение диаметра капель d_k можно получить за счет увеличения приложенного напряжения, уменьшения межэлектродного расстояния или увеличения гидростатического давления (рис. 2.5).

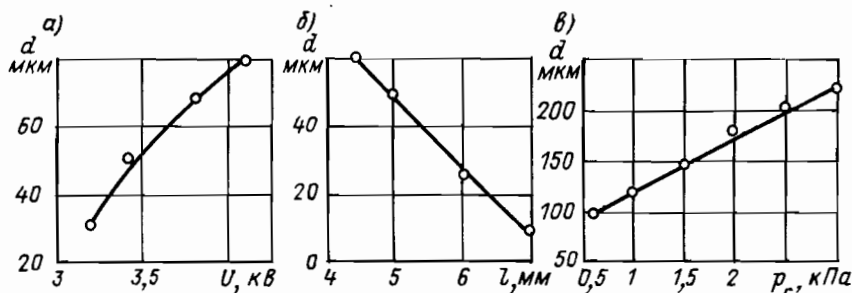


Рис. 2.5. Зависимость диаметра капель в ЭКСРУ ЭП от напряжения (а), межэлектродного расстояния (б) и гидростатического давления (в): а, б — $p_r = 0,4$ кПа, $d_c = 0,275$ мм; а — $h = 5$ мм; б — $U = 3,6$ кВ; в — $U = 3,8$ кВ, $h = 6$ мм, $d_c = 0,45$ мм

Максимальный заряд капли $q_{\max}$ находится из критерия устойчивости Рэлея для заряженной сферической капли

$$q_{\max} \leq \sqrt{8\pi^2 \epsilon_0 \alpha d_k^3}, \quad (2.7)$$

где d_k — диаметр капли.

При $q > q_{\max}$ поверхность капли теряет устойчивость и из капли выбрасывается одна или несколько заряженных капель.

Результаты исследований показывают, что в данном типе ЭКСРУ заряд капель чернил значительно меньше заряда, вычисленного по формуле (2.7). С увеличением коэффициента поверхностного натяжения α предельный заряд капли (2.7) увеличивается. Поэтому ЭКСРУ с использованием чернил на водной основе в этом отношении имеют преимущества перед другими типами рабочей жидкости, поскольку α у водных чернил оказывается наибольшим. Последнее обстоятельство позволяет существенно упростить отклоняющий блок ЭКСРУ, используя относительно низкие уровни отклоняющих напряжений.

Аналитическое выражение для определения фактического заряда капли q_k записываем по аналогии со структурной формулы Потенье, предусматривающей возможность ионной дозарядки капли во внешней области коронного разряда. Учитываем, что напряженность поля на конце мениска проводящих чернил ограничена величиной E_k , поэтому для заряда капли имеем

$$q_k = k \pi \epsilon_0 E_k d_k^2, \quad (2.8)$$

где k — коэффициент, зависящий от типа чернил и конфигурации ускоряющих электродов (определяется, как правило, экспериментально).

Для чернил на водной основе с ускоряющими электродами сопло — мениск — плоскость с отверстием $k=0,34$. Например, для $d_c=0,85 \times 10^{-3}$ м, $h=6 \cdot 10^{-3}$ м, $U_r=3,8 \cdot 10^4$ В, $d_k=0,1 \cdot 10^{-3}$ м (см. рис. 2.2) заряд, вычисленный по выражению (2.8), $q_k=1,85$ пКл, в то время как экспериментально определенный заряд капли составил 1,86 пКл.

Для оптимизации отклоняющей системы ЭКСРУ необходимо стремиться увеличить удельный заряд капли q_k/m_k , где m_k — масса капли.

Для выбора рабочего диапазона (2.4) изменения напряжения на электродах сопло — плоскость с отверстием при синтезе ЭКСРУ ЭП необходимо установить аналитические зависимости, связывающие начальное напряжение возникновения коронного разряда U_k с конца мениска жидкости с конструктивными параметрами каплеобразующей системы. Сопло с мениском чернил в первом приближении (с учетом того, что имеем проводящие чернила) можно рассматривать как игольчатый электрод, радиус закругления которого равен радиусу закругления конца мениска чернил. Поскольку предполагается, что до возникновения коронного разряда объемной плотностью заряда в межэлектродном промежутке каплеобразующей системы (см. рис. 1.7) можно пренебречь, то распределение потенциала электрического поля находим из решения уравнения Лапласа при граничных условиях, соответствующих заданным напряжениям на электродах.

Начальное напряжение U_k возникновения короны при выбранных параметрах сопла и ускоряющего (клапанного) электрода определяется напряженностью электрического поля в непосредственной близости от мениска проводящих чернил, которая здесь максимальна.

Результаты аналогового моделирования электростатических полей реальных электродных систем (см. рис. 1.7 и 2.2) в электролитической ванне по методу К. С. Демирчяна [12] показали, что изменение диаметра отверстия ускоряющего электрода в широком диапазоне не оказывает заметного влияния на распределение напряженности поля в непосредственной близости от кончика мениска чернил и этим влиянием можно пренебречь. Поэтому расчетную модель системы электродов ЭКСРЭ ЭП удобно представить в виде софокусных гиперboloидов вращения, наиболее узкий из которых аппроксимирует сопло с мениском чернил (иглычатый электрод), а второй выродился в плоскость, не имеющую отверстия (рис. 2.6). Тогда для распределения напряженности поля по центральной силовой линии имеем

$$E(x) = \frac{2a_1 U}{(a_1^2 - x^2) \ln [(a_1 + h_0)/(a_1 - h_0)]}, \quad (2.9)$$

где $0 \leq x \leq h_0$, $x = h_1$; a_1 — расстояние от фокуса гиперboloида вращения до плоскости.

Максимальная напряженность электрического поля $E_{\max}$ будет иметь место на конце мениска чернил при $x = h_0$ (рис. 2.6). Тогда выражение для нахождения начального напряжения возникновения короны на ме-

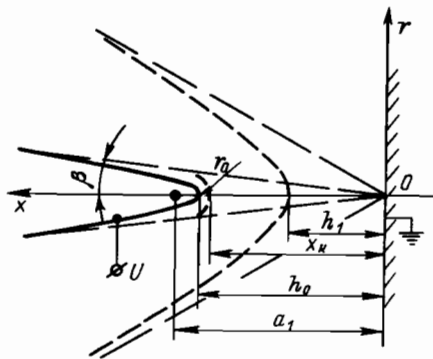
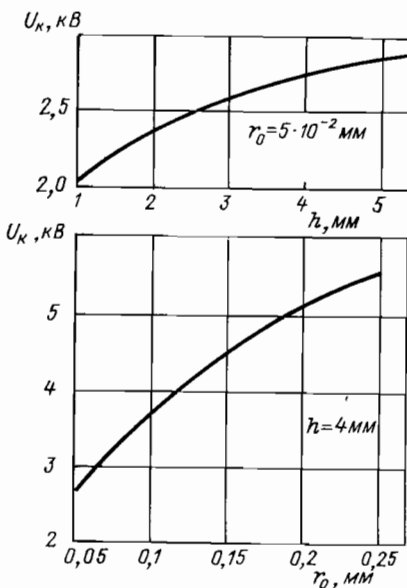


Рис. 2.6. Модель расчета начального напряжения возникновения короны на мениске проводящих чернил эмиттера капель

Рис. 2.7. Зависимость начального напряжения от радиуса закругления мениска чернил и расстояния между мениском и ускоряющим электродом эмиттера капель



ниске проводящих чернил, при котором обеспечивается выполнение условия самостоятельности коронного разряда

$$\left(\frac{A^2 U_k^2}{4a_1^3} + \frac{ABU_k}{a_1} \right) \ln \frac{(a_1 + h_0)(a_1 - x_k)}{(a_1 - h_0)(a_1 + x_k)} + \frac{A^2 U_k^2}{2a_1^2} \times \\ \times \left(\frac{h}{a_1^2 - h_0^2} - \frac{x_k}{a_1^2 - x_k^2} \right) + B^2(h_0 - x_k) = \frac{K\rho_{\text{отп}}}{a'}, \quad (2.10)$$

где

$$x_k = \sqrt{a_1^2 - AU/B}; \quad A = \frac{2a_1}{\ln [(a_1 + h_0)/(a_1 - h_0)]}; \quad B = c'\rho_{\text{отп}}; \\ a_1 = \sqrt{h_0^2 + r_0 h_0}. \quad (2.11)$$

Аппроксимирующий гиперboloид вращения с фокусом (2.11) выбирается по реальным величинам r_0 и h_0 конца мениска чернил и его расстояния до ускоряющего электрода.

Для воздуха при нормальном атмосферном давлении 101,3 кПа и температуре 293 К в выражении (2.10) $\rho_{\text{отп}} = 1$, $K/a' = 42,25 \cdot 10^8$ В²/м, $c' = 24,5 \cdot 10^5$ В/м, $a' = 0,2 \cdot 10^{-8}$ м/В². Полученное выражение (2.10) громоздко для вычислений, и поэтому при определении U_k целесообразно использовать вычислительную технику. На рис. 2.7 представлены результаты [3, 1] решения уравнения (2.10) для воздуха при нормальных условиях методом подбора на ЭЦВМ «Мир-2», которые позволяют выбрать основные параметры электродных систем эмиттера ЭКСРУ с электростатической эмиссией капель.

Величину U_{k1} в (2.4) находят из (2.10) при

$$r_0 = r_{0\text{min}} \approx \frac{\varepsilon_0 U^2}{\alpha [\ln(16h/r_c)]^2},$$

где $r_{0\text{min}}$ — минимальный радиус закругления мениска после потери его устойчивости в электрическом поле; U_{k2} находят из (2.10) при $r_0 = r_c$, где r_c — радиус сопла.

2.2. РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА ЭЛЕКТРОКАПЛЕСТРУЙНОЙ РЕГИСТРАЦИИ ИНФОРМАЦИИ С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ЭМИССИЕЙ КАПЕЛЬ

Экспериментально снятые характеристики показали, что увеличение диаметра капель d_k можно получить за счет увеличения приложенного напряжения или уменьшения межэлектродного расстояния или увеличения гидростатического давления (см. рис. 2.5). Это подтверждает сделанный по стробограммам и осциллограммам вывод о том, что диаметр

капли пропорционален интенсивности короны, определяемой отношением U/U_k , и в первом приближении характеризуется диаметром поверхности коронирования.

Анализ стробоскопических изображений каплеобразования (см. рис. 2.3), а также зависимости его частоты от электрических, гидравлических и конструктивных параметров генератора капель (см. рис. 2.4) показал, что частота каплеобразования обратно пропорциональна амплитуде колебаний мениска [24]. Следовательно, для ее увеличения амплитуду колебаний мениска нужно уменьшать за счет выбора минимального диаметра сопла, уменьшения гидростатического давления или увеличения интенсивности короны. Для расчета частоты колебаний мениска и каплеобразования можно воспользоваться формулой Рэлея [34], выведенной для частоты собственных колебаний капли под действием сил поверхностного натяжения. Для чернил на водной основе справедливо выражение (2.6).

Следовательно, на частоту каплеобразования решающим образом влияет диаметр сопла (периметр смачивания). Для увеличения f_k необходимо уменьшить диаметр сопла или использовать чернила (краски) с большим коэффициентом поверхностного натяжения. Вода имеет большой коэффициент поверхностного натяжения ($\alpha = 72 \cdot 10^{-3}$ Н/м), поэтому целесообразно применять чернила на водной основе.

На рис. 2.4, г представлена экспериментально снятая область изменения частоты каплеобразования в зависимости от диаметра сопла, гидростатического давления и напряжения. Как видно, формула (2.6) достаточно точно описывает верхнюю границу частоты каплеобразования. Эксперименты показали [2], что для каждого диаметра сопла имеются свои диапазоны режимных и выходных параметров (рис. 2.8): $U \in (U_{k1}; U_{k2})$, $p_r \in (p_{r \min}; p_{r \max})$, $d_k \in [d_{k \min}; d_{k \max}]$, $f_k \in [f_{k \min}; f_{k \max}]$.

На основании анализа полученных результатов можно выделить следующие характерные режимы работы генератора капель. Давление p_{r1} соответствует началу стабильных автоколебаний мениска жидкости с коронными разрядами на каждый период, но без каплеобразования (до p_{r1} отсутствуют автоколебания мениска, коронные разряды и отрыв капель). Данный режим продолжается до давления p_{r2} — давления начала каплеобразования, когда происходит отрыв капель от вершины колеблющегося мениска. Частота каплеобразования f_k далее практически линейно изменяется до давления p_{r3} (рис. 2.8, а). При дальнейшем увеличении давления ($p_r > p_{r3}$) скорость изменения частоты f_k каплеобразования уменьшается. Давления p_{r3} , p_{r4} соответствуют границам области криволинейного изменения частоты каплеобразования. На участке от p_{r4} до p_{r5} частота f_k опять практически линейно изменяется при изменении p_r и наблюдается высокая стабильность частоты каплеобразования и параметров капель. При давлении $p_r \geq p_{r5}$ происходит образование брызг из перемычек между каплями и мениском (см. рис. 2.3, б), т. е. образуются один или более сателлитов. На рис. 2.8, а U_{r1} — напряжение начала устойчивого коронирования с частотой каплеобразования; U_{r2} — напряжение на границе области криволинейного изменения частоты

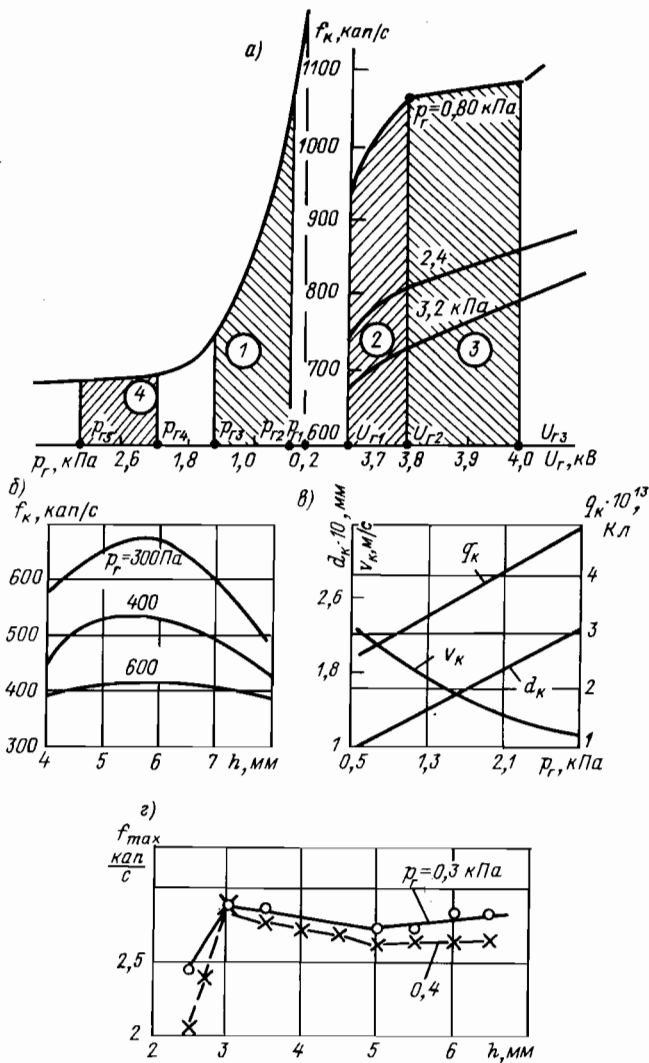


Рис. 2.8. Статические характеристики эмиттера ЭКРП с электростатической эмиссией капель: а — зависимость частоты каплеобразования от гидростатического давления ($U_r = 3.8$ кВ, $d_c = 0.48$ мм, $h = 6$ мм) и от напряжения ($d_c = 0.45$ мм, $h = 6.5$ мм); б — зависимость частоты каплеобразования от межэлектродного расстояния ($U_r = 4.25$ кВ, $d_c = 0.45$ мм); в — зависимость диаметра d_k , заряда q_k и скорости капель v_k от гидростатического давления ($U_r = 3.8$ кВ, $d_c = 0.45$ мм, $h = 6$ мм); г — зависимость максимальной частоты каплеобразования от межэлектродного расстояния ($U_r \approx U_{к2}$, $d_c = 0.275$ мм)

каплеобразования; $U_{г3}$ — напряжение начала образования брызг с мениска из-за его многовершинного возмущения короной.

С целью повышения скорости печати генератор капель должен работать в высокочастотных областях 1, 2 (рис. 2.8, а). В этом случае нужно ввести стабилизацию частоты каплеобразования и синхронизацию работы отклоняющей системы от импульсов коронного тока. Быстродействие ЭКСРУ можно увеличить за счет оптимального выбора межэлектродного расстояния h на основании рис. 2.8, б. Повышению быстродействия способствует также применение чернил с большим коэффициентом поверхностного натяжения, чему удовлетворяют чернила на водной основе.

Для улучшения качества печати нужно исключить образование брызг, т. е. обеспечить выполнение условий $p_r < p_{г5}$, $U_r < U_{г3}$. Качество отпечатков зависит также от стабильности параметров каплеобразования f_k , d_k , q_k , v_k . Для этого целесообразно обеспечить экранирование, термостатирование, устранение вибраций, чистоту и точность изготовления печатающей головки. Простые ЭКСРУ с хорошим качеством печати при удовлетворительном быстродействии можно создать в том случае, если генератор капель работает в областях 3, 4 (рис. 2.8, а).

Изменяя давление (рис. 2.8, в) и напряжение при постоянном диаметре сопла, можно управлять диаметром капель, т. е. плотностью и толщиной обводки знаков. При этом можно применять сопла с большим диаметром, что упрощает их изготовление, повышает их жесткость, исключает засорение, снижает требования к чистоте чернил, т. е. повышает надежность ЭКСРУ.

На рис. 2.8, г представлена экспериментально снятая зависимость [3] максимальной частоты каплеобразования от межэлектродного расстояния при $U_r \approx U_{к2}$ и диаметре отверстия в ускоряющем электроде $d_0 = 3$ мм. Таким образом, при $h > d_0$ частота f_k уменьшается вследствие влияния отверстия в ускоряющем электроде на распределение напряженности электрического поля у вершины мениска. Как показали результаты аналогового моделирования, напряженность поля у вершины мениска практически не зависит от d_0 при $h < d_0$.

Нормальное функционирование ЭКСРУ с электростатической эмиссией капель предполагает наличие информации об образовании очередной капли, которую получают с соответствующих датчиков капель. Данная информация необходима для синхронизации момента подачи электрического импульса напряжения на отклоняющие электроды, чтобы отклонить конкретную каплю на заданную величину в соответствии с сигналами знакогенератора, а также для синхронизации работы стартового привода носителя информации.

Особенностью работы данного типа ЭКСРУ является то, что при отрыве капля уже имеет фиксированный заряд. Последнее обстоятельство может быть положено в основу построения датчика капель, принцип действия которого заключается в использовании явлений электростатической индукции при пролете заряженной капли мимо электродов датчика капель. В результате на электродах датчика наводится электрический заряд, который и используется как информативный параметр наличия очередной капли и величины заряда на ней. Если в качестве

электрода датчика заряженных капель использовать изолированное тонкое металлическое кольцо радиуса R и шириной h_d , то заряд q_d на кольце, наводимый летящей вдоль оси кольца заряженной каплей, определяется выражением [18]

$$q_d = \left[\frac{l + h_d/2}{2 \sqrt{(l + h_d/2)^2 + R^2}} - \frac{l - h_d/2}{2 \sqrt{(l - h_d/2)^2 + R^2}} \right] q_k, \quad (2.12)$$

где l — расстояние капли (по траектории полета вдоль оси кольца) от центра кольца; q_k — заряд капли чернил (краски).

Из формулы (2.12) следует, что при $q_k = \text{const}$ заряд на электроде датчика каплей q_d будет сильно зависеть от расстояния капли до центра кольца и имеет максимальное значение при прохождении капель центра кольцевого электрода датчика. Следовательно, при $l=0$ имеем

$$q_{d \max} = \frac{h_d q_k}{2 \sqrt{(h_d/2)^2 + R^2}}. \quad (2.13)$$

Поскольку величина $q_{d \max}$, как это показывает анализ выражения (2.13), относительно невелика, то для измерения создаваемого им потенциала требуется использовать маломощные помехозащищенные электронные усилители с большим коэффициентом усиления.

Для построения датчика каплей можно также использовать имеющее место небольшое изменение потенциала на мениске в момент отрыва капли слабопроводящих чернил (краски). Данное изменение потенциала усиливается соответствующим электронным усилителем (пат. 5518871 (Швеция), пат. 1386208 (Великобритания)] с тем, чтобы получить уровень сигнала, достаточный для управления другими элементами схем ЭКСРУ. Такой тип датчика используют для фиксации момента отрыва каплей из выбрасывающей с кольца мениска струйки специальных чернил малой проводимости, лежащей в пределах $10^{-8} - 10^{-7}$ См/м. Для усиления сигнала используются помехозащищенный усилитель и триггер Шмитта. Вход усилителя подсоединен непосредственно к высоковольтной цепи (2—5 кВ) эмиттера каплей, что создает опасность пробоя других электронных элементов при реализации датчика. Следует подчеркнуть при этом еще раз, что при каплеобразовании плохо проводящих чернил (чернил на диэлектрической основе) коронный разряд не происходит, что и предопределяет возможность применения такого типа датчика в ЭКСРУ.

Если же в ЭКСРУ с электростатической эмиссией каплей применяют хорошо проводящие чернила (чернила на водной основе), то (как уже отмечалось выше) каплеобразование сопровождается импульсами коронного разряда (см. рис. 2.3), которые можно использовать для регистрации каплеобразования. На использовании этого явления разработан принципиально новый способ (а. с. 873255 (СССР)] регистрации отрыва проводящих каплей [24, 2] без предварительного усиления сигнала датчика каплей. Между мениском и ускоряющим электродом прикладывают высо-

кое постоянное напряжение (2—5 кВ). Эксперименты, проведенные с использованием импульсной стробоскопической микрофотографии процесса каплеобразования (см. рис. 2.2, рис. 2.9), показали, что в момент подключения высокого напряжения от малоомощного источника питания (менее 1 Вт) равновесие мениска нарушается и он вытягивается в конус. В определенный момент с вершины вытянутого мениска возникает коронный разряд и на вершине мениска начинает формироваться заряженная капля. Строго в момент отрыва капли корона гаснет (рис. 2.9, а) и импульс коронного тока (1—2 мкА), выделенный на сопротивлении R (рис. 2.9, б), прекращается. Задний фронт импульса коронного тока, строго совпадающий с моментом отрыва капли, без дополнительного усиления и формирования можно непосредственно использовать для синхронизации работы. На рис. 2.9, а введены следующие обозначения: 1 — стробогрaмма начала формирования капли в момент t_1 возникновения коронного импульса; 2; 3 — стробогрaммы отрыва капли в момент t_2 окончания коронного импульса; 4 — стробирующие импульсы для импульсной микрофотографии.

На рис. 2.9, б представлена схема устройства, реализующего данный способ. Устройство состоит из сопла 1 с проводящими чернилами 2, из которых образуются капли 3, металлической пластины 6, резистора 5 и регистрирующего устройства 4. Импульс коронного разряда как сигнал отрыва капли можно снять с сопротивления R и без предварительного усиления подать на осциллограф, частотомер или (и) использовать для

управления ЭКСПУ (знакогенератора, старт-стопного лентопротяжного механизма и стробоскопической приставки).

В ряде случаев необходимо точно дозировать жидкости в очень небольших объемах. И здесь наиболее приемлем электрокапеструйный метод, поскольку при его реализации можно регистрировать момент отрыва капель стабильных микронных размеров [1], причем определение диаметра формируемых капель не представляет затруднений.

В исходном состоянии ($U_v=0$) на торце сопла 1 (рис. 2.10) образуется мениск жидкости 3, который из-за равенства гидростатического и лапласовского давлений находится в покое.

Если приложенное напряжение между жидкостью 2 и ускоряющим электродом 7 обеспечивает условие возникновения развитой короны

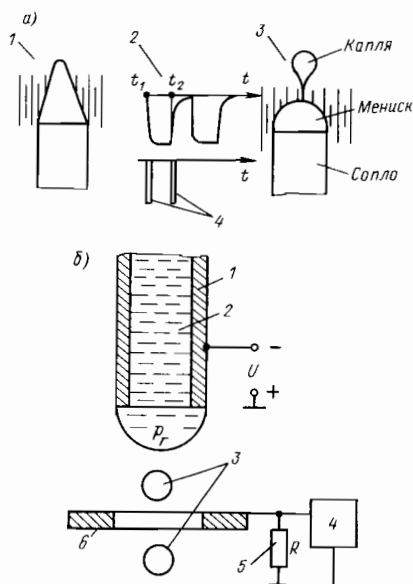


Рис. 2.9. Способ (а) регистрации капель проводящих чернил (краски) и устройство (б), его реализующее

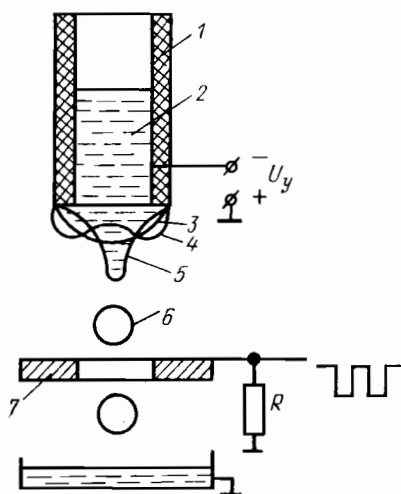


Рис. 2.10. Электрокапеструйный способ микродозирования проводящих жидкостей

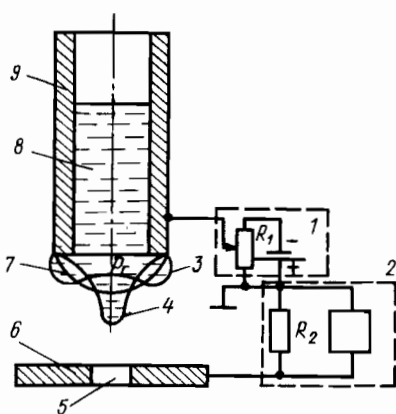


Рис. 2.11. Способ измерения гидростатического давления проводящих чернил (краски) в ЭКСРУ с электростатической эмиссией капель

$U/U_k > 1$, то на основании механизма, рассмотренного выше (см. рис. 2.3), из мениска 5 начинает вытягиваться капля ($t_3 = 200$ мкс), а остальная часть мениска стремится к положению равновесия. В момент отрыва капли корона гаснет ($t_3 = 720$ мкс). При этом заряженная капля 6 под действием электрического поля, выполняющего эмиттирующие, заряжающие и ускоряющие функции, летит к дозируемой емкости, а мениск минимизирует свою поверхностную потенциальную энергию и совершает обратное колебание до предельного положения 4. Таким образом, под действием высокого постоянного напряжения U_y и низкого гидростатического давления p_r создаются самостоятельные периодические колебания мениска. При этом на каждый период колебаний отрывается одна капля со стабильными диаметром, зарядом и скоростью, что определяет точность дозирования (при необходимости каплю отклоняют в другую емкость). Одновременно с формированием капли происходит импульс коронного разряда, который заканчивается строго в момент отрыва капли (см. рис. 2.3). Этот импульс коронного тока легко выделить на сопротивлении R (рис. 2.10) и непосредственно использовать для синхронизации работы отклоняющей системы и счетчика числа капель.

Для решения задачи регулирования гидростатического давления чернил на основе полученных результатов исследований (см. рис. 2.8, а) разработан новый способ измерения гидростатического давления чернил в сопле ЭКСРУ [а. с. 845027 (СССР)].

В основу разработанного способа положена найденная экспериментально зависимость частоты автоколебаний мениска от гидростатического давления (см. рис. 2.8, а). При этом используется линейный крутой участок характеристики. Устройство, реализующее разработанный способ (рис. 2.11), состоит из металлического сопла 9 с проводящей жидкостью 8,

образующей на торце сопла выпуклый мениск 7, металлического электрода 6 с возможным отверстием 5 для пролета капель в случае их образования, маломощного высоковольтного источника питания 1 и регистратора частоты импульсов 2. Эксперименты показали, что если между мениском проводящей жидкости 7 и электродом 6 приложить определенное постоянное напряжение, то мениск начнет самопроизвольно колебаться с постоянной частотой. Необходимое для этого напряжение зависит от межэлектродного расстояния и диаметра сопла и устанавливается потенциометром R_1 . Мениск колеблется относительно положения равновесия между предельными положениями 3 и 4. При достижении положения 4 между мениском и электродом 6 происходит коронный разряд, который создает в сопротивлении R_2 импульс тока. Эти периодические импульсы регистрируются частотомером. Экспериментально установлено, что частота автоколебаний мениска пропорциональна давлению p_r , действующему на уровне мениска [см. рис. 2.8, а, $p_r \in (p_{r1}; p_{r3})$]. Возможен также фотоэлектрический способ регистрации частоты коронных разрядов по импульсному свечению. Как было показано, при определенных сочетаниях p_r , U_r с вершины колеблющегося мениска отрываются заряженные капли, которые пролетают через отверстие 5 и не нарушают работу преобразователя. Капли можно записывать на подвижную ленту, тем самым регистрируя величину гидростатического давления (по числу капель на единице длины бумаги).

Необходимое для генерации капель в сильном электрическом поле гидростатическое давление в сопле с чернилами можно получать или с помощью специальных электрогидравлических и гидравлических схем с поддержанием постоянства перепада давлений на сопле, или с исполь-

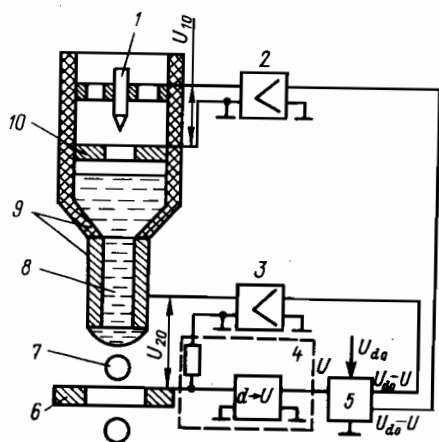


Рис. 2.12. Способ регулирования частоты каплеобразования в ЭКСРУ с электростатической эмиссией капель

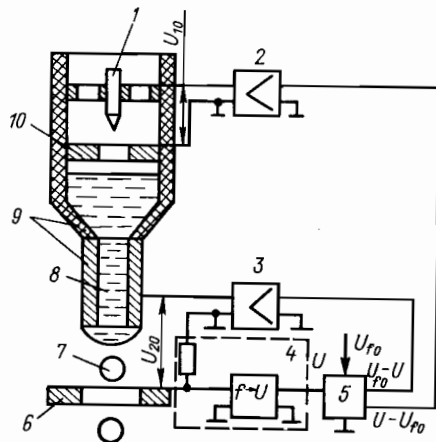


Рис. 2.13. Способ регулирования плотности и толщины обводки знаков в ЭКСРУ с электростатической эмиссией капель

1 — игла; 2, 3 — усилители-формирователи; 4 — преобразователь; 5 — устройство сравнения; 6 — ускоряющий электрод; 7 — капля; 8 — чернила; 9 — сопло; 10 — трубка

зованием статических электрогазо- и электрогидродинамических преобразователей [15]. Причем для чернил на диэлектрической основе в принципе можно использовать статические электрогидравлические преобразователи, а для чернил на водной основе — статические электропневматические преобразователи [1]. Исходя из этих предпосылок, разработан способ регулирования частоты каплеобразования [а. с. 857713 (СССР)], по которому с целью расширения функциональных возможностей и улучшения качества печати ЭКСРУ одновременно изменяют напряженность электрического поля внутри сопла с чернилами и вне его. Принципиальная схема генератора капель, реализующего данный способ, показана на рис. 2.12.

Внутри сопла над поверхностью чернил создают резко неоднородное электрическое поле между электродами 1, 10 типа игла — плоскость, с помощью которого образуют направленный униполярный поток ионов. Передавая количество своего движения, ионы, обладая массой, создают над поверхностью чернил избыточное давление и определяют параметры мениска чернил, образованного на срезе сопла. Таким образом, не требуется насос избыточного давления. Кроме того, при реализации данного способа не является принципиально необходимым даже гидростатическое давление (обусловленное весом столба чернил в сопле) и присутствующее в любом сопле с ненулевой высотой столба чернил. Следовательно, устройство, реализующее предлагаемый способ, сможет работать и в невесомости.

Генератор капель работает следующим образом. Под действием напряжений U_{10} и U_{20} , определяемых напряжением установки начальной частоты U_{j0} , между соплом 9 с чернилами 8 и электродом 6 электростатически эмиттируются заряженные капли 7 с начальной частотой f_0 . При этом напряжение U_{20} выбирается такой величины, чтобы обеспечить при воздействии на весь мениск сообщения заряда мениску и его автоколебания с отрывом на каждое колебание заряженной капли. Данная капля ускоренно движется к электроду 6 и далее к носителю информации мимо отклоняющих пластин (на рис. 2.12 не показаны). Под действием напряжения U_{10} на электродах 1, 10 ЭГД компрессор создает избыточное давление, достаточное для изменения размера мениска, но значительно меньше, чем давление, необходимое для выброса капель.

Если из-за изменения случайных факторов (параметров среды, качества чернил, состояния сопла и т. п.) частота каплеобразования f_0 , например, возрастет, то при этом увеличится сигнал на выходе преобразователя 4. На выходе устройства сравнения 5 увеличится сигнал рассогласования, который в усилителях-формирователях (преобразователях) 2, 3 усиливается и преобразуется по двум каналам в соответствии с экспериментально снятыми статическими характеристиками (см. рис. 2.4 и 2.8). При этом напряжение U_{10} увеличится, а U_{20} одновременно уменьшится. При этом частота стабилизируется на уровне f_0 , определенном величиной U_{j0} .

Приведенные выше результаты исследований позволяют по-другому подойти к управлению плотностью и толщиной обводки регистрируемой информации с помощью ЭКСРУ. Последнее достигается за счет одно-

временного изменения напряженности электрического поля внутри сопла (и, как следствие, изменения менискообразующего давления) и изменения напряженности электрического поля вне сопла в области каплеобразования, обеспечивающих, как показали эксперименты, наиболее эффективное управление диаметром капель.

На рис. 2.13 представлена схема устройства, реализующего данный способ [а. с. 795978 (СССР)]. Схема его во многом аналогична схеме устройства на рис. 2.12 с той только разницей, что вместо преобразователя частоты в нем используется преобразователь диаметра капель в напряжение 4. Кроме того, в устройстве, показанном на рис. 2.13, к усилителям-формирователям 2, 3 подаются в соответствии с характеристиками рис. 2.5 синфазные управляющие сигналы от устройства сравнения 5.

Результаты проведенного исследования уточняют механизм каплеобразования в электростатическом поле и дают возможность спроектировать рациональный эмиттер капель и печатающую головку в целом [25].

Электрокапеструйная печатающая головка (рис. 2.14) состоит из эмиттера 2, который генерирует, заряжает и ускоряет монодисперсные капли чернил и из электростатической отклоняющей системы 1, осуществляющей двухкоординатное знакоформирование. В эмиттер входят ускоряющий (клапанный) электрод 5 и покрытое водоотталкивающим слоем 4 сопло 3, куда под гидростатическим давлением p_r подаются проводящие чернила. Отклоняющая система содержит две пары пластин 6, на которые подается входное отклоняющее напряжение U_0 для формирования на носителе информации 8 матрицы знака 9. Корпус 7 выполнен металлическим и одновременно служит экраном влияния внешних полей на эмиссию капель.

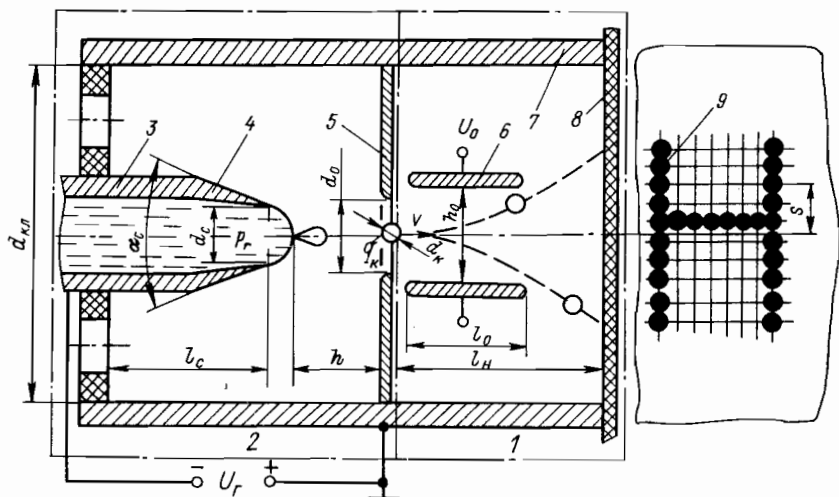


Рис. 2.14. Конструкция печатающей головки ЭКСПУ с электростатической эмиссией капель проводящих чернил (краски)

Возможности ЭКСРУ в основном определяются диаметром периметра смачивания сопла d_c , так как каждому d_c соответствуют свои пределы режимных и выходных параметров. Из выражения (2.6) следует, что для увеличения скорости необходимо уменьшить d_c за счет применения конуса с водоотталкивающим покрытием (рис. 2.14). При этом улучшается качество печати, что объясняется ослаблением влияния на каплеобразование случайных факторов.

Если при проектировании печатающей головки задается скорость печати, то d_c рассчитывается по выражению (2.6), а если исходной является толщина обводки знака или диапазон ее изменения, то d_c выбирается на основании экспериментальных данных. Так, при $d_c = 0,45$ мм наибольший диаметр капель составляет $d_{\text{кmax}} = 0,22$ мм (толщина обводки знака в 2—3 раза превышает диаметр капли).

Следующим по степени влияния на выходные параметры ЭКСРУ является гидростатическое давление p_r . Его наибольшее давление можно рассчитать по формуле $p_{r\text{max}} = 4\alpha/d_c$. Верхние пределы рабочих диапазонов давлений, полученных для каждого сопла экспериментально удовлетворительно согласуются с расчетом. Установлено, что с увеличением давления стабильность каплеобразования и, следовательно, качество печати улучшаются. Это объясняется прежде всего уменьшением влияния на параметры каплеобразования лапласовского давления. Чтобы исключить случайные флуктуации давления, снижающие качество печати, уменьшают гидравлическое сопротивление сопла. Для этого сокращают рабочую длину сопла l_c и повышают точность и чистоту обработки внутреннего канала.

Далее при проектировании печатающей головки ЭКСРУ необходимо выбрать рабочее напряжение U , обеспечивающее устойчивую периодическую корону, сопутствующую эмиссии капель. Рабочий диапазон U зависит от конструктивных параметров печатающей головки [см. выражение (2.10)].

Для стабилизации процесса каплеобразования, т. е. повышения качества печати, требуется, чтобы корона возникала в тонком слое. Поэтому необходимо создавать резко неоднородное электрическое поле, характеризующееся коэффициентом неоднородности $k_n = E_{\text{max}}/E_{\text{ср}}$, где E_{max} , $E_{\text{ср}}$ — наибольшая и средняя напряженность электрического поля в межэлектродном промежутке эмиттера капель. Для этого требуется, чтобы диаметр ускоряющего (клапанного) электрода превышал диаметр сопла, по крайней мере, на порядок ($d_{\text{кл}} \geq 10d_c$).

Ускоряющий электрод (клапан) изготавливается из коррозионно-стойкой стальной фольги, что исключает его окисление. Острые кромки клапана закругляются с учетом принципа отверждения линий равного потенциала. Чтобы отверстие в ускоряющем электроде не уменьшило степень неоднородности электрического поля возле кольца мениска чернил, необходимо выполнить условие $d_{\text{кл}} \geq 5d_0$, где d_0 — диаметр отверстия в ускоряющем электроде. Аналоговое моделирование электрического поля эмиттера капель в электролитической ванне показало, что отверстие искажает картину поля в непосредственной близости от ускоряющего электрода. При удалении от отверстия на расстояние d_0 этими искажениями

можно пренебречь. Следовательно, величину h межэлектродного промежутка следует выбирать из условия $h \geq d_0$.

При проектировании эмиттера капель с целью уменьшения габаритных размеров и напряжения отклоняющей системы необходимо удельный заряд капель q_k/m сделать максимальным, а ускоряющее напряжение U — минимальным. По аналогии с электронно-лучевой трубкой для уменьшения нелинейных искажений печатных знаков отклоняющие пластины имеют симметричное включение [1]. Для устранения концентрации электрического поля края отклоняющих пластин округляются с учетом принципа отверждения линий равного потенциала. Ориентировочно геометрические параметры отклоняющей системы таковы: $l_0 \in [1, 2]$ мм, $h_0 \in [1, 2]$ мм; толщина пластин и зазоры между металлическими частями составляют 0,5 мм; скорость капли на вылете из эмиттера выбирается в пределах $v_{x \max} = 2 \div 3$ м/с.

Для выполнения математического моделирования электрических полей эмиттера капель с целью оптимизации его параметров в ЛПИ им. М. И. Калинина разработана программа расчета электрических полей эмиттера капель на ЭВМ, приведенная в работе [1].

Чтобы отклоняющие электроды не изменили картину электрического поля эмиттера и не повлияли на качество каплеобразования, их размеры берут минимальными, участок размещения выбирают не в резко-неоднородном, а в квазиоднородном поле и обеспечивают средний потенциал симметрично включенных отклоняющих пластин одинаковым с эквипотенциалью, на которой они размещены. В ряде случаев для улучшения фокусировки струи и повышения качества печати в эмиттер необходимо ввести электростатическую линзу в виде фокусирующего кольца, потенциал которого совпадает по знаку с потенциалом сопла. Наилучшее расположение фокусирующего кольца на траектории можно выбрать с учетом результатов математического моделирования электрических полей эмиттера и расчетов на ЭВМ закона движения капли в эмиттере.

2.3. РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УЗЛОВ ФОРМИРОВАНИЯ, УСКОРЕНИЯ И ОТКЛОНЕНИЯ КАПЕЛЬ В ЭКСРУ С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ЭМИССИЕЙ

Расчетная схема движения заряженной одиночной капли чернил (краски) в электрическом поле ускоряющих и отклоняющих электродов показана на рис. 2.15 [21, 1].

Расчет отклонения заряженной капли в поле отклоняющих электродов ЭКСРУ предполагает прежде всего знание конечной скорости $v_{x \max}$ ее движения в неоднородном нестационарном поле ускоряющих электродов, поскольку мениск при генерировании капель совершает периодические колебания и изменяется во времени r_0 и h .

Движение заряженной капли в межэлектродном промежутке описывается следующим уравнением:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_a - F_c - F_n - F_k + F_b,$$

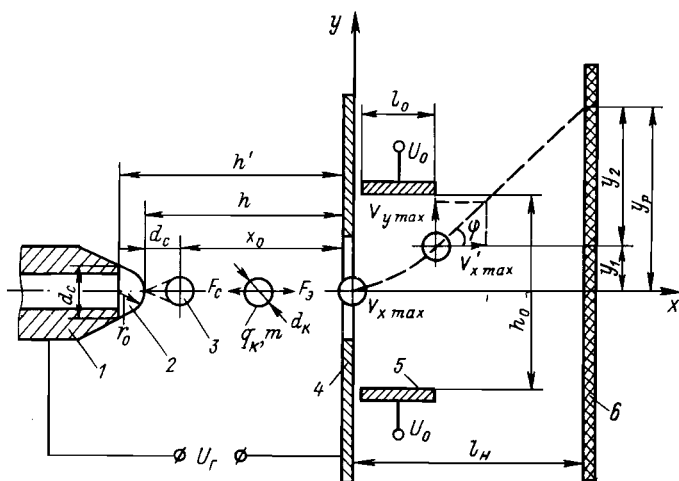


Рис. 2.15. Схема расчета отклонения заряженной капли в электрокаплевых регистрирующих устройствах с электростатической эмиссией капель:

1 — сопло; 2 — мениск чернил; 3 — капля; 4 — ускоряющий электрод; 5 — отклоняющие электроды; 6 — носитель графической или знаковой информации

где F_z — кулоновская сила притяжения заряженной капли к ускоряющему электроду типа плоскость с отверстием; F_c — сила аэродинамического сопротивления воздуха; F_n — сила, с которой электрическое поле действует на каплю из-за ее поляризации; F_g — сила веса; F_b — сила электрического ветра; m — масса капли.

При пренебрежении силами тяжести, периодически возникающими силами электрического ветра и поляризационными силами для движения капли в неоднородном поле ускоряющих электродов имеем нелинейное дифференциальное уравнение

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + 3\pi\rho_c v_c d_k \frac{dx}{dt} \left[1 + \frac{1}{6} \left(\frac{d_k}{v_c} \frac{dx}{dt} \right)^{2/3} \right] = q_k E(x), \quad (2.14)$$

где q_k — заряд капли, рассчитываемый по формуле (2.8); ρ_c , v_c — плотность и кинетический коэффициент вязкости среды, в которой движется капля; $E(x)$ — распределение напряженности ускоряющего электрического поля по центральной силовой линии в межэлектродном промежутке сопло — мениск — плотность с отверстием.

Сила аэродинамического сопротивления при движении капли в воздухе

$$F_c = 3\pi\rho_c v_c \frac{dx}{dt} d_k \left[1 + \frac{1}{6} \left(\frac{d_k}{v_c} \frac{dx}{dt} \right)^{2/3} \right]. \quad (2.15)$$

Как было отмечено ранее, в случае отсутствия коронного разряда при гиперболической аппроксимации игольчатого электрода (в данном слу-

чае электрода сопло — мениск) распределение напряженности $E(x)$ можно определить по выражению (2.9).

Для качественной оценки влияния объемных униполярных зарядов, образующихся при коронном разряде, воспользуемся методом Дейча — Попкова [26]. Тогда с учетом того, что поле без короны характеризуется выражением (2.9), получим для напряженности поля $E_2(x)$ с короной

$$E_2(x) = \frac{a_1^2 - h^2}{a_1^2 - x^2} \sqrt{\frac{2j_0}{\varepsilon_0 b (a_1^2 - h^2)} \left[a_1^2 (h - x) - \frac{h^3 - x^3}{3} \right] + E_k^2}, \quad (2.16)$$

где j_0 — плотность тока на вершине мениска (находится методом подбора из условия $\int_0^h E_2(x) dx = U_r$, которое интегрируют графически или численным методом).

Однако непосредственно воспользоваться выражением (2.16) для $E(x)$, используемого в (2.14), не представляется возможным из-за более сложной физической картины работы генератора капель, хотя качественную тенденцию влияния пространственных зарядов на распределение напряженности поля по центральной силовой линии соотношение (2.16) дает.

Анализ формул (2.9) и (2.16) показывает, что на значительном удалении от мениска напряженность поля вследствие влияния коронного разряда увеличивается. В свою очередь, соотношение (2.9), полученное при аппроксимации реального игольчатого электрода гиперboloидом вращения и с хорошей точностью характеризующее поле в непосредственной близости от конца иглы, также дает завышенные от действительных значения напряженностей поля на значительном удалении от кончика иглы (мениска). Поэтому в первом приближении считаем с учетом всего вышесказанного, что распределение напряженности поля $E(x)$ можно описать на базе более простого выражения (2.9), введя в него аналогичный методу Дэйча — Попкова поправочный коэффициент, учитывающий реальную картину физических процессов в промежутке ускоряющих электродов. Тогда на основании уравнения (2.14) движение заряженной капли между ускоряющими электродами характеризуется уравнением

$$\begin{aligned} m \frac{d^2 x}{dt^2} + 3\pi \rho_c v_c d_k \frac{dx}{dt} \left[1 + \frac{1}{6} \left(\frac{d_k}{v_c} \frac{dx}{dt} \right)^{2/3} \right] = \\ = k_1 \frac{2a_1 q_k U_r}{\ln \left[(a_1 + h)/(a_1 - h) \right] (a_1^2 - x^2)}. \end{aligned} \quad (2.17)$$

Нелинейное уравнение (2.17) решается численными методами (например, методом Рунге — Кутты) при следующих начальных условиях, полученных из анализа стробоскопических изображений каплеобразования (см. рис. 2.3): в момент отрыва заряженной капли $t=0$ радиус мениска $r_0=0.5d_c$; капля находится на расстоянии d_c от вершины мениска и ее скорость $v_0=0$.

На рис. 2.16 и 2.17 в качестве примера представлены результаты численного интегрирования нелинейного дифференциального уравнения (2.17) методом Рунге — Кутты на ЭВМ «Мир-2». Шаг интегрирования Δt выбран 0,125 мс. Уравнение (2.17) решалось при начальных условиях, которые с учетом выбранных на рис. 2.15 координат при $t=0$ записываются в виде:

$$x_0 = -(h - d_c); \quad v_{x0} = \left. \frac{dx}{dt} \right|_{t=0} = 0.$$

Расстояние x_1 капли от среза сопла $x_1 = h' - |x|$.

При движении водной капли в воздухе, что, как правило, имеет место в ЭКСРУ, в выражении (2.17) коэффициент $k_1 = 1,6$. В этом случае результаты численного интегрирования (2.17) хорошо согласуются с экспериментальными данными (кривые 1 и 2 на рис. 2.16). Как следует из рис. 2.16 (кривые 2, 3), пренебрежение действием F_c мало сказывается на времени t_3 нахождения капли между ускоряющими электродами (отличие в величине t_3 при учете силы F_c и без ее учета составляет не

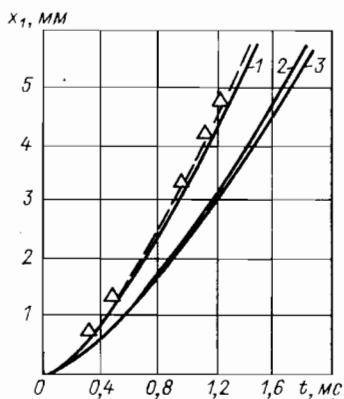


Рис. 2.16. Характер движения заряженной капли в воздухе между ускоряющими электродами ЭКСРУ:

1 — $F_c \neq 0$, $k_1 = 1,6$; 2 — $F_c \neq 0$, $k_1 = 1$; 3 — $F_c = 0$, $k_1 = 1$; зависимостям 1–3 соответствуют параметры: $d_c = 0,25 \cdot 10^{-3}$ м; $h' = 6 \cdot 10^{-3}$ м; $U_r = 3,8 \cdot 10^3$ В; $v_k = 5$ м/с; $d_k = 10^{-4}$ м; $q_k = 1,7 \cdot 10^{-12}$ Кл; $r_0 = 0,125 \times 10^{-3}$ м; $a_1 = 5,94 \cdot 10^{-3}$ м; — — — — эксперимент; — — — — расчет

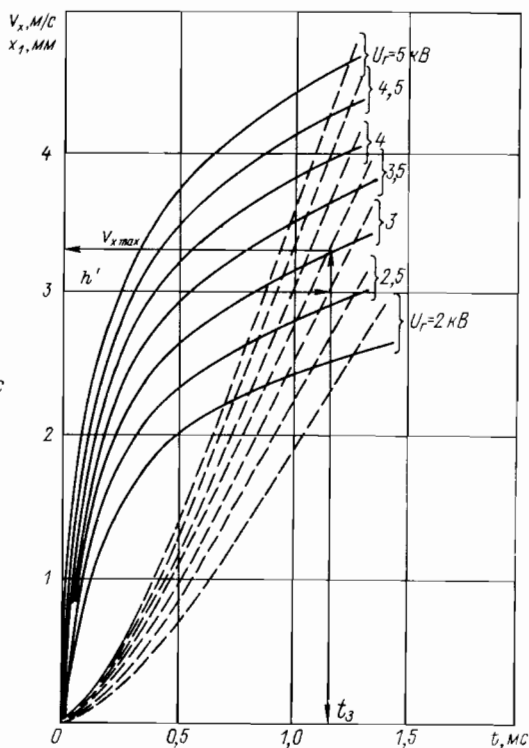


Рис. 2.17. Определение времени пролета и скорости капли между ускоряющими электродами ЭКСРУ в зависимости от ускоряющего напряжения:

— — — — зависимость $v_x = f(t)$; — — — — зависимость $x_1 = f(t)$; $d_k = 0,1$ мм; $a_1 = 10^{-12}$ Кл; $h' = 3$ мм

более 5 %). В свою очередь, различие в значениях максимальной скорости капли $v_{x \max}$ при достижении ею ускоряющего электрода более существенное и составляет до 9,5 %. Величины t_3 и $v_{x \max}$ необходимо знать для обеспечения задержки управляющего импульса на отклоняющие электроды ЭКСРУ и для выбора параметров отклоняющей системы.

Методика определения t_3 и максимальной скорости $v_{x \max}$ в конце участка ее ускорения поясняется на рис. 2.17. Зная $v_{x \max}$, можно сформулировать начальные условия при рассмотрении уравнений, описывающих движение капли между отклоняющими электродами. При отсутствии напряжения на отклоняющих электродах ($U_o=0$) на движение капли между отклоняющими электродами длиной l_0 будет оказывать влияние только сила аэродинамического сопротивления (2.15). Тогда уравнение движения капли находим из (2.17), полагая в нем $U_r=0$. Полученное уравнение решается при следующих начальных условиях: $t=0$, $x_0=0$, $v_{x0}=v_{x \max}$.

При подаче на отклоняющие электроды напряжения U_o капля в зависимости от знака управляющего напряжения смещается по направлению действия поля (по оси y , рис. 2.15). В этом случае кроме сил аэродинамического сопротивления по оси y на каплю будет действовать отклоняющая сила $q_k U_o/h_0$, где h_0 — расстояние между отклоняющими электродами. Предполагается при этом, что электрическое поле поляризационных и имеющихся в капле зарядов не искажает отклоняющее поле. Тогда с учетом (2.14) отклонение капли находим из уравнения

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = q_k \frac{U_o}{h_0} - 3\pi \rho_c v_c \frac{dy}{dt} d_k \left[1 + \frac{1}{6} \left(\frac{d_k}{v_c} \frac{dy}{dt} \right)^{2/3} \right] \quad (2.18)$$

при начальных условиях: $t=0$, $y_0=0$, $v_{y0}=dy/dt=0$, $0 \leq t \leq t_0$, где t_0 — время нахождения капли между отклоняющими электродами. При этом для расчета заключительного этапа полета капли на участке $l_n - l_0$ (см. рис. 2.15) необходимо знать скорость $v_{y \max}$ капли на выходном срезе отклоняющих электродов и отклонение y_1 капли.

Движение капли на участке $l_n - l_0$, расположенном между выходом отклоняющих электродов и носителем графической или знаковой информации, характеризуется уравнением

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -3\pi \rho_c v_c \frac{dy}{dt} d_k \left[1 + \frac{1}{6} \left(\frac{d_k}{v_c} \frac{dy}{dt} \right)^{2/3} \right], \quad (2.19)$$

которое решается численным методом (методом Рунге — Кутты) при начальных условиях: $t=0$, $y_0=y_1$, $v_0=v_{y \max}$, $0 \leq t \leq t_n - t_0$, где t_n — время нахождения капли на участке l_n зоны отклонения.

Из выражения (2.19) находим величину отклонения y_2 и скорость v_{y2} капли в конце участка $l_n - l_0$. При встрече с носителем информации (например, бумагой) кинетическая энергия капли переходит в потенциальную, поэтому при заданном носителе графической или буквенной информации необходимо выбирать тип чернил, диаметр капли чернил и ее скорость v_{y2} такими, чтобы не происходило разбрызгивания капли на более мелкие.

$$y_p = y_1 + y_2. \quad (2.20)$$

При расчете ЭКСРУ ЭП в качестве исходных данных задаются габаритные размеры знака (максимальная величина результирующего отклонения y_p), скорость печати, которая зависит от частоты каплеобразования

$$f_k = 1/t_0, \quad (2.21)$$

от заданной плотности и толщины обводки знаков (от диаметра капли d_k).

Выражение (2.21) характеризует ранее словесно сформулированное условие необходимости нахождения между отклоняющими электродами только одной капли. Параметры ЭКСРУ выбираются при следующих ограничениях:

$$l_0 \leq v_{x \max} / f_k; \quad h_0 \geq \begin{cases} E_{np} U_0 \\ 10 d_k \end{cases}; \quad h \geq \begin{cases} 6 r_0 \\ 2 d_r \end{cases}, \quad (2.22)$$

первое из которых обращается в равенство при $v_{x \max} = \text{const}$ между отклоняющими электродами. Здесь E_{np} — напряженность поля искрового пробоя межэлектродного промежутка отклоняющих электродов.

В случае, если можно пренебречь силами F_c аэродинамического сопротивления (см., например, кривые 2 и 3 на рис. 2.16) в первом приближении, скорость движения капли можно считать по оси x (рис. 2.15) между отклоняющими электродами постоянной и равной $v_{x \max}$, а $t_0 = l_0 / v_{x \max}$.

Величина суммарного отклонения капли [см. формулу (2.20)] с учетом того, что $v'_{x \max} = v_{x \max}$ (см. рис. 2.15),

$$y_p = y_1 + (l_n - l_0) v_{y \max} / v_{x \max}.$$

Значения y_1 и $v_{y \max}$ находим из (2.18), которое при $F_c = 0$ переписывается в виде

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = q_k \frac{U_0}{h_0}. \quad (2.23)$$

Разделяя переменные, интегрируя (2.23) с учетом (2.21) и учитывая, что при $t=0$ $y=0$ и $v_y = dy/dt = 0$, получим:

$$v_{y \max} = \frac{q_k U_0 t_0}{m h_0} = \frac{q_k U_0 t_0}{m h_0 v_{x \max}} = \frac{q_k U_0}{m h_0 f_k}; \quad (2.24)$$

$$y_1 = \frac{q_k U_0 t_0^2}{2 m h_0} = \frac{q_k U_0 t_0^2}{2 m h_0 v_{x \max}^2} = \frac{q_k U_0}{2 m h_0 f_k^2}. \quad (2.25)$$

Выражение для скорости $v_{x \max}$ находим из (2.17) при $F_c = 0$, интегрируя последнее с начальными условиями при $t=0$, $x_0 = -(h - d_c)$ и $v_{x0} = dx/dt|_{t=0} = 0$, или (что более просто) — из закона сохранения энергии. Имеем

$$v_{x \max} = \sqrt{2 q_k U_c / m}. \quad (2.26)$$

Подставив (2.24) — (2.26) в (2.23), получим уравнение для результирующего отклонения капли

$$y_p = \frac{U_o}{h_o} \left(\frac{q_k}{2mf_k^2} + \frac{l_n - l_o}{f_k} \sqrt{\frac{q_k}{2mU_r}} \right). \quad (2.27)$$

Если носитель графической или буквенной информации размещен в непосредственной близости от отклоняющих электродов, когда $l_n = l_o$, то из формул (2.26) и (2.27)

$$y_p = y_1 = \frac{q_k U_o l_o^2}{2mh_o v_{x\max}^2} = \frac{U_o l_o^2}{4h_o U_r}. \quad (2.28)$$

Приведенные выше статические характеристики ЭКСРУ ЭП получены для одиночной заряженной капли, движущейся в электрическом поле ускоряющих и отклоняющих электродов, без учета сил взаимодействия с соседними (и прежде всего ближайшими) заряженными каплями и различия сил аэродинамического сопротивления для ведущей и ведомой капель, имеющих место при работе ЭКСРУ.

Для исключения (уменьшения) электростатического взаимодействия капель в межэлектродном промежутке h эмиттера (см. рис. 2.15) длину межэлектродного промежутка выбирают с учетом частоты каплеобразования. При этом руководствуются тем, чтобы в межэлектродном промежутке h эмиттера капля была только одна капля или в худшем случае две капли, отстоящие друг от друга на максимальном расстоянии, приблизительно равном длине межэлектродного промежутка. Тогда в первом приближении силой электростатического взаимодействия одноименно заряженных капель можно пренебречь.

Влияние аэродинамического сопротивления на движение ведущей и ведомой капель учитывается поправочными множителями к F_c [см. формулу 2.15)], которые, как правило, определяются экспериментально для конкретных конструктивных исполнений печатающей головки.

Для исследования динамических характеристик устройства отклонения капель перепишем (2.28) [21] в виде

$$y_p = \frac{q_k U_o l_o^2}{2mh_o} = 0,5k U_o l_o^2, \quad (2.29)$$

где $k = q_k / (mh_o)$.

При $U_o = 1$ (т), где $0 \leq t \leq \infty$, из (2.29) имеем переходную характеристику устройства отклонений капель. В течение времени, пока капля находится в поле между отклоняющими электродами, справедливо уравнение

$$y_p = 0,5kt^2 \quad \text{при} \quad 0 \leq t \leq t_o.$$

Выходя далее из поля, ограниченного отклоняющими электродами, капля попадает на носитель информации, так как мы рассматриваем

случай, когда $l_n \approx l_0$ (см. рис. 2.15). Иначе говоря, то отклонение, которое капля получила, двигаясь в поле между отклоняющими электродами, после выхода из поля будет существовать до бесконечности (при постоянстве во времени факторов, влияющих на ее отклонение), т. е. время переходного процесса в общепринятом смысле этого понятия в ЭКСРУ всегда конечно (теоретически и практически) и определяется в данном случае временем прохождения каплей отклоняющего поля. По истечении этого времени наступает установившийся режим. По терминологии, принятой в теории автоматического управления, исследуемое звено является звеном с ограничением по координате. Для этого случая можно записать

$$y_p = 0,5kt_0^2 \text{ при } t_0 \leq t < \infty.$$

Следовательно, переходную характеристику устройства отклонения каплей ЭКСРУ будем рассматривать в интервале времени $0 \leq t \leq \infty$, полагая при этом (рис. 2.18, а):

$$\left. \begin{aligned} y_p &= 0,5kt^2 & \text{при } 0 \leq t \leq t_0; \\ y_p &= 0,5kt_0^2 & \text{при } t_0 < t \leq \infty. \end{aligned} \right\} \quad (2.30)$$

Данная методика анализа динамики отклонения заряженной частицы жидкости впервые была разработана в ЛПИ им. М. И. Калинина в 1963—1965 гг. с участием аспиранта Л. Г. Гольденберга [13].

Особенностью переходной характеристики узла отклонения каплей ЭКСРУ является то, что переходный процесс происходит при постоянном, максимально возможном при заданных параметрах печатающей головки, ускорении.

Аналитическое выражение переходной характеристики в виде (2.30) неудобно тем, что оно состоит из двух уравнений. Более удобным является ее представление в виде одного аналитического выражения. Для получения такого выражения заметим, что переходная характеристика может быть получена как суперпозиция трех функций f_1 , f_2 и f_3 , представленных на рис. 2.18, б.

Аналитическая запись функции $f_1(t)$

$$f_1(t) = \frac{1}{2}kt^2 \text{ при } t \geq 0.$$

Функцию $f_2(t)$ можно рассматривать как смещенную в положительном направлении на величину t_0 функцию

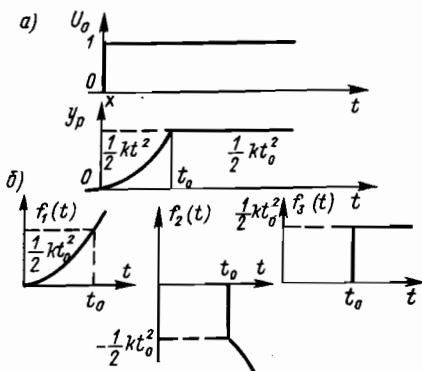


Рис. 2.18. Построение переходной характеристики узла отклонения каплей электрокапеструющих регистрирующих устройств

$$-\frac{1}{2} [k(t+t_0)]^2 = -\frac{1}{2} (kt^2 + 2ktt_0 + kt_0^2),$$

причем значения $t \geq 0$. Следовательно,

$$f_2(t) = -\frac{1}{2} [k(t-t_0)^2 + 2kt_0(t-t_0) + kt_0^2] (t-t_0).$$

И, наконец, функция $f_3(t)$ может быть записана в виде

$$f_3(t) = \frac{1}{2} kt_0^2 1(t-t_0).$$

Окончательно переходная характеристика представляется выражением

$$y_p(t) = \frac{1}{2} [kt^2 - k(t-t_0)^2 - 2kt_0(t-t_0)].$$

Если входное воздействие представляет собой неединичную ступенчатую функцию $U_0 = N \cdot 1(t)$, то естественно, что выходная величина в обоих уравнениях системы (2.30) возрастет в N раз.

Передаточную функцию устройства отклонения капель находим по переходной функции (2.30), применив к ней преобразование Карсона

$$\begin{aligned} W(s) = \frac{y_p(s)}{U_0(s)} &= 0,5ks \left(\int_0^{t_0} t^2 e^{-st} dt + \right. \\ &+ \left. \int_{t_0}^{\infty} t_0^2 e^{-st} dt \right) = k(1 - e^{-st_0} - st_0 e^{-st_0})/s^2, \end{aligned} \quad (2.31)$$

где s — оператор Лапласа. При пренебрежении силами аэродинамического сопротивления

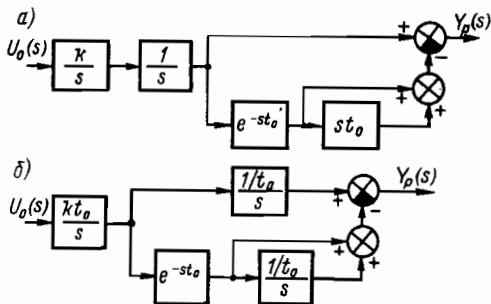
$$t_0 = \frac{l_0}{v_{x \max}} = l_0 \sqrt{\frac{m}{2q_\infty U_r}}. \quad (2.32)$$

Полученному выражению передаточной функции узла отклонения капель (2.31) могут соответствовать, как нетрудно видеть, различные варианты структурных схем. С помощью построения структурных схем можно убедиться в том, что по числу типовых звеньев, которые будут входить в различные варианты, большинство схем равноправно. Однако следует отдать предпочтение (например, при моделировании) тем структурным схемам, в которые входит одно звено постоянного запаздывания. Таких вариантов два, соответствующие им формы записи передаточных функций таковы:

$$W(s) = \frac{k}{s} \frac{1}{s} [1 - e^{-st_0} (1 + st_0)]; \quad (2.33)$$

$$W(s) = \frac{kt_0}{s} \left[\frac{1/t_0}{s} e^{-st_0} \left(\frac{1/t_0}{s} + 1 \right) \right]. \quad (2.34)$$

Рис. 2.19. Структурные схемы узла отклонений капле электрокаплекструйных регистрирующих устройств



На рис. 2.19, а, б показаны структурные схемы, построенные по двум последним выражениям. Предпочтение следует отдать второй схеме, так как в нее входят только интегрирующие звенья. Соответствующие (2.13) амплитудная $A(\omega)$ и фазовая $\Theta(\omega)$ частотные характеристики имеют следующий вид:

$$A(\omega) = k \sqrt{\omega^2 t_0^2 + 2(1 - \cos \omega t_0 - \omega t_0 \sin \omega t_0) / \omega^2}; \quad (2.35)$$

$$\Theta(\omega) = \arctg \frac{\omega t_0 \cos \omega t_0 - \sin \omega t_0}{\cos \omega t_0 + \omega t_0 \sin \omega t_0 - 1}. \quad (2.36)$$

Выясним общий характер изменения кривой $A(\omega)$ при изменении ω от нуля до бесконечности.

При $\omega=0$ функция $A(\omega)$ неопределена (неопределенность вида $0/0$) и значение $A(0)$ находится путем перехода к пределу $A(0) = \lim_{\omega \rightarrow 0} A(\omega)$ с использованием теоремы Лопиталя.

Имеем

$$A(0) = k \sqrt{t_0^4/4} = \frac{k t_0^2}{2}.$$

При значениях $\omega = n2\pi/t_0$ (где $n=1, 2, 3, \dots$) подкоренное выражение в (2.35) обращается в $\omega^2 t_0^2$ и, следовательно, аналитическое выражение для амплитудно-частотной характеристики при этих значениях ω можно записать в виде

$$A(\omega) \Big|_{\omega = n \frac{2\pi}{t_0}} = k \frac{t_0}{\omega} \Big|_{\omega = n \frac{2\pi}{t_0}} = \frac{k t_0^2}{2n\pi}.$$

Заметим, что значениям $\omega = n2\pi/t_0$ соответствуют значения частоты в герцах: $f = n/t_0$.

И, наконец, значения $A(\omega)$ при $\omega \rightarrow \infty$ также можно определить предельным переходом $A(\omega) = \lim_{\omega \rightarrow \infty} A(\omega) = 0$.

Подсчитав значения $A(\omega)$ в указанных выше опорных точках, можно достаточно быстро построить амплитудно-частотную характеристику отклоняющей системы ЭКСПУ, несмотря на относительную сложность зависимости (2.35).

Фазовая частотная характеристика узла отклонения капель ЭКСРУ строится по соотношению (2.36). Выясним общий характер изменения функции $\Theta(\omega)$. При $\omega=0$ $\Theta(\omega)$ неопределенна и значение $\Theta(0)$ находится путем предельного перехода

$$\Theta(0) = \lim_{\omega \rightarrow 0} \Theta(\omega) = \operatorname{arctg} 0 = 0.$$

При $\omega_1 = 2\pi/t_0$ знаменатель дроби, стоящей под знаком арктангенса в (2.36), обращается в нуль, а числитель положителен, т. е. фазовый сдвиг составляет 270° .

При значениях

$$\omega_2 = 2 \cdot 2\pi/t_0, \quad \omega_3 = 3 \cdot 2\pi/t_0, \dots, \quad \omega_n = n \cdot 2\pi/t_0$$

описанная выше ситуация будет повторяться, следовательно, при $\omega = n \cdot \frac{2\pi}{t_0}$ фазовый сдвиг будет составлять

$$\Theta(\omega) \Big|_{\omega = n \cdot \frac{2\pi}{t_0}} = 270^\circ + (n-1) 360^\circ, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Как и в случае амплитудно-частотной характеристики, по значениям $\Theta(\omega)$ в указанных выше «опорных» точках фазочастотная характеристика может быть построена достаточно быстро.

Рассмотрим особенности логарифмических частотных характеристик узла отклонения капель ЭКСРУ. Логарифмическая амплитудная характеристика (ЛАХ) строится по выражению

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega) = 20 \lg \frac{k \sqrt{\omega^2 t_0^2 + 2(1 - \cos \omega t_0 - \omega t_0 \sin \omega t_0)}}{\omega^2}.$$

Ввиду относительной сложности функции $A(\omega)$ целесообразно построить нормированные (универсальные) логарифмические амплитудную и фазовую частотные характеристики. Для выполнения такого построения (в случае ЛАХ) умножим и разделим (2.35) на $2t_0^2$. Получим

$$A(\omega) = \frac{k t_0^2}{2} \left(\frac{2 \sqrt{\omega^2 t_0^2 + 2(1 - \cos \omega t_0 - \omega t_0 \sin \omega t_0)}}{\omega^2 t_0^2} \right). \quad (2.37)$$

Прологарифмируем (2.37), тогда

$$L(\omega) = 20 \lg \frac{k t_0^2}{2} + 20 \lg \frac{2 \sqrt{\omega^2 t_0^2 + 2(1 - \cos \omega t_0 - \omega t_0 \sin \omega t_0)}}{\omega^2 t_0^2}.$$

Первое слагаемое не зависит от ω , и его построение не представляет никакого труда. Второе же слагаемое [обозначим его через $M(\omega t_0)$] может быть построено в функции относительной частоты ωt_0 в виде нормированной кривой. На рис. 2.20 такая кривая построена в логарифмической системе координат. Для построения истинной ЛАХ отклоняющей

системы ЭКСРУ при произвольных k и t_0 необходимо поднять нормированную кривую на $20 \lg k t_0^2 / 2$ дБ и по оси частот от относительной частоты перейти к действительной умножением относительной частоты на $1/t_0$.

На рис. 2.21 в качестве примера (для $q_k = 1,3 \cdot 10^{-12}$ Кл, $d_k = 8 \cdot 10^{-5}$ м, $v_{x \max} = 6,04$ м/с) представлены логарифмические амплитудно-частотная и фазочастотная характеристики отклоняющего устройства ЭКСРУ.

Для ЭКСРУ с электростатической эмиссией капель коэффициент передачи k определяется в соответствии с выражением (2.29).

Поскольку в практических расчетах обычно используются асимптотические ЛАХ, то нетрудно и в данном случае представить истинную характеристику асимптотической. На рис. 2.20 видно, что нормированная ЛАХ узла отклонения капель ЭКСРУ может быть аппроксимирована тремя асимптотами с наклонами на декаду: прямой, совпадающей с осью частот (наклон 0 дБ/дек), прямой с отрицательным наклоном (40 дБ/дек) и прямой с отрицательным наклоном, равным 20 дБ/дек. При этом сопрягающие частоты всегда будут иметь значения: $\omega_1 = 1,2\pi/t_0$ и $\omega_2 = 2\pi/t_0$. Максимальная ошибка при такой аппроксимации будет при значении $\omega_1 = 1,2\pi/t_0$ и составит приблизительно

$$20 \lg \frac{2\sqrt{2 + (1,2\pi)^2 - 2\cos 1,2\pi - 2,4\pi \sin 1,2\pi}}{(1,2\pi)^2} = 3,2 \text{ дБ},$$

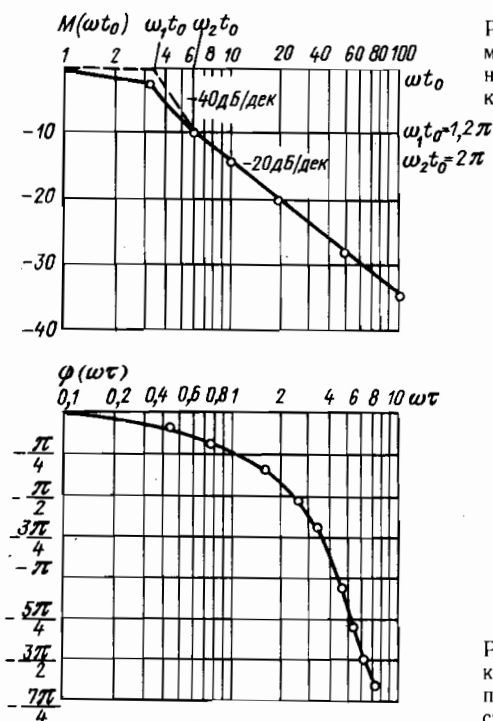


Рис. 2.20. Нормированные логарифмические амплитудно- и фазочастотные характеристики узла отклонения капель электрокаплеструйного регистрирующего устройства

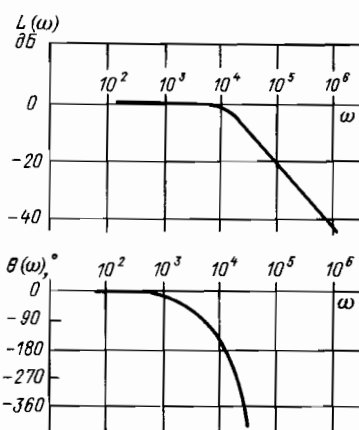


Рис. 2.21. Частотные характеристики узла отклонения заряженных капель чернил (краски) электрокаплеструйных регистрирующих устройств

что незначительно превышает ошибку, принятую в литературе по теории автоматического управления при построении асимптотических ЛАХ других звеньев (апериодического, колебательного). Иначе говоря, данная аппроксимация допустима. На всем остальном протяжении влево и вправо от сопрягающей частоты ω_1 действительная ЛАХ будет отличаться от асимптотической менее чем на 3,2 дБ. На рис. 2.20 асимптотическая ЛАХ показана штриховой линией.

Нормированная логарифмическая фазовая частотная характеристика строится на основании уравнения (2.36), так как в нем справа от знака равенства в качестве аргумента можно принять произведение ωt_0 . Нормированная фазочастотная характеристика узла отклонения капель показана на рис. 2.20.

Очевидно, что две асимптоты (рис. 2.20), сопрягающиеся при частоте $\omega_1 t_0$, из которых одна имеет нулевой наклон, а другая — минус 40 дБ/дек, будут соответствовать асимптотической характеристике динамического звена второго порядка или двух последовательно включенных апериодических звеньев первого порядка с одинаковыми постоянными времени и коэффициентами передачи, равными единице. Как известно, относительная частота $\omega T = 1$, а в данном случае она равна $1,2\pi$. Следовательно, постоянная времени данных звеньев, соответствующих первым двум асимптотам (рис. 2.20), определится из соотношения $\omega_1 = 1/T_1 = 1,2\pi/t_0$ и будет равна $T_1 = t_0/(1,2\pi)$. При второй сопрягающей частоте (рис. 2.20) асимптотическая ЛАХ изламывается вверх на 20 дБ/дек, что соответствует постоянной времени T_2 реального дифференцирующего звена. Данная постоянная времени определяется аналогично (см. рис. 2.20): $T_2 = t_0/(2\pi)$. Таким образом, можно в первом приближении произвести аппроксимацию передаточной функции (2.31) последовательным соединением соответствующих звеньев.

В заключение отметим, что полученные выше передаточная функция (2.31) и частотные характеристики в общем случае справедливы (при принятых выше допущениях) для узлов отклонения заряженных капель как ЭКСРУ с электростатической эмиссией капель, так и ЭКСРУ с эмиссией капель высоким постоянным давлением. В последнем случае различие будет в значениях коэффициентов передачи k и величинах t_0 в связи с особенностями функционирования ЭКСРУ с эмиссией капель высоким постоянным давлением.

Рассмотренные соотношения для передаточных функций и частотных характеристик узла отклонения капель получены в линейном приближении, когда силой аэродинамического сопротивления при отклонении капли пренебрегали. В том случае, когда такое допущение неприемлемо, для анализа быстродействия узла отклонения капель необходимо численно решать дифференциальное уравнение (2.19).

Скорость печати односопловой печатающей головки ограничена частотой каплеобразования, которая имеет реальный предел. Поэтому одним из способов кардинального повышения быстродействия ЭКСРУ является применение многосопловых одно- и многорядных печатающих головок. Разработанная программа математического моделирования электрических полей эмиттера на ЭВМ по методу неравномерной сетки

[1] позволяет спроектировать многоспловую печатающую головку, т. е. выбрать геометрические и конструктивные параметры так, чтобы электроды и струи не оказывали паразитного воздействия друг на друга.

2.4. ЭКСРУ С ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ ЭМИССИЕЙ КАПЕЛЬ ТИПА УПС-35

Разработанное в СКБ ПС (г. Курск) электрокаплеструйное печатающее устройство с электростатической эмиссией капель типа УПС-35 «Стайер» последовательного действия предназначено для автоматической распечатки графических символов и специальных знаков на листовую или рулонную бумагу. Устройство может быть использовано в качестве устройства вывода в управляющих вычислительных комплексах, в системах автоматизированной обработки текстовой документации, а также в различных автоматизированных системах контроля, регулирования и управления.

Кодирование и набор информационных и служебных символов должны соответствовать кодовой таблице (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Кодовая таблица

Номера разрядов								
	δ_7	0	0	0	0	1	1	1
	δ_6	0	0	1	1	0	0	1
	δ_5	0	1	0	1	0	1	0

δ_7	δ_6	δ_5	δ_4	δ_3	δ_2	δ_1	N	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0			Пробел	0	ю	п	ю	п
0	0	0	0	1	0	0	1			!	1	а	я	А	Я
0	0	1	0	0	0	0	2			„	2	б	р	Б	Р
0	0	1	1	0	0	0	3			№	3	ц	с	Ц	С
0	1	0	0	0	0	0	4			х	4	д	т	Д	Т
0	1	0	1	0	0	0	5			%	5	е	у	Е	У
0	1	1	0	0	0	0	6			&	6	ф	ж	Ф	Ж
0	1	1	1	0	0	0	7			г	7	з	в	Г	В
1	0	0	0	0	0	0	8			(	8	х	ь	Х	Ь
1	0	0	1	0	0	0	9			)	9	и	ы	И	Ы
1	0	1	0	0	0	0	10			*	:	й	з	Й	З
1	0	1	1	0	0	0	11			+	;	к	ш	К	Ш
1	1	0	0	0	0	0	12			,	<	л	э	Л	Э
1	1	0	1	0	0	0	13	вк		—	=	м	щ	М	Щ
1	1	1	0	0	0	0	14			.	>	н	ч	Н	Ч
1	1	1	1	0	0	0	15			/	?	о	ь	О	Ь

Число печатаемых графических символов и специальных знаков, шт.	94
Размер поля знака прописных букв, мм	Не более $2,8 \times 2,0$
Номинальный шаг между разрядами печати, мм	$2,54 \pm 0,12$
То же между строками, мм	$4,25 \pm 0,3$; $6,37 \pm 0,3$; $8,5 \pm 0,3$
Длина бумагоопорного вала, мм	330
Скорость печати в пределах одной строки, знак/с	Не менее 35

Печать осуществляется при постоянном равномерном движении пишущей головки.

Функциональная схема устройства представлена на рис. 2.22. Устройство состоит из печатающего механизма блока управления, блоков питания. Печатающий механизм включает в себя систему подачи чернил, печатающий блок, механизм бумагоопорного вала, привод, преобразователь.

Кинематическая схема устройства включает в себя силовой привод и интервальный механизм (рис. 2.23).

Силовой привод осуществляется посредством электродвигателя 3, упругой центробежной муфты 12, червяка 13 и червячного колеса 15. Интервальный механизм 6, связанный с бумагоопорным валом 10, соединен тягой 7 с барабаном 8, свободно посаженным на вал 21. При подаче питания на электромагнит фрикционной пружинной муфты 9 последняя передает вращающий момент от вала 21 барабану 8, тяга 7 приводит в действие собачку 5, которая перемещает храповое колесо 4, производя таким образом перемещение бумаги на заданный интервал. Положение

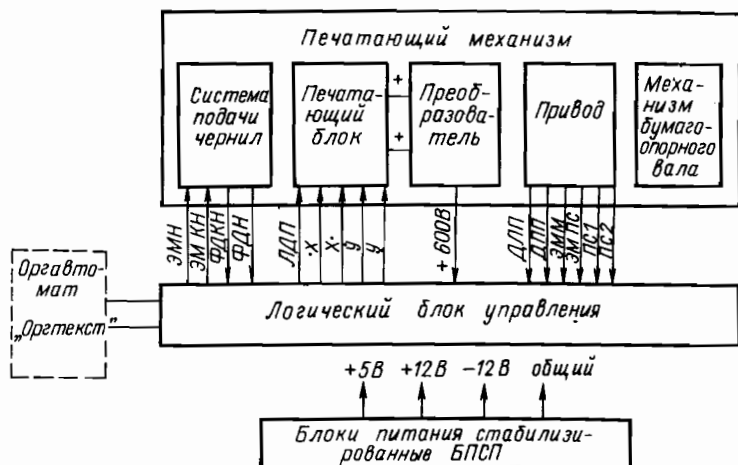


Рис. 2.22. Функциональная схема электрокаплевоструйного устройства УПС-35 (СКБ ПС, г. Курск) с электростатической эмиссией капель

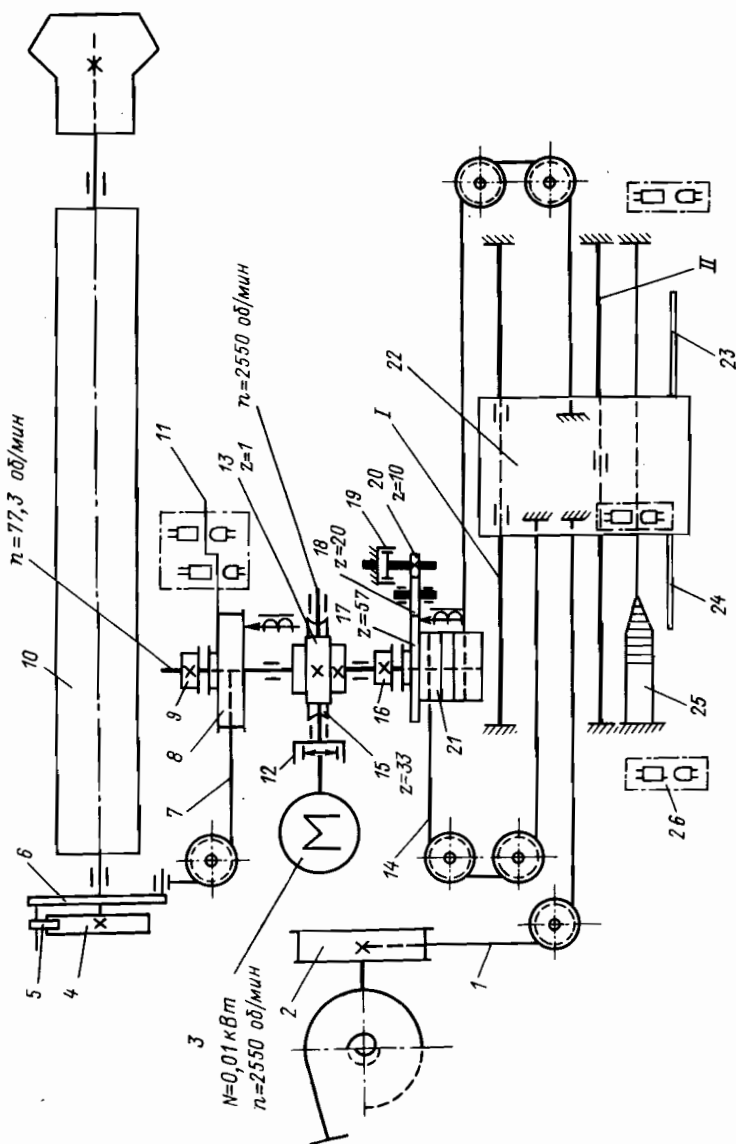


Рис. 2.23. Кинематическая схема электрокапельного устройства УПС-35 с электростатической эмиссией капель

интервального механизма контролируется с помощью фотодатчика и шторки 11, связанной с барабаном 8.

При подаче питания на электромагнит муфты 16 вращающий момент передается на барабан 21. Трос 14, намотанный на барабан 21 и соединенный с кареткой печатающего блока 22, приводит последний в движение по направляющим I и II. Возврат печатающего блока 22 осуществляется под действием пружинного барабана 2, связанного тросом I с кареткой. Центробежный фрикционный тормоз 19, соединенный с барабаном 21 посредством шестерен 17, 18 и 20, предохраняет от сильного удара печатающий блок при его возврате. Крайнее левое и крайнее правое положения печатающего блока 22 контролируются с помощью фотодатчиков 26 и флажков 23 и 24.

Печать осуществляется в непрерывном режиме. Положение печатающего блока относительно бумагоопорного вала контролируется при помощи фотодатчика, установленного на каретке, и позиционной линейки 25.

Гидравлическая схема включает в себя резервуар для чернил 4 (рис. 2.24), насос 3, фильтр 2, пишущую головку 1, трубопроводы, ловитель 5 и сливной желоб 6.

Насос, вытесняя определенный объем чернил, создает требуемый напор на входе в пишущую головку, которая обеспечивает эмиссию чернильной струи. Часть чернильных капель расходует на формирование знака или символа, остальные капли попадают в ловитель и далее в сливной желоб. По окончании цикла нагнетания насос всасывает из резервуара очередную порцию чернил, и весь цикл повторяется.

Общий вид устройства показан на рис. 2.25. На тумбе 1 установлен печатающий механизм 2. В тумбе размещены блок управления и блоки питания. Корпус тумбы аналогичен корпусу тумбы оргавтомата «Оргтекст». В тумбе установлены блок управления, блоки питания с каркасом, панель питания.

Печатающий механизм осуществляет следующие операции: печать знаков и символов на рулонной или листовой бумаге в автономном

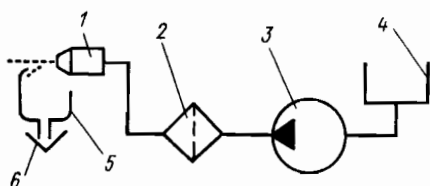


Рис. 2.24. Гидравлическая схема подачи чернил устройства УПС-35

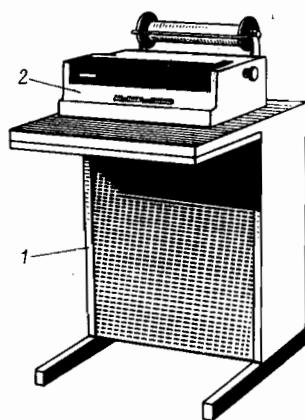


Рис. 2.25. Общий вид устройства УПС-35 с электростатической эмиссией капель

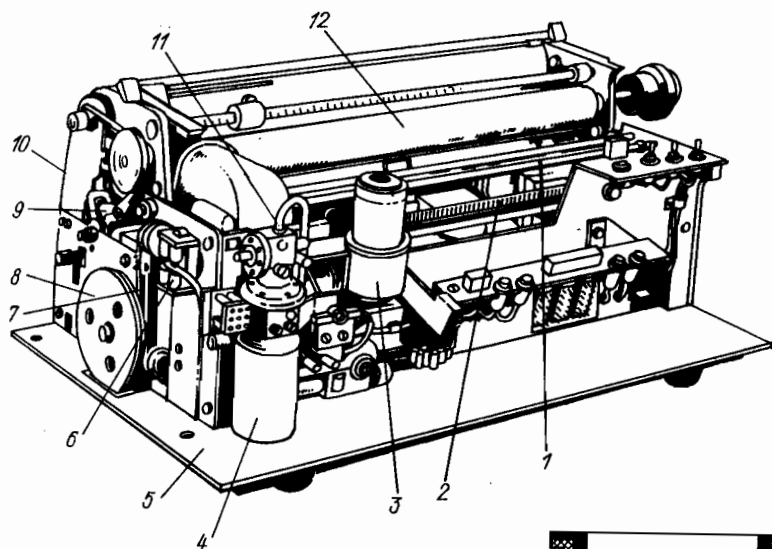


Рис. 2.26. Общий вид печатающего механизма ЭКСРУ с электростатической эмиссией капель типа УПС-35

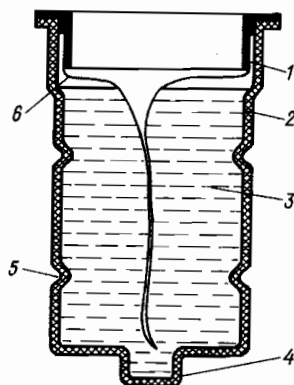


Рис. 2.27. Резервуар для чернил ЭКСРУ ЭП типа УПС-35

режиме, с использованием контрольного теста или по электрическим сигналам, поступающим от внешних устройств, перемещение бумаги на межстрочные интервалы, изменение межстрочных интервалов, возврат печатающего блока в исходное состояние.

Печатающий механизм (рис. 2.26) включает в себя систему подачи чернил 4, печатающий блок 11, механизм бумагоопорного вала 12, привод, преобразователь, шасси 5, кожух с барабаном.

Печатающий блок 11 перемещается вдоль бумагоопорного вала 12 по направляющим 1 при помощи троса. Возврат печатающего блока в исходное положение осуществляется при помощи пружинного барабана 8 и троса 7. Тросы опираются на ролики, конструктивно размещенные соответствующим образом. Прогиб троса в средней его части под нагрузкой 1,5 Н должен быть равным 2—3 мм. Натяжение троса должно быть одинаковым в правой относительно печатающего блока и левой его ветви. Натяжение троса осуществляется натяжным роликом. Для этого следует отвернуть гайку крепления оси ролика на один-два оборота и,

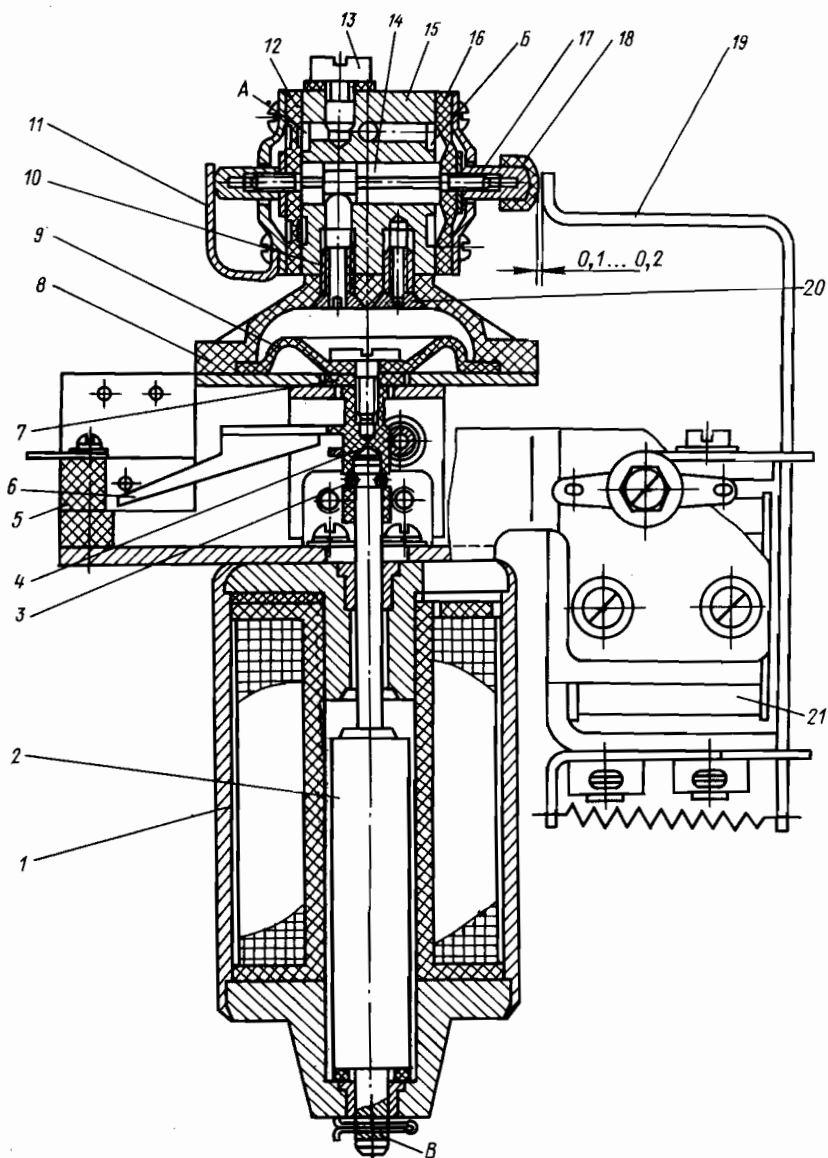
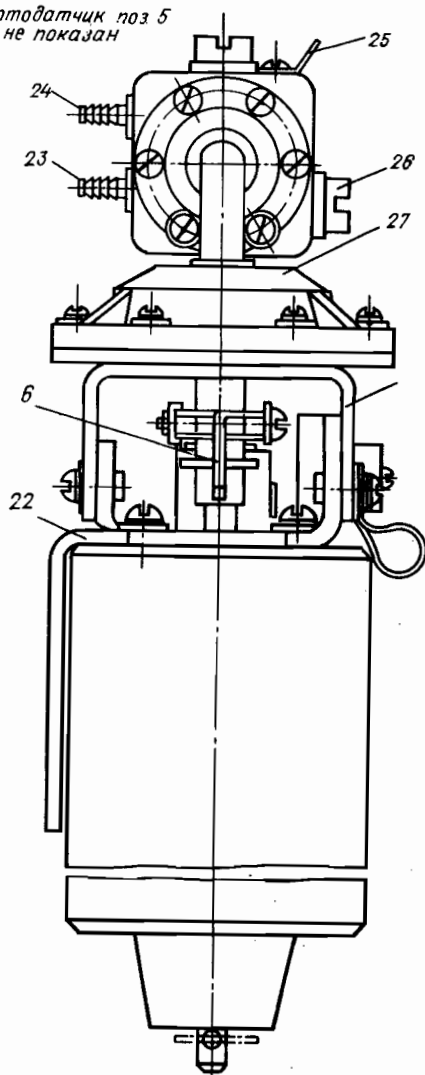


Рис. 2.28. Насос для подачи чернил устройства УПС-35 с электроста

ввинчивая регулировочный винт, натянуть трос в его правой ветви. Перемещая печатающий блок в крайнее положение, натягивают трос в левой его ветви и заворачивают гайку крепления оси ролика.

Фотодатчик поз 5
не показан



тической эмиссией капель

Не использованные при печати чернила стекают в сливной желоб, откуда поступают в резервуар, из которого они периодически должны удаляться.

Положение печатающего блока в крайнем левом положении контролируется фотодатчиком 6. Аналогичный фотодатчик имеется для контроля печатающего блока в крайнем правом положении. Определение места печати знака на строке осуществляется с помощью позиционной линейки 2, на которой фотоспособом нанесен с шагом печати ряд чередующихся друг с другом темных и прозрачных полос.

Кинематическая связь привода и механизма бумагоопорного вала осуществляется с помощью ленты 10. Механизм бумагоопорного вала выполнен быстросъемным, фиксируется он с помощью поворотных кронштейнов 9. В целях безопасности работы имеется микропереключатель, который размыкает цепь питания печатающего механизма при открывании крышки кожуха. На задней стенке шасси 5 установлены разъемы для подключения печатающего механизма к тумбе.

Чернила для печати размещаются в сменном резервуаре 3.

Резервуар (рис. 2.27) представляет собой тонкостенный стакан, между внут-

ренними стенками которого и оболочкой из тонкой полиэтиленовой пленки размещаются чернила 3. Оболочка 6 приварена к обечайке 1, которая с помощью фланца приварена, в свою очередь, к стакану 2. Для

повышения жесткости в стакане выполнены кольцевые углубления 5, нижнее из которых служит для фиксации резервуара в корпусе системы подачи чернил. Игла его прокалывает стенку выступа 4 и, таким образом, резервуар подключается к системе подачи чернил.

Резервуар содержит 29 см³ чернил, что обеспечивает работу устройства в течение 20 ч. Система подачи чернил предназначена для создания в процессе печати требуемого давления чернил на входе в пишущую головку. Система подачи чернил включает в себя насос 3 (см. рис. 2.24), корпус, фильтр 2.

Насос (рис. 2.28) включает в себя следующие основные части: электромагнит 1 с якорем 2, фотодатчик 5, мембрану 9 с корпусом, корпус 15, электромагнит 21. Электромагнит 1 создает рабочее усилие на мембрану 9, соединяясь с ней при помощи чеки 3. Электромагнит 21 управляет работой впускного и выпускного клапанов. Запорные органы их в виде плоских мембран 12 и 16 соответственно закреплены в центральной своей части на подвижном штоке 14 при помощи наконечников 17. Поскольку к чернилам подведен электрический потенциал, все металлические части, соприкасающиеся с чернилами, изолированы от кронштейнов 22 и 27 и от электромагнитов 1 и 21 с помощью пластмассовых наконечника 18, втулки 4 и шайбы 7. Винты 13 и 26 служат для выпуска воздуха при заполнении системы чернилами или при прокачке. Лепесток 25 служит для присоединения провода высокого напряжения.

Корпус предназначен для крепления сменного резервуара для чернил и забора их из него. На корпусе 1 (рис. 2.29, а) закреплены штуцер 3 с полый иглой 2 и пружинные фиксаторы 7, удерживающие сменный резервуар в рабочем положении. Штуцер 3 изолирован от кронштейна 4 пластмассовыми шайбами 5 и 6.

Фильтр служит для очистки чернил от механических частиц, могущих закупорить сопло пишущей головки. Фильтр (рис. 2.29, б) включает в

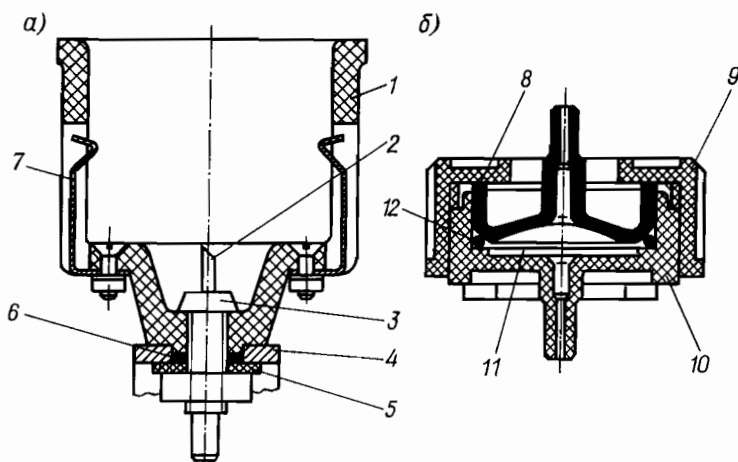


Рис. 2.29. Конструкция узла крепления сменного резервуара с чернилами и фильтр в ЭКСРУ ЭП типа УПС-35

себя корпус 10, сетчатый фильтр 11, уплотнительное резиновое кольцо 12, крышку 8 и гайку 9. Направление потока снизу вверх. Насос, корпус и фильтр соединены между собой эластичными трубопроводами из силиконовой резины.

Система подачи чернил работает следующим образом. В исходном состоянии все внутренние полости, включая трубопроводы и рабочую камеру между мембраной 9 (см. рис. 2.28) и корпусом 8, заполнены чернилами. Корпус 8 крепится к корпусу 15 с помощью винтов 20. Якорь 2 находится в нижнем положении, якорь 19 — в крайнем правом положении. При этом пружинный упор 11 удерживает шток 14 в крайнем правом положении, впускной клапан закрыт, т. е. мембрана 12 прижата к выступу корпуса 15 и отделяет полость А от рабочей камеры. Флажок 6, закрепленный на втулке 4, затемняет правый фотодиод фотодатчика 5, левый фотодиод освещен. Насос готов к работе.

При включении электромагнита 1 его якорь 2 начнет перемещаться вверх вместе с мембраной 9, которая будет вытеснять чернила через отверстие в винте 10, пазы в штоке 14, полость Б, штуцер 24, трубопровод в фильтр, откуда они по другому трубопроводу поступают на вход пишущей головки.

Якорь 2 будет двигаться вверх до тех пор, пока флажок 6 не затемнит фотодиод фотодатчика 5; правый фотодиод при этом будет освещен. Фотодатчик 5 выработает сигнал, по которому схема управления выключает электромагнит 1 и включает электромагнит 21. Якорь 19 перемещает шток 14 в крайнее левое положение, мембрана 16 выпускного клапана отсекает выпускную магистраль с полостью Б от рабочей камеры. Впускной клапан в это время открывается, т. е. мембрана 12 отходит от выступа корпуса 15, и чернила из трубопровода через штуцер 23 полости А устремляются в рабочую камеру вслед за мембраной 9, возвращающейся в исходное положение под действием веса якоря 2 и сил ее упругости. При достижении якорем 2 своего крайнего нижнего положения фотодатчик вырабатывает сигнал ФДК, электромагнит 21 отключается, шток 14 возвращается в правое положение, впускной клапан закрывается, выпускной — открывается. Насос готов к очередному циклу. Давление, развиваемое насосом, составляет 0,002—0,003 МПа. Зазор между якорем 19 и наконечником 18 в исходном состоянии составляет 0,1—0,2 мм и достигается перемещением электромагнита 21 относительно крепежных отверстий кронштейна 22. Отверстие В в нижней части якоря 2 служит для стопорения якоря при транспортировке. В отверстие вставляется проволоочный шплинт, показанный штрихпунктирной линией.

В исходном положении флажок 6 (рис. 2.30, а) должен затемнять правый фотодиод фотодатчика 5, левый фотодиод при этом должен быть открыт. Для регулировки положения флажка 6 отпускают винт крепления флажка и устанавливают специальное приспособление 3 так, как показано на рис. 2.30, а. Удерживая приспособление и якорь 2 от перемещения, передвигают флажок до упора в скос приспособления и фиксируют его на втулке 4.

Печатающий блок осуществляет печать алфавитно-цифровых и специальных символов, а также вырабатывает сигнал ЛДП, который

определяет позицию печати каждого знака. Он включает в себя (рис. 2.31) пишущую головку 1, каретку 14, ловитель 17, коробку 16, Кронштейн 3 с пишущей головкой крепится к выступу каретки винтом 2. В передней части каретки запрессованы два бронзовых подшипника 15, в средней части установлен плавающий пластмассовый подшипник 9, его вертикальное перемещение ограничивает плоская пружина 4. На каретке смонтированы также держатели 19 для присоединения тросов, малогабаритный разъем 7, фотодатчик 11, упоры 18 и 21, которые взаимодействуют с фотодатчиками правого и левого поля соответственно.

Ловитель 17 предназначен для сбора капель, не участвующих в формировании знака. Эти капли, попадая на его верхнюю кромку, стекают в коробку 16, а из нее по фитилю 12 и трубке 13 — в сливной желоб. В задней части каретки 14 закреплен одним концом гибкий шланг 10, в оболочках которого размещены соединительный жгут и чернильный трубопровод 5.

Регулировка углового положения пишущей головки относительно ловителя 17 производится с помощью винта 20 при слегка вывернутом винте 2. Сверху каретка 14 накрывается крышкой 6, фиксируемой защелкой 8.

Пишущая головка является одним из самых ответственных узлов устройства и включает в себя (рис. 2.32) козырек 1 со вставкой 17, корпус 2, клапанный электрод 3, корпус 6 с соплом 4, корпусом 5 и гайкой 8, две пары отклоняющих электродов 16, вставку 13, кронштейн 10 с осью 9 и втулкой 12 с рычагом 11. Винты крепления козырька 1 одновременно

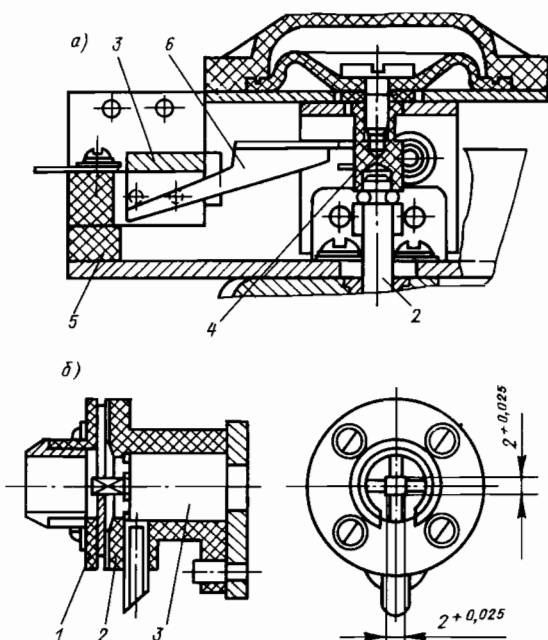


Рис. 2.30. Настройка системы подачи чернил и зазора между электродами пишущей головки ЭКСРУ ЭП типа УПС-35 (обозначения те же, что и на рис. 2.28, кроме 3 — приспособление)

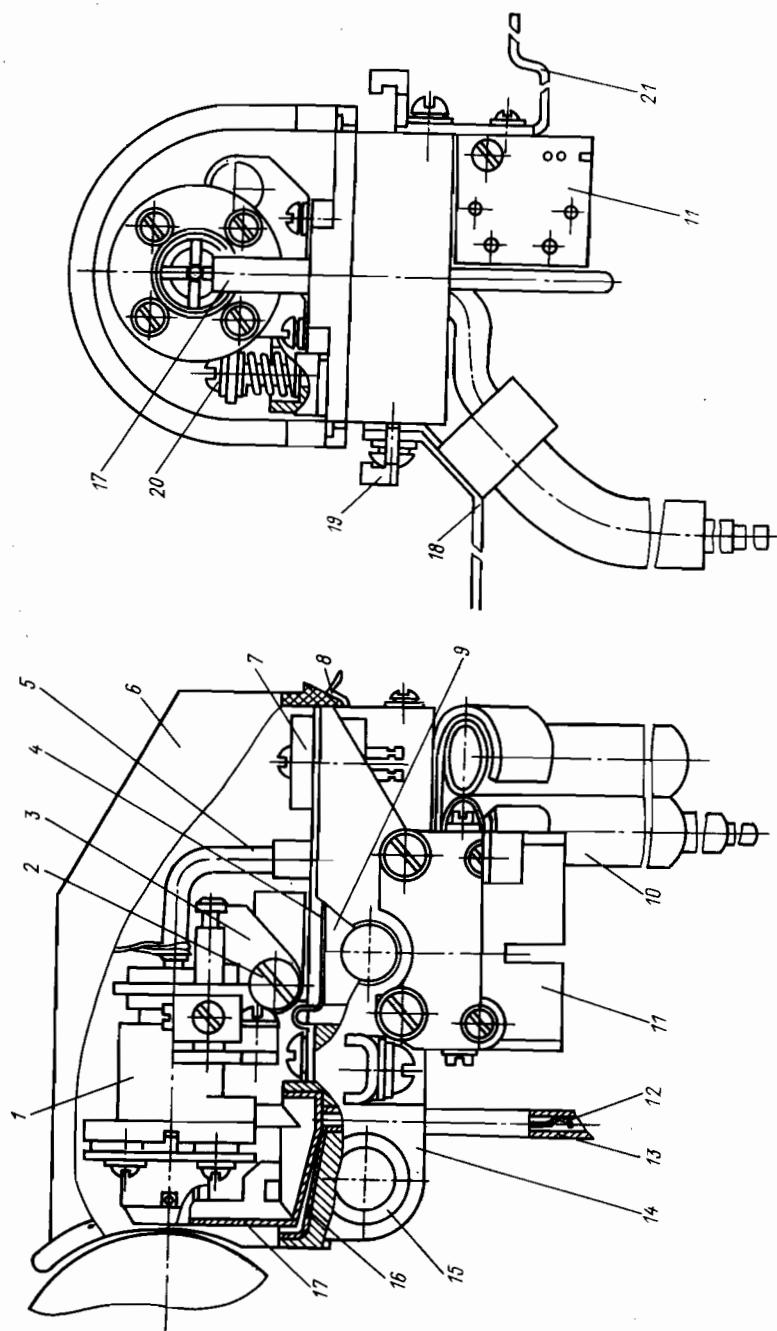


Рис. 2.31. Конструкция печатающего блока ЭКСРУ ЭП типа УПС-35

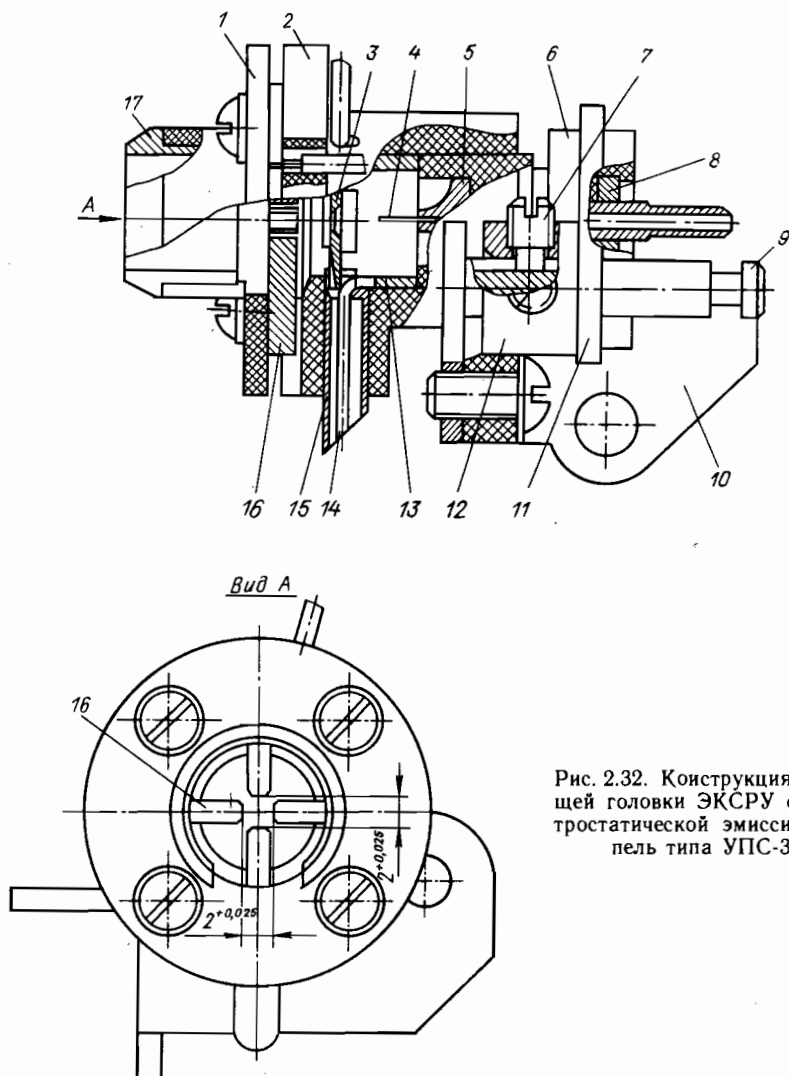


Рис. 2.32. Конструкция пищевой головки ЭКСРУ с электростатической эмиссионной каплей типа УПС-35

служат для крепления электродов 16. Вставки 13 и 17 служат для экранировки капельной струи.

Втулка 12, жестко связанная с рычагом 11, имеет возможность перемещения по оси 9. В рабочем положении корпус 6 фиксируется при помощи винтов 7. При смене сопла 4 или при обслуживании винты 7 вывертываются на пол-оборота и рычаг 11, вильчатый конец которого входит в проточку на корпусе 6, сдвигается по оси 9 назад. На этой оси, параллельной оси корпуса 2, выполнен паз, в который входит хвостовик винта 7. Благодаря этому корпус 6 вместе с соплом 4 входит и выходит из корпуса 2 строго по его оси и не может отклониться в сторону до тех пор,

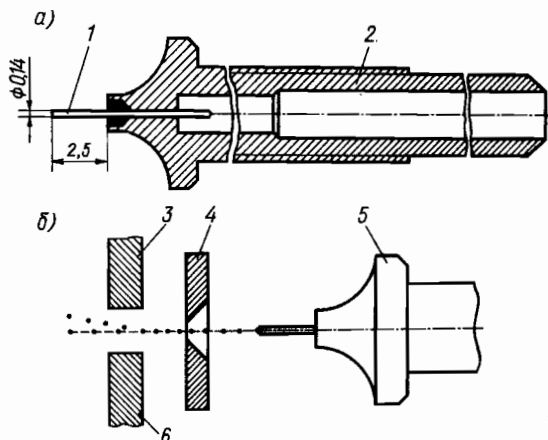


Рис. 2.33. Генератор капель устройства УПС-35 с электростатической эмиссией капель

пока сопло 4 полностью не выйдет из него. Тем самым сопло 4 предохраняется от поломки при обслуживании.

Трубка 15 служит для отвода капель чернил, которые могут оседать на поверхности электрода 3. Этой же цели служит фитиль 14, выполненный из жилы монтажного провода и припаянный к вставке 13.

Зазор между электродами 16, равный $2^{+0.025}$ мм, выставляется с помощью специального приспособления (см. рис. 2.30, б). Приспособление центрируется по отверстию корпуса 2, при этом электрод 3, вставка 13 и корпус 6 должны быть сняты.

Сопло (рис. 2.33, а) представляет собой стеклянный капилляр 1 с наружным диаметром $0,14 \pm 0,01$ мм и внутренним диаметром $0,09 \pm 0,01$ мм. Капилляр 1 вклеен в латунный корпус 2. На наружную поверхность капилляра нанесено гидрофобное покрытие, для того чтобы чернила не натекали на наружную поверхность капилляра.

Процесс струйной печати с электростатическим способом эмиссии основан на том, что чернила под небольшим напором образуют мениск на конце сопла (рис. 2.33, б). Этот мениск вытягивается вперед электростатическим полем, прилагаемым между соплом 5 и ускоряющим электродом 4. Под действием поля от конца мениска отрывается капля, получающая определенное ускорение. После этого мениск возвращается в исходное положение, и процесс снова возобновляется. Таким образом, процесс носит автоколебательный характер. Частота генерации капель при этом зависит от размеров сопла, поверхностного натяжения, плотности и вязкости чернил.

Капли чернил, отрывающиеся от сопла, имеют одинаковый размер и электрический заряд. При подаче соответствующего напряжения на отклоняющие электроды 3 и 6 капли будут изменять свою траекторию в вертикальной плоскости. Другая пара электродов, лежащая в горизонтальной плоскости и не показанная на рисунке, отклоняет капли в горизонтальной плоскости.

Механизм бумагоопорного вала выполнен на базе аналогичного по функции механизма пишущей машины «Ятрань».

Привод осуществляет преобразование вращательного движения и передачу его основным функциональным механизмам в соответствии с управляющими сигналами. Привод выполнен в виде функционального законченного блока и включает в себя электродвигатель 1 (рис. 2.34), упругую центробежную муфту 2; червячный редуктор 4; механизм включения интервального механизма, состоящий из пружинной муфты, барабана 3, электромагнита; механизм перемещения печатающего блока, состоящий из аналогичной пружинной муфты, барабана 5 с тросом 6 электромагнита и тормоза. Элементы привода закреплены на кронштейне. Электрическая связь привода с устройством осуществляется при помощи жгута.

Упругая центробежная муфта включает в себя ведущий фланец 1 (рис. 2.35, а), ведомый фланец 2, упругий элемент-вкладыш 3, выполненный из резиновой ленты. Фланец 1 крепится на валу электродвигателя, фланец 2 — на валу редуктора. При вращении фланца 1 вкладыш 3 под действием центробежной силы прижимается к внутренним поверхностям обоих фланцев и вращающий момент передается на фланец 2. Прорези А, выполненные на вкладыше, позволяют муфте работать при перекосах валов. Благодаря возможности проскальзывания вкладыша при перегрузках муфта является одновременно и предохранительной.

Редуктор включает в себя корпус 6 (рис. 2.35, б), червяк 7, червячное колесо 8, втулки подшипников 9, сальники 10, гайки 11, распорные втулки 12, упорные кольца 11 со стопорными винтами 15, картонную прокладку 14, сегментную шпонку 15, выходной вал 4, крышку 16 с распорным кольцом, шарикоподшипники 17 с маслоотражательными шайбами 18, крышку 19, фланец 21 с торцевой шпонкой 20, крышку 22.

Фланец 21 является ведомым элементом центробежной муфты. Уплотнение на выходе вала червяка 7 обеспечивается лабиринтом, выполненным в крышке 19 и фланце 21. Червячное колесо 8 и втулка подшипников 9 выполнены из бронзы. Внутренняя полость корпуса 6 запол-

нена на одну треть смазочным материалом ЦИАТИМ-221. В верхней части корпуса выполнено отверстие А для сообщения внутренней полости с атмосферой.

Механизм включения интервального механизма включает в себя пружинную муфту, состоящую из втулки 1 (рис. 2.36, а), скобы 2, пружины 3, выполненной из ленточной пружинной стали. Пружина 3, имеющая правое направление навивки, одним концом посажена на выступ втулки 1 и закреплена скобой 2. Вторым концом пружины 3, имеющей левое направление навивки, одним концом посажена на выступ втулки 1 и закреплена скобой 2. Вторым концом пружины 3, имеющей левое направление навивки, одним концом посажена на выступ втулки 1 и закреплена скобой 2. Вторым концом пружины 3, имеющей левое направление навивки, одним концом посажена на выступ втулки 1 и закреплена скобой 2.

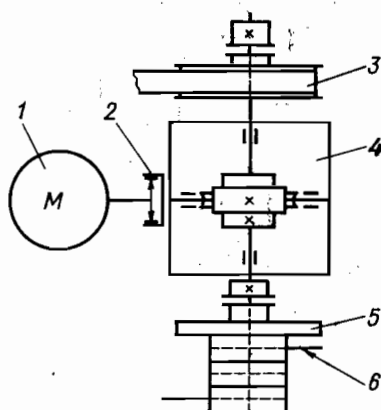


Рис. 2.34. Кинематическая схема привода ЭКСРУ ЭП

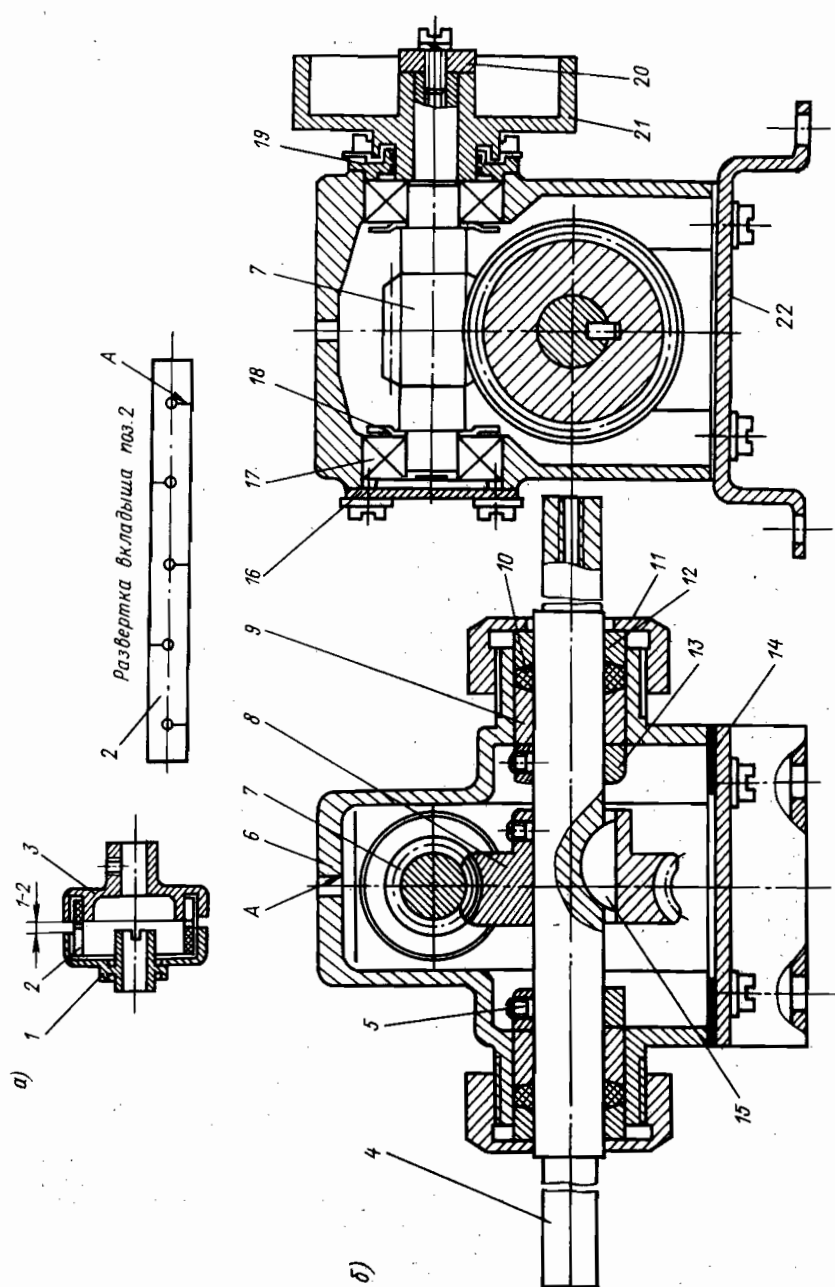


Рис. 2.35. Центробежная муфта (а) и червячный редуктор (б) привода ЭКСРУ с электростатической эмиссионной каплей

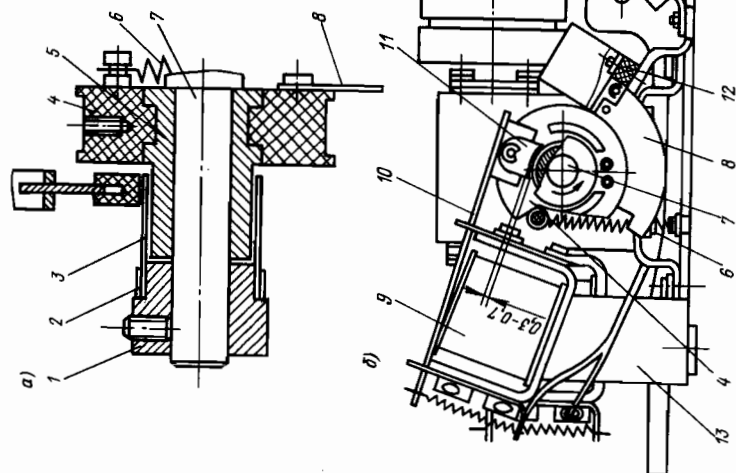


Рис. 2.36. Механизм включения интервального механизма электрокапельного устройства типа УПС-35

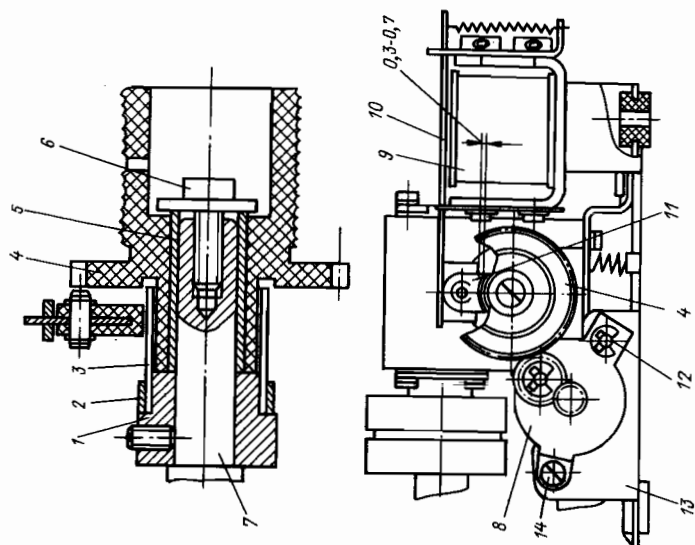


Рис. 2.37. Механизм перемещения печатающего блока электрокапельного устройства УПС-35

жина 3 с небольшим зазором посажена на втулку 5 барабана 4. Втулка 1 является ведущим элементом и жестко связана с валом 7. Барабан 4 имеет возможность свободно вращаться на этом валу. Между втулкой 1 и торцом втулки 5 имеется зазор 0,1—0,2 мм.

Вал 7 при включенном электродвигателе постоянно вращается вместе с втулкой 1 и пружиной 3. Барабан 4 при этом неподвижен. При включении электромагнита 9 (рис. 2.36, б) колодка 11, закрепленная на якоре 10, прижимает пружину 3 (рис. 2.36, а) к втулке 5 барабана 4, вызывая тем самым закручивание пружины 3. Последняя плотно охватывает втулку 5, и вращающий момент передается на барабан 4, который, поворачиваясь, наматывает на себя ленту, вызывая тем самым перемещение бумаги на один интервал. Исходное и конечное состояния механизма контролируются фотодатчиком 12 (рис. 2.36, б) с помощью шторки 8.

Пружина 6 служит для предотвращения поворота барабана 4 по инерции под действием возвратной пружины интервального механизма при выключении пружинной муфты, что может вызвать срабатывание фотодатчика 12.

Зазор между колодкой 11 и пружиной 3 составляет 0,3—0,7 мм, что достигается перемещением электромагнита 9 относительно крепежных отверстий в кронштейне 13.

Механизм перемещения печатающего блока включает в себя пружинную муфту, аналогичную вышеописанной, с втулкой 1 (рис. 2.37), скобой 2 и пружиной 3, барабан 4, посаженный на втулку 5, электромагнит 9 с якорем 10 и тормоз 8. Втулка 5 прижата к втулке 1 винтом 6. Между торцом втулки 5 и барабаном 4 имеется небольшой зазор.

В исходном состоянии вал 7 постоянно вращается вместе с втулкой 1, пружиной 3 и втулкой 5, барабан 4, имеющий винтовую канавку на правом конце, на которую намотан трос, связанный с печатающим блоком, остается неподвижным. При включении электромагнита 9 срабатывает пружинная муфта и барабан 4 начнет вращаться, вызывая тем самым перемещение печатающего блока.

Зазор между колодкой 11 и пружиной 3 составляет 0,3—0,7 мм, что достигается перемещением электромагнита 9 относительно крепежных отверстий в кронштейне 13. Правильное зацепление между зубчатыми венцами барабана 4 и тормоза 8 достигается перемещением корпуса тормоза 8 относительно оси 12 при отпущенном винте 14.

Тормоз служит для предохранения печатающего блока от сильного удара при его возврате. Тормоз включает в себя (рис. 2.38) кронштейн 1, колодки 2, зубчатые колеса 3 и 8, ось 4, опору 5, корпус 6, шайбу 7. Колодки 2 опираются на выступы опоры 5 и имеют возможность радиального перемещения. Зубчатое колесо 3 находится в постоянном зацеплении с зубчатым колесом 8 и зубчатым венцом барабана 4, показанного на рис. 2.37. При вращении последнего зубчатое колесо 8 заставляет вращаться опору 5, которая, в свою очередь, увлекает за собой шайбу 7 и колодки 2. Колодки под действием центробежных сил прижимаются к периферии корпуса 6, который закреплен на кронштейне 1, создавая тем самым момент сопротивления. Во время печати, когда печатающий блок

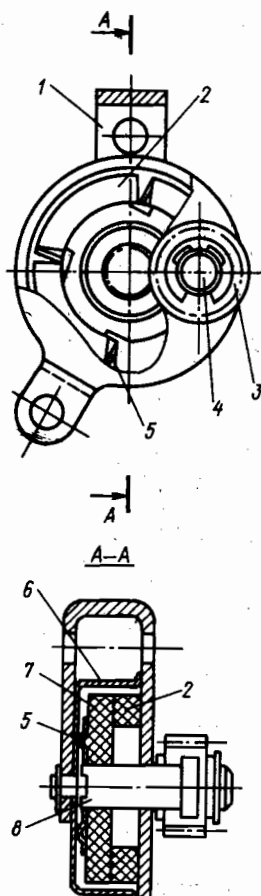
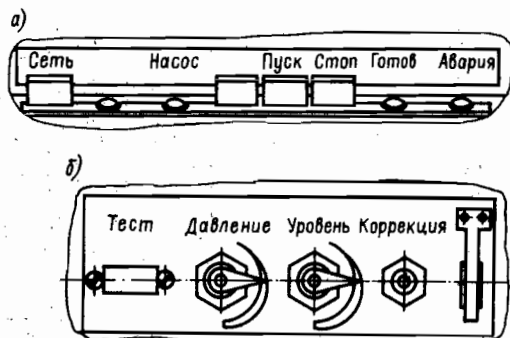


Рис. 2.38. Тормозной механизм печатающего блока УПС-35

Рис. 2.39. Расположение органов управления и индикации в электрокаплетруйном устройстве УПС-35



перемещается равномерно, тормоз выполняет роль механического фильтра, сглаживающего колебания скорости. Когда печатающий блок возвращается в исходное положение под действием пружинного барабана, тормоз служит демпфером.

Преобразователь конструктивно выполнен в секционированном пластмассовом корпусе, в котором размещены два трансформатора на Ш-образных ферритовых сердечниках и два выпрямителя, выполненных по мостовой схеме. Сверху к корпусу прикреплена печатная плата с коммутирующими транзисторами.

Расположение органов управления и индикации показано на рис. 2.39, а. Кнопка «Сеть» осуществляет включение и выключение питания. Кнопка «Насос» осуществляет включение и выключение насоса системы подачи чернил, кнопка «Пуск» — перемещение печатающего блока, кнопка «Стоп» — его остановку. Индикаторный элемент «Готов» показывает готовность механики, индикаторный элемент «Авария» — выход из строя или выключение блока питания при его перегрузке.

Расположение органов регулирования дано на рис. 2.39, б. Кнопка «Тест» осуществляет включение и выключение тестовой программы при настройке или проверке функционирования устройства. Резистор «Давление» осуществляет регулировку уровня напряжения питания электро-

магнита насоса, резистор «Уровень» — регулировку уровня высокого напряжения, подаваемого на пишущую головку, резистор «Коррекция» — регулировку коррекции печатаемых знаков.

Функциональная схема устройства УПС-35 приведена на рис. 2.40. Связь устройства печатающего струйного с внешним источником информации осуществляется с помощью интерфейса ИРПР, реализуемого управляющим устройством. Байт информации, поступающий в устройство, записывается во входной регистр ОЗУ, представляющий собой регистр сдвига, и одновременно поступает на входной дешифратор, который выделяет печатные, служебные, функциональные команды и подает их на вход управляющего устройства.

Управляющее устройство включает в себя автомат чтения, автомат записи, автомат-распределитель, блок триггеров и блок коммутаторов. Управляющее устройство вырабатывает сигналы управления в зависимости от состояния логических условий на его входах и его внутреннего состояния. При поступлении во входной регистр ОЗУ кода символа или знака входной дешифратор выдает на вход управляющего устройства логические условия печатной команды. Управляющее устройство вырабатывает набор сигналов управления записи информации в ОЗУ1. Причем запись информации в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) осуществляется в последовательном коде. Преобразование параллельного кода в последовательный осуществляется во входном регистре ОЗУ под действием сдвигающих сигналов управления. По окончании записи кода символа в ОЗУ1 входной регистр ОЗУ устанавливается в нулевое состояние. Управляющее устройство запрашивает очередной байт информации. Запись информации в ОЗУ1 осуществляется до тех пор, пока не заполнится ОЗУ1 кодами печатных символов на печатную строку. Признаком окончания записи в ОЗУ1 является появление кодов функциональных команд ВК или ПС.

Функциональные команды ВК и ПС, выделенные входным дешифратором, изменяют логические условия на входе управляющего устройства. Управляющее устройство вырабатывает набор сигналов управления, при котором ОЗУ1 работает в режиме чтения, а ОЗУ2 включается в режим записи. Запись информации в ОЗУ2 происходит идентично записи информации в ОЗУ1. Одновременно с режимом записи в ОЗУ2 происходит выборка и распечатка информации с ОЗУ1. Управляющее устройство на время распечатки всей строки, записанной в ОЗУ1, вырабатывает сигнал включения электромагнитной муфты привода каретки. На каретке закреплены пишущая головка и линейный датчик положения (ЛДП), оптически связанный с позиционной линейкой. Позиционная линейка представляет собой полосу фотонегатива с чередующимися светлыми и темными рисками. При появлении на позиционной линейке светлой риски ЛДП выдает на вход управляющего устройства сигнал разрешения печати символа. Управляющее устройство вырабатывает набор символов управления, по которым первый байт информации, поступивший из ОЗУ1, в последовательном коде преобразуется в параллельный и записывается в выходной регистр ОЗУ, в котором хранится до окончания записи символа на бумаге. Информация символа с выходов выходного

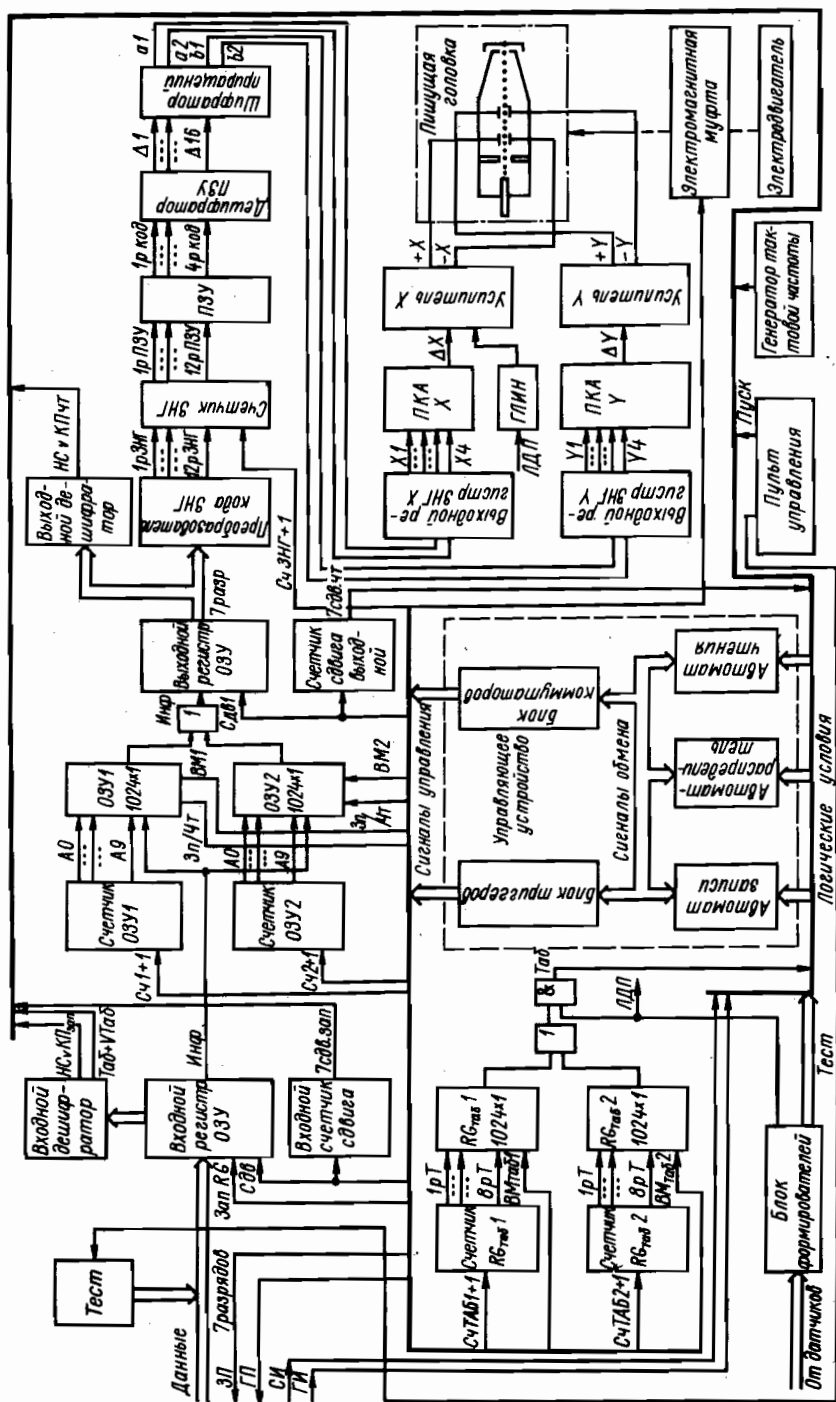


Рис. 2.40. Функциональная схема электрокаплекструйного устройства УПС-35 с электростатической эмиссией капел

регистра ОЗУ поступает в знакогенератор (ЗНГ), который вырабатывает последовательность аналоговых сигналов приращений по координатам X и Y , необходимых для формирования символа на бумаге, соответствующего коду, записанному в выходном регистре ОЗУ. Знакогенератор включает в себя преобразователь кода ЗНГ, счетчик ЗНГ, постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), дишифратор ПЗУ, шифратор приращений, выходной регистр ЗНГ, ПКА.

Выходные аналоговые сигналы приращений по координатам X и Y поступают на соответствующие усилители отклоняющих напряжений (усилители X и Y). Эти усилители выполнены идентично по схеме дифференциального усилителя постоянного тока с коррекцией крутизны фронтов. Выходы усилителей с дифференциальных плеч попарно подключены к соответствующим отклоняющим электродам X и Y пишущей головки.

Для коррекции деформации формирования знаков, возникающих за счет непрерывного равномерного движения пишущей головки вдоль запечатываемой бумаги, передним фронтом сигнала с ЛДП, указанным выше, запускается генератор линейно изменяющегося напряжения (ГЛИН). По окончании формирования знака ГЛИН устанавливается в исходное состояние. Линейно изменяющееся напряжение (ЛИН) с выхода ГЛИН поступает на второй вход усилителя X . Выходное отклоняющее напряжение с усилителя X под действием ЛИН стремится отклонить непрерывную, равномерно перемещающуюся капельную струю в крайнюю левую точку символа. Напряжение с выхода ЗНГ разворачивает как бы неподвижную капельную струю по определенной траектории, тем самым формируя неискаженные символы.

По окончании формирования символа ЗНГ выдает сигнал «Конец символа КС», по которому выходной регистр ОЗУ1 устанавливается в нулевое состояние. Управляющее устройство выбирает из ОЗУ1 очередной байт информации. По сигналу ЛДП вновь запускается ЗНГ, формируя соответствующий символ, и т. д. до запечатывания всей строки.

Функциональная команда ВК воздействует на вход управляющего устройства, которое отключает муфту привода каретки. Каретка под действием возвратной пружины возвращается в крайнее левое положение. При этом срабатывает датчик левого поля (ДЛП). Под действием этого сигнала управляющее устройство вырабатывает набор сигналов управления, при котором ОЗУ1 переводится в режим записи информации из внешнего устройства, а ОЗУ2 устанавливается в режим чтения. Режим чтения информации из ОЗУ2 идентичен чтению информации из ОЗУ1.

Из описания функциональной схемы в режиме запечатывания видно, что при чтении одного ОЗУ второе ОЗУ принимает информацию, и наоборот. Этим достигается высокая эффективность обмена информацией между источником и приемником информации.

В режиме горизонтальной табуляции первоначально производится расстановке расстановки табуляционных меток в регистр табуляции. Расстановка табуляционных меток осуществляется передачей последовательности кодов *Пробел* (в промежутках между табуляционными метка-

ми), кодов *Tab+* и кода ВК в конце строки расстановки табуляционных меток.

С приходом кодовой комбинации расстановки табуляционных меток *Tab+* входной дешифратор подает на вход управляющего устройства сигнал. Управляющее устройство вырабатывает соответствующий набор сигналов управления записи в ячейку *RGтаб1*.

При распечатке информационной строки, содержащей коды ГТ, код ГТ воздействует на вход управляющего устройства, которое устанавливает счетчик *RGтаб1* в режим счета импульсов ЛДП. Пишущая головка перемещается вправо. После совпадения содержимого счетчика с адресом ячейки *RGтаб1*, содержащую информацию о табуляционной метке, сигнал с *RGтаб1* поступает на вход управляющего устройства, которое разрешает распечатку информации, начиная от табуляционной метки.

Управляющее устройство построено на основе трех микропрограммных автоматов Мура, реализующих алгоритмы записи информации в ОЗУ, считывания информации из ОЗУ с распечаткой, а также алгоритм управления режимами записи и считывания. Все три автомата построены по одной функциональной схеме, и принцип их работы может быть пояснен на примере автомата-распределителя.

Электрическая схема автомата-распределителя приведена на рис. 2.41, *а* и включает в себя: память автомата, реализованную на *D*-триггерах (элементы *D18*, *D23*, *D24*); блок формирования сигналов возбуждения, реализованный в виде программируемого ПЗУ (элементы *D21*, *D22*); выходной дешифратор (элемент *D28*); входной мультиплексор (элемент *D25*); формирователь адреса условия перехода, реализованный в виде программируемого ПЗУ (элемент *D26*); триггер условия (элемент *D18*).

В качестве элементной базы в схеме на рис. 2.41 использованы: *D1*, *D2*, *D6*, *D7* — К155ИЕ5; *D3*, *D8* — КР565РУ2А; *D4*, *D10*, *D11*, *D13*, *D15* — К155ЛАЗ; *D5*, *D17*, *D20* — К155ЛА4; *D9*, *D27* — К155ЛИ1; *D12*, *D18*, *D23*, *D24* — К155ТМ2; *D14* — К155ЛА1; *D16* — К155ЛА6; *D19*, — К155ЛА8; *D21*, *D22*, *D26* — КР556РТ4; *D25* — К155КП5; *D28* — К155ИД3.

Сигналом *ОСБ* память автомата приводится в исходное (нулевое) состояние. В соответствии с состоянием памяти формирователь адреса условия перехода и входной мультиплексор подключают цепь анализируемого согласно алгоритму условия перехода к *D*-входу триггера условия. По заднему фронту тактовой частоты триггер условия запоминает значение условия перехода. Выход триггера условия совместно с выходами памяти автомата образуют адрес для блока формирования сигналов возбуждения, на выходах которого формируется значение следующего состояния памяти автомата, которое записывается в память автомата по переднему фронту тактовой частоты. Далее цикл работы автомата повторяется. Выходные сигналы управления автомата определяются его состоянием, которое преобразуется в унитарный код выходным дешифратором.

Алгоритм работы автомата-распределителя (АР) приведен на рис. 2.42. Из исходного состояния АР переходит в состояние ожидания

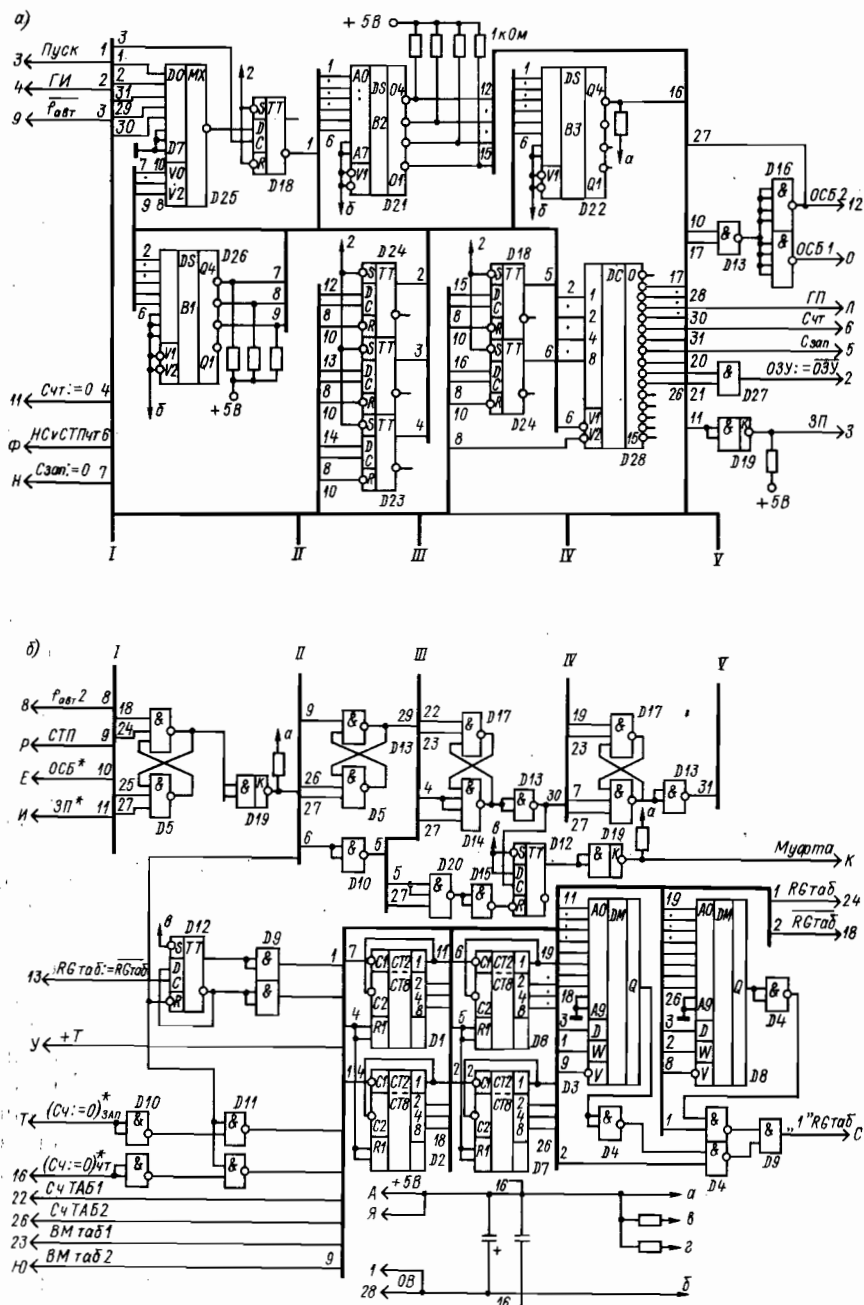


Рис. 2.41. Принципиальная электрическая схема автомата-распределителя электрокапельструйного устройства УПС-35 с электростатической эмиссией капель

ПЕРЕХОДЫ
АВТОМАТА-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ

Код состояния	Условие перехода			Код последующего состояния автомата
	Обозначение	Адрес	Значение	
0	—	0	0 1	11 11
1	—	0	0 1	2 2
2	—	0	0 1	12 12
3	—	0	0 1	13 13
4	—	0	0 1	7 7
5	—	0	0 1	6 6
6	—	0	0 1	15 15
7	—	0	0 1	16 16
8	—	0	0 1	18 18
9	—	0	0 1	17 17
10	—	0	0 1	0 0
11	Пуск	0	0 1	11 .1
12	ГИ	1	0 1	12 3

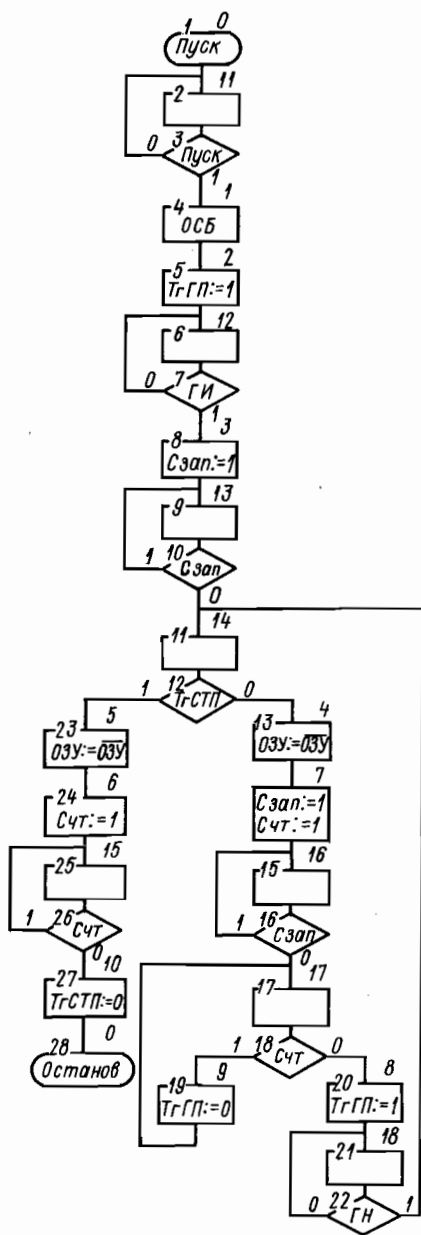


Рис. 2.42. Алгоритм работы автомата-распределителя электрокапеструющего устройства УПС-35

сигнала *Пуск*. При приходе сигнала *Пуск* АР вырабатывает сигналы *ОСБ* и *ТгГП*: = 1 и переходит в состояние ожидания сигнала *ГИ* от источника информации. При приходе сигнала *ГИ* АР сигналом *Сзап*: = 1 устанавливает признак начала работы автомата записи и переходит в состояние ожидания конца работы автомата записи. По окончании работы автомата записи АР анализирует состояние триггера конца передачи данных и в том случае, если был принят код СТП, вырабатывает сигналы: *ОЗУ*: = *ОЗУ*, тем самым переключая *ОЗУ1* в режим чтения, а *ОЗУ2* — в режим записи; *Счт*: = 1 устанавливает признак начала работы автомата чтения. По окончании работы автомата чтения АР сигналом *ТгГП*: = 0 сбрасывает триггер конца передачи и переходит в исходное состояние.

Если в первом цикле записи не был принят код КП, то АР вырабатывают сигналы *ОЗУ*: = *ОЗУ*, *Счт*: = 1 и *Сзап*: = 1, т. е. одновременно запускает автоматы чтения и записи. Далее АР переходит в состояние ожидания конца работы обоих автоматов и по выполнении этого условия вновь переходит к анализу состояния *ТгСТП*.

Переходы автомата-распределителя приведены в табл. 2.2.

Электрическая схема автомата записи (АЗ) приведена на рис. 2.43, а и включает в себя: память автомата (элементы *D20*, *D24*, *D26*); блок формирования сигналов возбуждения (элементы *D21*, *D25*); выходной дешифратор (элемент *D18*); входной мультиплексор (элемент *D19*); формирователь адреса условия перехода (элемент *D16*); триггер условия (элемент *D20*).

В схеме на рис. 2.43 использованы следующие элементы: *D1* — К155ЛА1; *D2*, *D4*, *D7*, *D15*, *D20*, *D24*, *D26* — К155ТМ2; *D3*, *D8*, *D12*, *D16*, *D21*, *D25* — КР556РТ4; *D5*, *D18* — К155ИД3; *D3*, *D6*, *D19* — К155КП5; *D9*, *D11*, *D22* — К155ЛА3; *D10* — К155ЛА4; *D13*, *D17* — К155ЛА2; *D14* — К155ЛИ1.

Алгоритм работы автомата записи приведен на рис. 2.44.

Из исходного состояния АЗ переходит в состояние ожидания сигнала *Сзап*. По приходе сигнала *Сзап* АЗ анализирует условие *ГИ* и в случае его наличия вырабатывает сигнал *ЗП*: = 1, устанавливая триггер запроса приемника. Далее АЗ переходит в состояние ожидания сигнала *СТР*. В цикле ожидания АЗ анализирует также сигнал *ГИ* и в случае его

Код состояния	Условие перехода			Код последующего состояния автомата
	Обозначение	Адрес	Значение	
13	Сзап	2	0 1	14 13
14	ТгКП	3	0 1	4 5
15	Счт	4	0 1	10 15
16	Сзап	2	0 1	17 16
17	Счт	4	0 1	8 9
18	ГИ	1	0 1	18 14

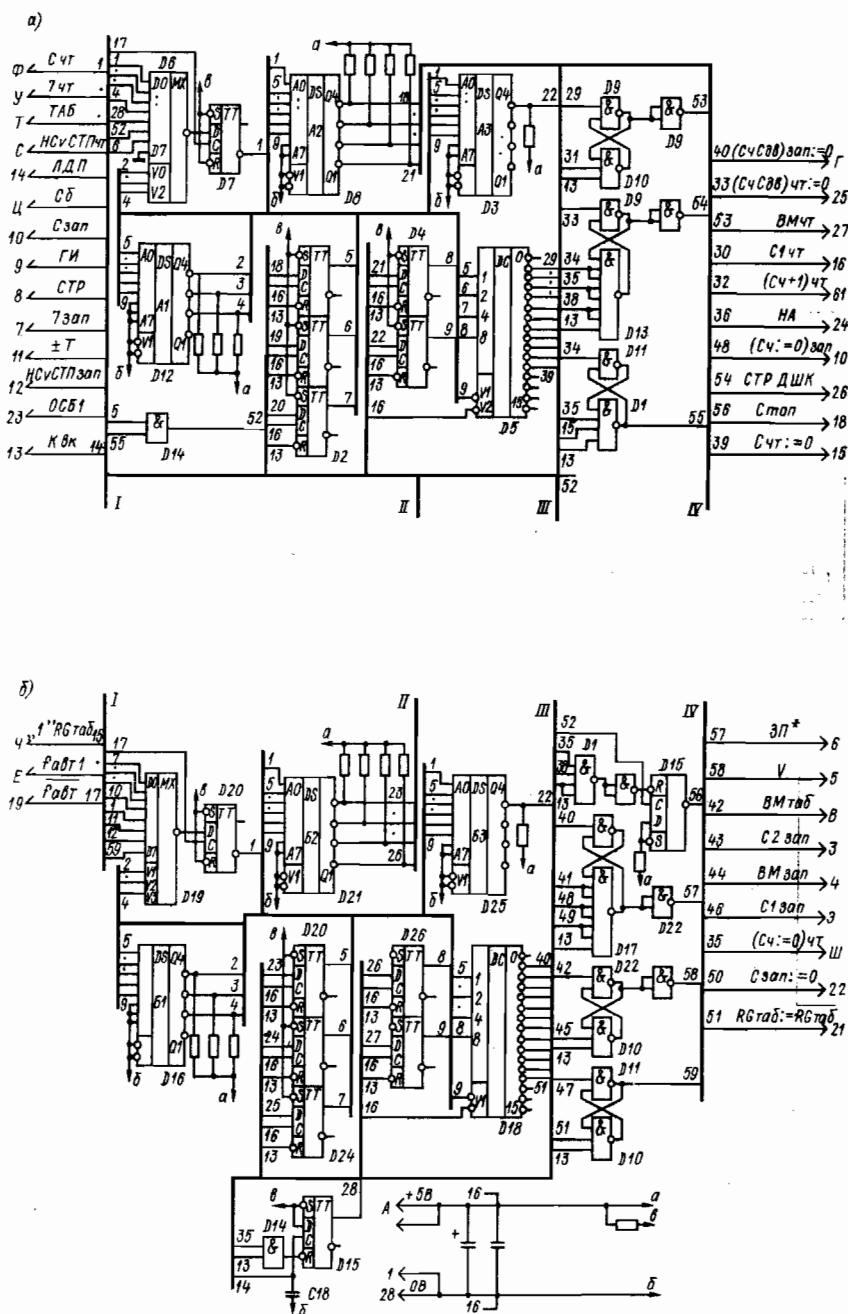


Рис. 2.43. Принципиальная электрическая схема автомата записи-чтения электрокаплевидного устройства УПС-35 с электростатической эмиссией капель

ПЕРЕХОДЫ АВТОМАТА ЗАПИСИ

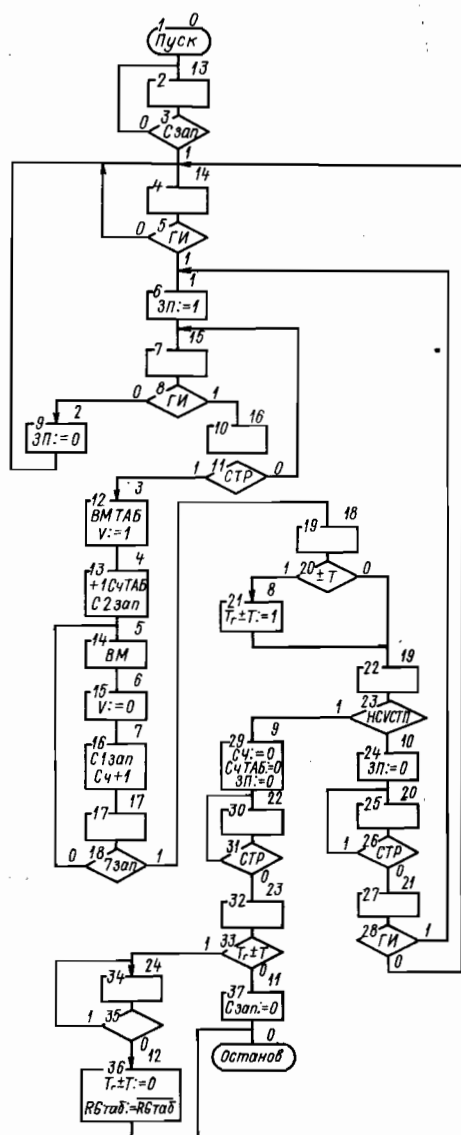


Рис. 2.44. Алгоритм работы автомата записи электрокапелеструющего устройства УПС-35

Код состояния	Условие перехода			Код последующего состояния автомата
	Обозначение	Адрес	Значение	
0	—	0	0 1	13 13
1	—	0	0 1	15 15
2	—	0	0 1	14 14
3	—	0	0 1	4 4
4	—	0	0 1	5 5
5	—	0	0 1	6 6
6	—	0	0 1	7 7
7	—	0	0 1	17 17
8	—	0	0 1	19 19
9	—	0	0 1	22 22
10	—	0	0 1	20 20
11	—	0	0 1	0 0

Продолжение табл. 2.3

Код состояния	Условие перехода			Код последующего состояния автомата
	Обозначение	Адрес	Значение	
12	—	0	0 1	0 0
13	Сзап	0	0 1	13 14
14	ГИ	1	0 1	14 1
15	ГИ	1	0 1	2 16
16	СТР	2	0 1	15 3
17	7зап	3	0 1	5 18
18	$\pm T$	5	0 1	19 8
19	ВК КП	6	0 1	10 9
20	СТР	2	0 1	21 20
21	ГИ	1	0 1	14 1
22	СТР	2	0 1	23 22
23	$Tг \pm T$	7	0 1	11 24
24	Счт	4	0 1	12 24

исчезновения сбрасывает триггер ЗП и возвращается в цикл ожидания ГИ. По приходе сигнала СТР АЗ вырабатывает сигналы ВМТАБ и +ИСЧТАБ, управляющие записью и адресом регистра табуляции, и далее вырабатывает последовательность сигналов ВМ, $V: = 0, C1зан$, управляющую преобразованием принятого слова информации из параллельного кода в последовательный и записью его в ОЗУ. Эта последовательность повторяется семь раз, после чего АЗ переходит к анализу принятого кода. Если принятый код является кодом установки (снятия) табуляционной метки, то АЗ сигналом $Tг \pm T: = 1$ устанавливает соответствующий триггер. Если принятый код является кодом ВК (ПС) или КП, то АЗ вырабатывает сигнал $Сч = 0, СчТАБ: = 0, ЗП = 0$, которым сбрасывает в «0» счетчики ОЗУ, регистра табуляции и снимает сигнал ЗП. Далее после ответного снятия сигнала СТР АЗ анализирует состояние триггера $\pm T$. Если данный триггер находится в состоянии «1», т. е. если принятая строка информации является строкой расстановки табуляционных меток, АЗ переходит в состояние ожидания конца работы автомата чтения; по выполнении этого условия вырабатывает сигнал $Tг \pm T: = 0, RГтаб: = \overline{RГтаб}$, которым сбрасывает триггер $\pm T$ и переводит RГтаб1 в режим считывания, а RГтаб2 — в режим записи. Далее АЗ переходит в исходное состояние и повторяет цикл записи информационной строки. Если триггер $\pm T$ находится в состоянии «0», то АЗ вырабатывает сигнал $Сзап = 0$ и переходит в исходное состояние и далее в состояние ожидания сигнала Сзап.

Переходы автомата записи приведены в табл. 2.3.

Схема автомата чтения (АЧ) при-

ведена на рис. 2.43, б и включает в себя: память автомата (элементы D2, D4, D7); блок формирования сигналов возбуждения (элементы D3, D8); выходной дешифратор (элемент D5); входной мультиплексор (элемент D6); формирователь адреса условия перехода (элемент D12); триггер условия (элемент D7).

Алгоритм работы автомата чтения приведен на рис. 2.45.

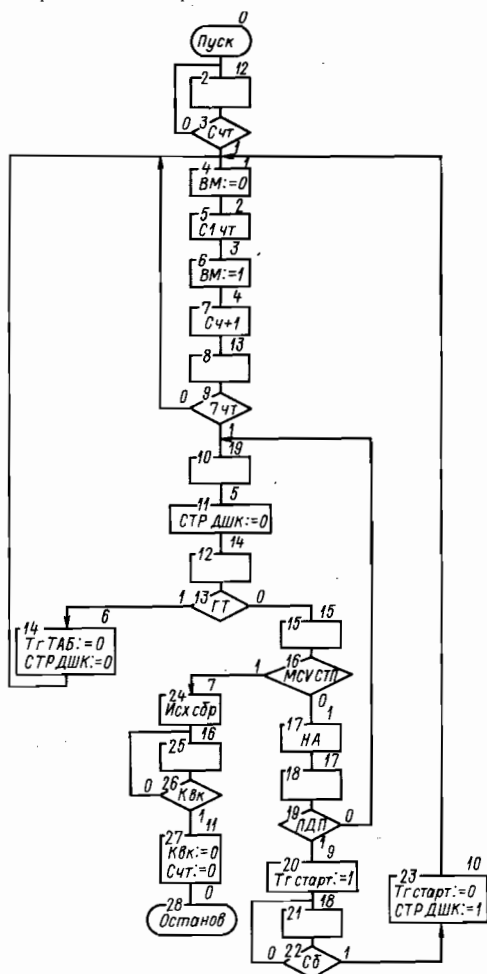


Рис. 2.45. Алгоритм работы автомата чтения электрокапелеструйного устройства УПС-35

Таблица 2.4

ПЕРЕХОДЫ АВТОМАТА ЧТЕНИЯ

Код состояния автомата	Условие перехода			Код последующего состояния автомата
	Обозначение	Адрес	Значение	
0	—	0	0 1	12 12
1	—	0	0 1	2 2
2	—	0	0 1	3 3
3	—	0	0 1	4 4
4	—	0	0 1	13 13
5	—	0	0 1	14 14
6	—	0	0 1	1 1
7	—	0	0 1	16 16
8	—	0	0 1	17 17
9	—	0	0 1	18 18
10	—	0	0 1	1 1
11	—	0	0 1	0 0

Код состояния автомата	Условие перехода			Код последующего состояния автомата
	Обозначение	Адрес	Значение	
12	Счт	0	0 1	12 1
13	7чт	1	0 1	1 19
14	ТАБ	2	0 1	15 6
15	ВККП	3	0 1	8 7
16	Квк	4	0 1	16 11
17	ЛДП	5	0 1	5
18	Сб	6	0 1	18 10
19	—	0	0 1	5 5

Из исходного состояния АЧ переходит в состояние ожидания сигнала *Счт*. По приходе сигнала *Счт* автомат чтения вырабатывает последовательность сигналов: $ВМ:=0$, $С1чт$, $ВМ:=1$, $Сч+1$, управляющую считыванием слова информации из ОЗУ и преобразованием его из последовательного кода в параллельный. Эта последовательность повторяется семь раз, после чего АЧ вырабатывает сигнал $СТР ДШК:=0$, разрешая тем самым работу дешифратора команд, и переходит к анализу считанного из ОЗУ кода. Если считанный код является кодом *Горизонтальная табуляция*, автомат чтения сбрасывает в «0» триггер ТАБ сигналом $ТгТАБ:=0$ и вновь повторяется цикл считывания кода из ОЗУ. Если считанный код является кодом ВК или КП, автомат чтения устанавливает в исходное состояние счетчики ОЗУ и регистра табуляции, триггер ТАБ, снимает сигнал $СТР ДШК$ и переходит в состояние ожидания сигнала *Квк*, т. е. ожидает сигнал исполнения механическими устройствами операции возврата каретки и перевода строки. По выполнении этого условия АЧ сигналом $Счт=0$ устанавливает признак окончания цикла чтения строки и возвращается в исходное состояние. Если принятый код не является кодом ВК

или КП, т. е. является кодом печатного символа, АЧ вырабатывает сигнал *Запись в СчЗНГ*, тем самым записывая преобразованный код символа в счетчик знакогенератора, и переходит в состояние ожидания сигнала *ЛДП*. При приходе сигнала *ЛДП* АЧ вырабатывает сигнал $Тг старт:=1$, тем самым запуская серию опроса ПЗУ знакогенератора, и входит в состояние ожидания сигнала *Сб*, т. е. сигнала окончания формирования символа знакогенератором. По приходе сигнала *Сб* автомат чтения вырабатывает сигнал $Тг старт:=0$, $СТР ДШК:=1$, запрещая серию опроса ПЗУ и работу дешифратора команд, и далее вновь входит в цикл считывания кода из ОЗУ.

Переходы автомата чтения приведены в табл. 2.4.

Узел табуляции предназначен для приема и хранения строки табуляционных меток, а также для управления печатно-информационной строкой, содержащей команды «Горизонтальная табуляция».

Узел табуляции приведен на рис. 2.41, б и включает в себя: регистры табуляции $RGтаб1$ (элемент $D3$) и $RGтаб2$ (элемент $D8$); адресные счетчики регистров табуляции $CчТАБ1$ (элементы $D1, D2$) и $CчТАБ2$ (элементы $D6, D7$); триггер режима регистров табуляции (элемент $D12$); триггер табуляции $TгТАБ$ (элементы $D1, D11$).

Узел табуляции функционирует следующим образом. Сигналом $ОСБ$ счетчики регистров табуляции устанавливаются в исходное (нулевое) состояние; триггер режима регистров табуляции устанавливается в состояние, соответствующее режиму *Запись* для $RGтаб1$ и *Чтение* — для $RGтаб2$; $TгТАБ$ устанавливается в состояние, разрешающее прохождение сигнала $ЛДП$ на автомат чтения. Далее счетчики регистров табуляции под воздействием сигналов $CчТАБ1$ и $CчТАБ2$ изменяют свое состояние на 1 в соответствии с каждой записью (считыванием) символа в ОЗУ (из ОЗУ), адресуя таким образом регистры табуляции. При записи в ОЗУ информационной строки в $RGтаб1$ записываются логические «0» по всем адресам. Если принимаемая строка является строкой табуляционных меток, то в $RGтаб1$ будут записаны логические «1» по адресам, соответствующим табуляционным меткам. По окончании принятия строки табуляционных меток триггер режима регистра табуляции сигналом $RGтаб: = \overline{RGтаб}$ переключается в состояние, соответствующее режиму *Чтение* для $RGтаб1$ и *Запись* — для $RGтаб2$.

При распечатке информационной строки, содержащей команды ГТ, по первому считыванию из ОЗУ кода ГТ триггер табуляции сигналом $TгТАБ: = 0$ устанавливается в состояние, запрещающее прохождение сигнала $ЛДП$ на автомат чтения. В то же время каждый сигнал $ЛДП$ изменяет состояние счетчика адреса $RGтаб1$. При считывании из $RGтаб1$ логической «1», соответствующей ранее принятой табуляционной метке, формируется сигнал $RGтаб: = 1$, который переключает $TгТАБ$ в состояние, разрешающее прохождение сигнала $ЛДП$ на автомат чтения, и, таким образом, распечатка информации ведется с места, определенного ранее табуляционной меткой. По окончании распечатки информации из ОЗУ вновь считывается код ГТ и вновь ведется поиск следующей табуляционной метки.

При принятии в $RGтаб2$ новой строки табуляционных меток автоматом чтения вновь формируется сигнал $RGтаб: = \overline{RGтаб}$ и распечатка информации ведется по вновь принятой строке табуляционных меток.

Схема дешифратора (ДШ) приведена на рис. 2.46. Дешифратор предназначен для дешифрации принятого кода символа, а также для коммутации управляющих сигналов между ОЗУ1 и ОЗУ2.

Схема ТЭЗ ДШ включает в себя следующие функциональные элементы: входной дешифратор (элементы $D4, D11$); коммутатор сигналов $ВМзап/ВМчт$ (элементы $D1, D5, D2$); коммутатор сигналов $C1зап/Cч + 1чт$ (элементы $D8, D6, D2, D10$); коммутатор сигналов ($Cч: = 0\ зап/(Cч=0)чт$ (элементы $D8, D7, D10$); коммутатор сигналов $Cзап/ЛДП$ (элементы $D8, D9, D17$); коммутатор сигналов $ВМТАБ/ЛДП$ (элементы $D12, D13, D17$); генератор тактовой частоты (элементы $D20, D22, D21, D1, D2, D3, D14, D15$).

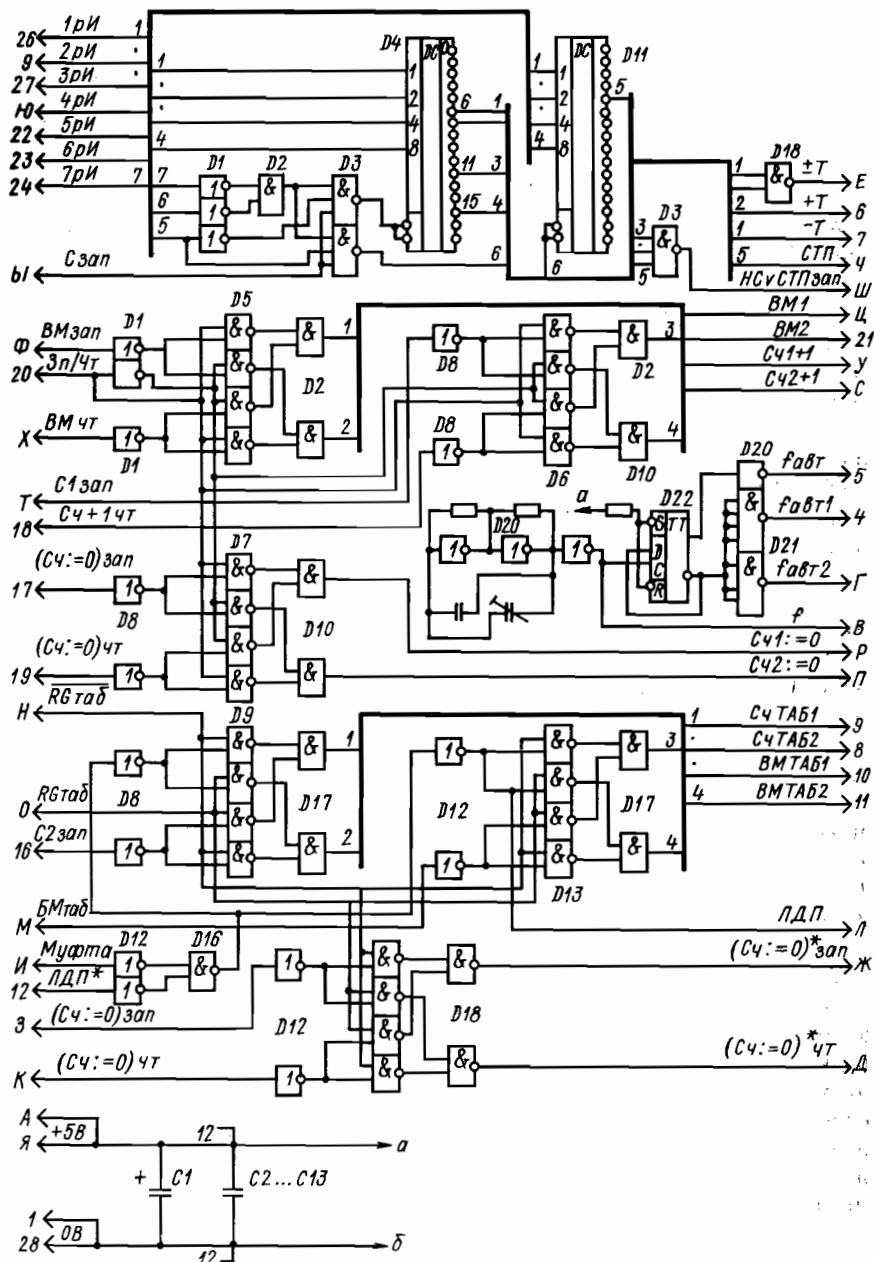


Рис. 2.46. Принципиальная электрическая схема дешифратора электрокаплярного устройства УПС-35

Дешифратор реализован на следующих интегральных микросхемах: $D1, D8, D12, D20$ — К155ЛН1; $D2, D10, D17$ — К155ЛИ1; $D3$ — К155ЛА4; $D4, D11$ — К155ИД3; $D9, D5-D7, D13, D14, D16, D18$ — К155ЛА3; $D21$ — К155ЛА6; $D22$ — К155ТМ2.

Дешифратор (ДШ) работает следующим образом. Принятый код символа дешифрируется входным дешифратором по сигналу C_{zap} . Все коммутаторы управляющих сигналов построены по одной и той же схеме, и их работа может быть рассмотрена на примере коммутатора $ВМ_{zap}/ВМ_{cht}$. Если коммутирующий сигнал $ЗП/ЧТ$ находится в состоянии логического «0», то сигнал $ВМ_{zap}$ преобразуется коммутатором в сигнал $ВМ2$, а сигнал $ВМ_{cht}$ — в сигнал $ВМ1$. Если сигнал $ЗП/ЧТ$ находится в состоянии логической «1», то $ВМ_{zap}$ преобразуется в $ВМ1$, а $ВМ_{cht}$ — в $ВМ2$. Генератор тактовой частоты вырабатывает три синхросери: f — с частотой 2 МГц; $f_1=f_2$ — с частотой 1 МГц; $f_{авт}$ — с частотой 1 МГц, инверсной по отношению к f_1, f_2 .

Оперативное запоминающее устройство ТЭЗ ОЗУ приведено на рис. 2.47 и предназначено для приема и хранения информации, поступающей от внешнего источника информации, а также передачи записанной информации для дальнейшей ее обработки. Прием информации осуществляется в параллельном коде, запись и хранение информации в ОЗУ осуществляются в последовательном коде.

Схема ОЗУ включает в себя следующие функциональные элементы: входной регистр ($D19, D23$); счетчик сдвигов входного регистра ($D1, D3, D2, D16$); счетчик адреса ОЗУ1 ($D18, D22, D26$); счетчик адреса ОЗУ2 ($D17, D21, D25$); ОЗУ1 ($D14$); ОЗУ2 ($D13$); выходной регистр ($D7, D12$); выходной дешифратор команд ($D8, D5, D10, D27, D28$); счетчик сдвигов выходного регистра ($D1, D4, D2, D16$); триггер режима ОЗУ ($D20$).

Оперативное запоминающее устройство (рис. 2.47) реализовано на микросхемах: $D1, D8, D9, D15, D16$ — К155ЛА3; $D2, D5$ — К155ЛА4; $D3, D4, D17, D18, D21, D22, D25, D26$ — К155ИЕ5; $D6, D11$ — К155ЛИ1; $D7, D12, D19, D23$ — К155ИР1; $D10, D28$ — К155ИД3; $D13, D14$ — КР565РУ2А; $D20$ — К155ТМ2; $D27$ — К155ЛА1.

Параметры других элементов: $C1$ — К150-12-12В — 10 мкФ; $C2$ — $C17$ — К10-78-Н90 — 0,068 мкФ; $R1$ — МЛТ-0,25 — 1 кОм.

При работе ОЗУ принятый код символа поступает на входной регистр и запоминается в нем по сигналу C_{zap} . Далее по сигналу $ВМ1$ производится запись в ОЗУ1 младшего бита принятого кода по адресу, определяемому счетчиком адреса ОЗУ1. Затем сигналом $C1_{zap}$ производится сдвиг информации во входном регистре в сторону младшего разряда, а сигналом $C_{ч1}+1$ производится изменение содержимого счетчика адреса ОЗУ1. Далее процедура записи бита в ОЗУ и сдвига повторяется. Число сдвигов подсчитывается в счетчике сдвигов входного регистра, который по достижении состояния «7» вырабатывает сигнал 7_{zap} . На этом запись кода символа в ОЗУ заканчивается. После принятия в ОЗУ1 кода $ВК$ (ПС) сигналом $ОЗУ:=\overline{ОЗУ}$ изменяется состояние триггера режима ОЗУ на противоположное, т. е. ОЗУ1 устанавливается в режим считывания, а ОЗУ2 — в режим записи.

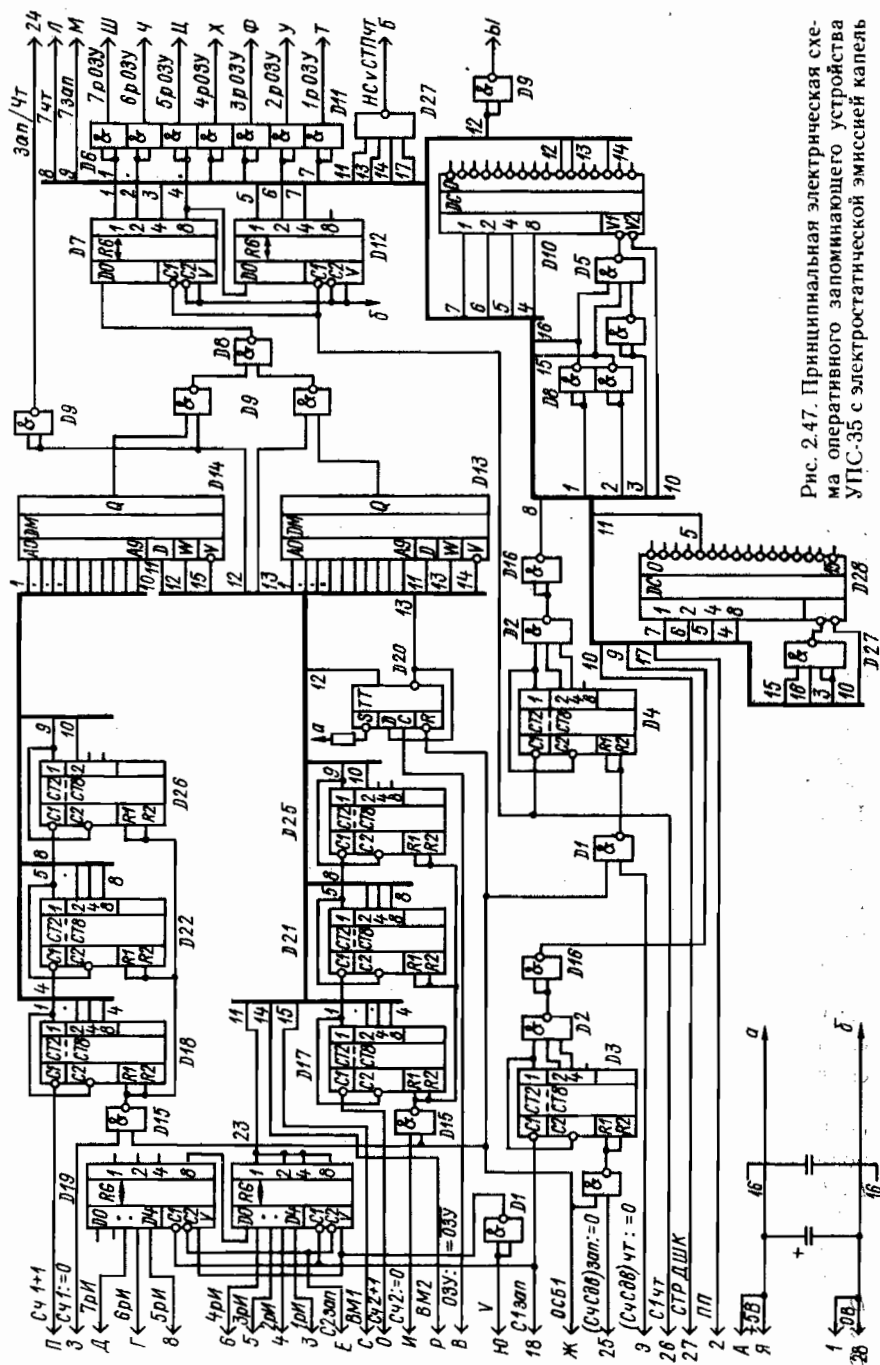


Рис. 2.47. Принципиальная электрическая схема оперативного запоминающего устройства УПС-35 с электростатической эмиссией капель

Считывание бита из ОЗУ1 производится по сигналу *ВМ1* в соответствии с состоянием счетчика адреса. Сигналом *С1чт* считанный бит записывается в выходной регистр со сдвигом. Число сдвигов подсчитывается счетчиком сдвигов выходного регистра, который по достижении состояния «7» вырабатывает сигнал *7чт*. На этом считывание кода символа из ОЗУ заканчивается. Далее сигналом *СТР ДШК* включается выходной дешифратор команд и производится анализ считанного кода. При считывании кода *ВК (ПС)* сигналом $ОЗУ = \overline{ОЗУ}$ изменяется состояние триггера режима ОЗУ и процесс записи-считывания повторяется.

Принципиальная схема знакогенератора (ЗНГ) приведена на рис. 2.48 и предназначена для формирования кодов развертки символа по принятому из ОЗУ коду символа.

Схема ЗНГ включает в себя следующие функциональные элементы: преобразователь кодов (элементы *D19, D20, D21*); счетчик знакогенератора (элементы *D16, D17, D18*); дешифратор ПЗУ (элемент *D14*); ПЗУ (элементы *D1, D2, D3, D4, D5, D6, D8, D9, D10, D15*); дешифратор приращений (элемент *D7*).

В знакогенераторе применены микросхемы: *D1 — D6, D8 — D13, D15, D19 — D21 — КР556РТ4*; *D7, D14 — К155ИД3*; *D16 — D18 — К155ИЕ7* и резисторы *R1 — R18 — МЛТ-0,25—1 кОм*.

При работе знакогенератора считанный из ОЗУ код символа поступает на вход преобразователя кодов, на выходе которого формируется адрес ПЗУ, соответствующий началу массива кодов развертки данного символа. Полученный начальный адрес заносится в счетчик знакогенератора сигналом *НА*. На вход «+1» счетчика знакогенератора поступает серия импульсов *Опрос*, последовательно изменяющая его состояние. Выходы счетчика знакогенератора подключены к адресным входам микросхем ПЗУ и к дешифратору ПЗУ, осуществляющему выборку микросхем. Таким образом, по поступившему коду символа из ПЗУ считывается последовательность четырехразрядных кодов развертки символа, которая преобразуется дешифратором приращений в унитарные коды приращений. По окончании считывания массива развертки и знака из ПЗУ считывается код *Сб* (конец развертки символа), по дешифрации которого прекращается серия *Опрос*.

Электрическая схема цифроаналогового преобразователя кодов (ЦАП) приведена на рис. 2.49 и предназначена для преобразования кодов приращений развертки символа в аналоговые сигналы развертки символа по двум координатам.

Схема ЦАП включает в себя следующие функциональные элементы: шифратор приращений (элементы *D1, D8, D19, D5, D12*); схему формирования одиночных и двойных импульсов (элементы *D13, D2, D16, D20, D9, D6*); счетчики приращений по координатам *X* и *Y* (элементы *D7, D10*); триггер запрет-разрешение (элементы *D9, D17*); цифроаналоговые преобразователи по *X* и *Y* (элементы *D4, D11*).

В принципиальной схеме ЦАП использованы элементы: *D1, D3, D12, D19 — К155ЛА2*; *D2 — К155ЛА4*; *D3, D6, D9, D13, D14, D16, D21 — К155ЛА3*; *D4, D11 — К252ПА2*; *D7, D10 — К155ИЕ7*; *D8, D15, D17 — К155ЛА1*; *D18 — К252УД3Б*; *D20 — К155ТМ2*; *VD1, VD2 —*

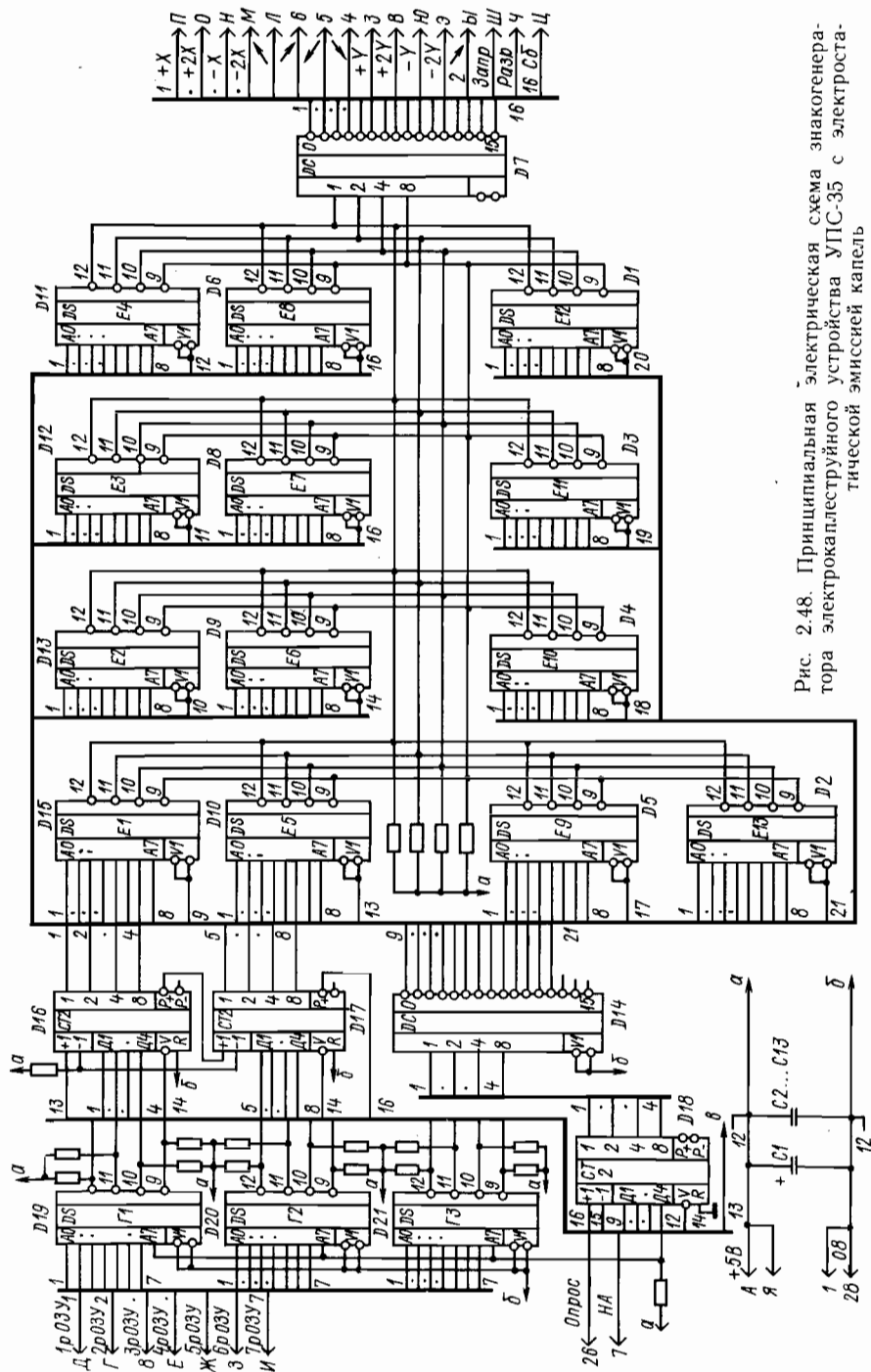


Рис. 2.48. Принципиальная электрическая схема знакогенератора электроплазменного устройства УПС-35 с электростатической эмиссией катодов

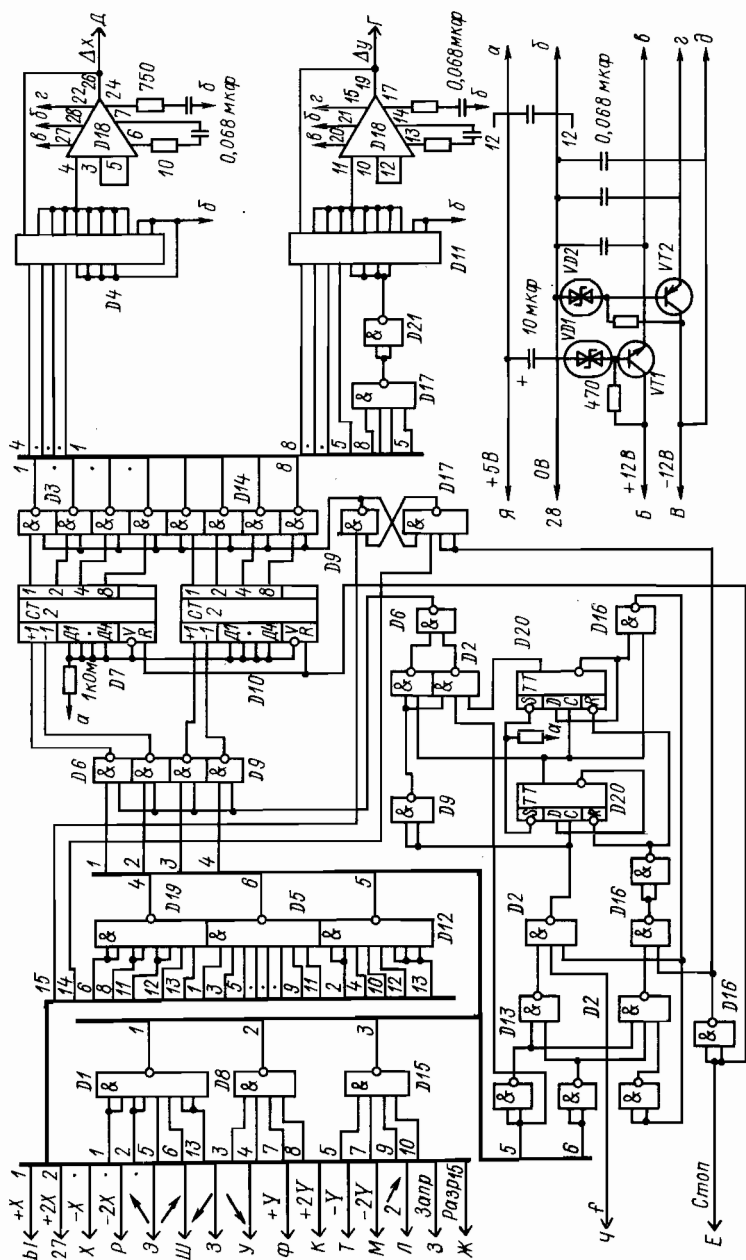


Рис. 2.49. Принципиальная электрическая схема цифроаналогового преобразователя кодов электроклапеструйного устройства УПС-35

КС162А; VT2 — КТ814Б; R1, R2 — МЛТ-0,25—470 Ом; R3, R4 — МЛТ-0,25—1 кОм; R5, R6 — МЛТ-0,25—10 Ом; R7, R8 — МЛТ — 7500 Ом; C1 — 10 мкФ, 12В; C2 — C18 — 0,068 мкФ; C19, C20 — 2200 пФ.

Цифроаналоговый преобразователь работает следующим образом. Унитарные коды приращений с ТЭЗ ЗНГ поступают на шифратор приращений, который группирует их по координатным признакам, а также по признаку одиночного или двойного приращения. Приращения $+X$, $-X$, $+Y$, $-Y$ поступают через входные вентили на счетные входы соответствующих счетчиков приращений. Сигналы одиночного или двойного приращения поступают на вход схемы формирования одиночных и двойных импульсов, выход которого подключен к вторым входам вентилях счетчиков приращений. Таким образом, при поступлении любого унитарного кода приращения состояние соответствующих счетчиков приращений изменится на одну или две единицы. Выходы счетчиков приращений подключены через выходные вентили к входам соответствующих цифроаналоговых преобразователей. Триггер запрет-разрешение, выход которого подключен ко вторым входам выходных вентилях, запрещает выдачу состояния счетчиков приращений на цифроаналоговые преобразователи в случае необходимости скачка в конфигурации символа. На выходах цифроаналоговых преобразователей формируются аналоговые сигналы развертки символа по координатам X и Y .

Принципиальная электрическая схема формирователя (Φ) приведена на рис. 2.50.

Формирователь предназначен для сопряжения управляющего логического устройства с исполнительными механизмами и датчиками, а также для формирования сигнала коррекции символа.

Схема формирователя включает в себя следующие основные функциональные элементы: формирователь сигнала ЛДП ($D1, D3, R1, C1$); формирователь сигнала ЛП ($D3, R2, C2$); формирователь сигнала ПП ($D6, D8, R3, C3$); формирователь сигнала ПС1 ($D6, R4, C4$); формирователь сигнала ПС2 ($D9, D8, R5, C5$); формирователь сигналов управления насосом ($D1, D2, D9, D8, D11$); триггер «Пуск» ($D1, R11, R14, D12, D7, R34$); триггер «Стоп» ($D7, D10, D13, R12, R15, R26, R28, C22$); формирователь сигнала Квк ($D4, D5, D7, D10$); усилитель электромагнита ПС ($A1$); усилитель электромагнита муфты ($A2$); усилитель электромагнита насоса ($A3$); усилитель электромагнита клапана насоса ($A4$); генератор сигнала коррекции ($D15, D16, VT1, VT2, R18, R19, R20, R22, R23, R25, R29, R30, R31, R35, R24, C21$).

В принципиальной схеме формирователя использованы элементы: $D1, D8, D10, D15$ — К155ЛА3; $D2, D3, D6, D9$ — К155ТЛ1; $D4, D12$ — К155ТМ2; $D5$ — К155ЛА1; $D7, D13$ — К155ЛИ1; $D11, D14$ — К155ЛА8; $D16$ — К140УД8А; $VD1$ — КД209А; $VT1$ — КТ315Б; $VT2$ — КТ361Б; $R1$ — $R7$ — МЛТ-0,25—2,2 кОм; $R8$ — МЛТ-0,25—100 Ом; $R9$ — $R17$ — МЛТ-0,25—1 кОм; $R18$ — МЛТ-0,25—1 кОм.

Усилители $A1$ — $A4$ (рис. 2.50) реализованы: $VD1$ — КД209А; $VT1$ — КТ361Б; $VT2$ — КТ815Б; $R1, R4$ — МЛТ-0,25—510 Ом; $R2, R3$ — МЛТ-0,25—1000 Ом.

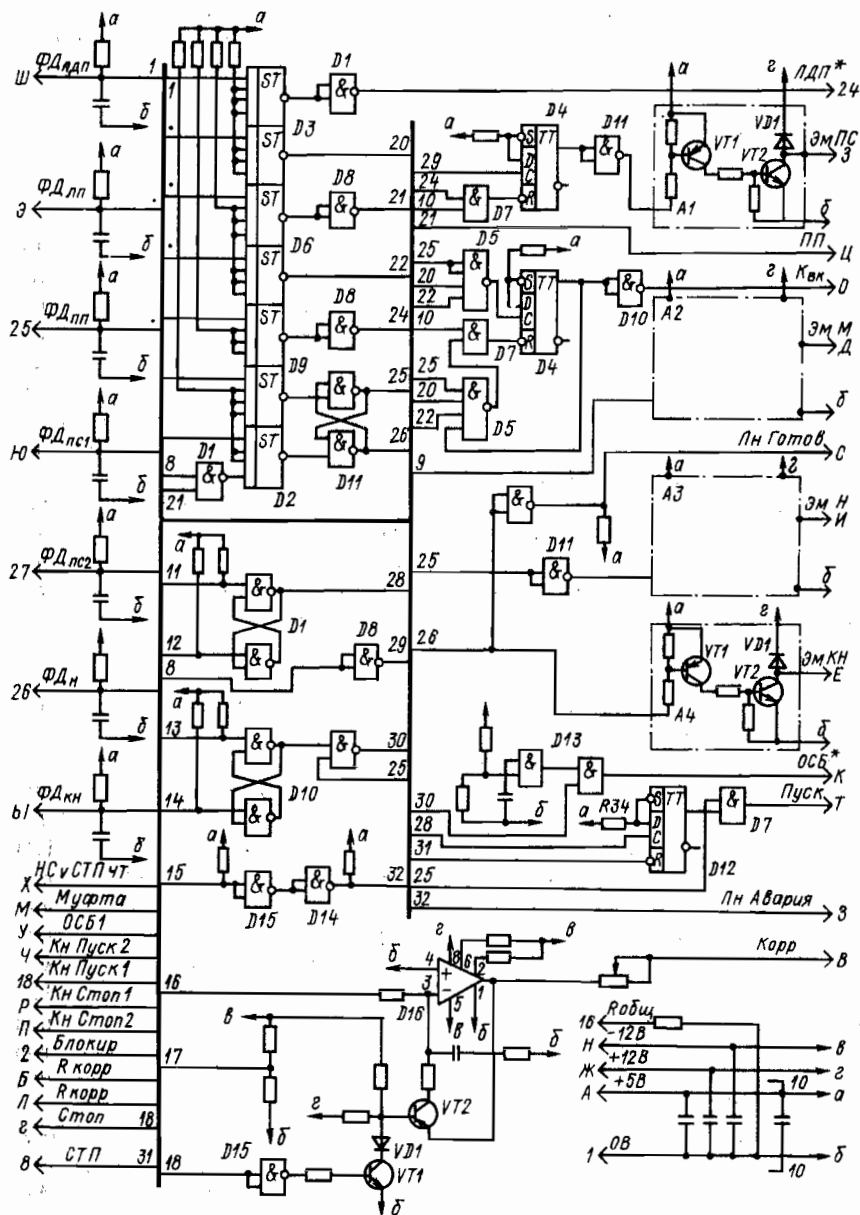


Рис. 2.50. Принципиальная электрическая схема формирователя для сопряжения с исполнительными механизмами и датчиками электрокапеструйного устройства УПС-35

При работе формирователя все сигналы, принимаемые с фотодатчиков, поступают на входы формирователей, выполненных на триггерах Шмидта. Все сигналы, поступающие с кнопочных переключателей, поступают на входы RS-триггеров с целью устранения дребезжания. Сигнал *Квк* формируется следующим образом. Началом сигнала *Квк* служит момент перекрытия фотодатчика ПС1. Концом сигнала *Квк* служит совпадение условий открывания фотодатчика ПС1 и перекрытия датчика ДЛП (т. е. узел печати возвратится в крайнее левое положение и перевод каретки закончится).

Генератор сигнала коррекции выполнен в виде управляемого генератора линейно изменяющегося напряжения. Сигналом для запуска генератора служит сигнал *Стоп*, т. е. сигнал опроса знакогенератора в период написания одного символа.

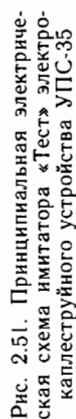
Схема имитатора ТЕСТ приведена на рис. 2.51 и предназначена для формирования последовательности кодов печатных символов в соответствии с ГОСТ 13052—74 с целью проверки работоспособности устройства в режиме «ТЕСТ».

Схема ТЕСТ включает в себя следующие функциональные элементы: счетчик — формирователь кодов (*D10*, *D16*); выходной коммутатор (*D4*, *D7*, *D9*, *D12*, *D15*); триггер СТР (*D2*); схему формирования кода ВК (*D1*, *D6*, *D13*); схему сброса счетчика формирователя (*D2*, *D5*, *D6*); счетчик опроса ЗНГ (*D11*, *D14*, *D17*, *D1*).

В принципиальной схеме имитатора использованы элементы: *D1*, *D2*, *D6*, *D13* — К155ЛА3; *D3* — К155ЛА4; *D4*, *D7*, *D9*, *D12*, *D15* — К155ЛР1; *D5* — К153ТМ2; *D8* — К155ЛА1; *D10*, *D16* — К155ИЕ5; *D11*, *D14*, *D17* — К155ИЕ6; *R1*, *R2* — МЛТ-0,25—1 кОм.

Схема ТЕСТ работает следующим образом. При нулевом уровне сигнала на входе выходной коммутатор подключает магистраль данных внешнего устройства к внутренней информационной магистрали УПС и передача данных идет в соответствии с интерфейсом ИРПР.

При уровне логической «1» на входе «ТЕСТ» выходной коммутатор подключает к внутренней информационной магистрали выходы счетчика — формирователя кодов. По приходу сигнала *ЗП* импульсом из серии f_2 устанавливается триггер СТР и устройство производит прием и обработку информационного кода. По снятии сигнала *ЗП* импульсом из серии f_2 производится сброс триггера СТР и изменение на 1 содержимого счетчика — формирователя кодов. Таким образом, счетчик — формирователь кодов выдает в информационную магистраль устройства последовательность кодов печатных символов согласно ГОСТ 13052—74. Передача кодов идет в соответствии с интерфейсом ИРПР. После выдачи последнего печатного кода схема формирования кода ВК преобразует следующее состояние счетчика-формирователя в код ВК. После того как код ВК будет принят и обработан устройством, схема сброса счетчика-формирователя устанавливает счетчик — формирователь кодов в исходное (нулевое) состояние. Далее процесс передачи информационных кодов повторяется. Счетчик опроса ЗНГ, конструктивно размещенный на плате ТЕСТ, осуществляет деление частоты $f=2$ МГц на 1000 и вырабатывает серию *Опрос* с частотой 2 кГц.



Усилитель отклоняющих напряжений ТЭЗ ВУ приведен на рис. 2.52. Усилитель отклоняющих напряжений (в дальнейшем усилитель) предназначен для формирования отклоняющих напряжений, поступающих на отклоняющие пластины пишущей головки.

В схеме использованы элементы: *VT1*, *VT6* — КП303Е; *VT2*, *VT4*, *VT7*, *VT9* — КТ704А; *VT3*, *VT5*, *VT8*, *VT10* — КТ301Г; *VD1*, *VD2* — КД521А; *D1—D4* — К140УД8А; *R1—33* кОм; *R2*, *R23*, *R28*, *R48* — 3,3 кОм; *R3—300* кОм; *R4*, *R29—330* кОм; *R5*, *R8*, *R30—18* кОм; *R6*, *R11*, *R31*, *R36—5,1* МОм; *R7*, *R10*, *R32*, *R35—47* кОм; *R9*, *R26*, *R34—22* кОм; *R12*, *R37—24* кОм; *R13*, *R38—10* кОм; *R14*, *R15*, *R19*, *R20*, *R39*, *R40*, *R44*, *R45* — МЛТ-2—270 кОм; *R16*, *R21*, *R41*, *R46—2* кОм; *R17*, *R42—1* кОм; *R18*, *R43—820* Ом; *R22*, *R47—560* Ом; *R24*, *R49—6,8* кОм; *R25*, *R50—5,6* кОм; *R27—15* кОм; *R33—20* кОм.

Усилитель по координатам *X* и *Y* выполнен идентично.

Рассмотрим работу усилителя на примере усилителя отклонения по координате *X*. Усилитель выполнен по дифференциальной схеме с частотной коррекцией, необходимой для улучшения крутизны фронтов. Выходной каскад работает в режиме малых токов, выполнен на высоковольтных транзисторах *VT2*, *VT4*. Источник стабильного тока выполнен на транзисторах *VT3*, *VT5*, согласующий транзистор — *VT1*. Входной форсирующий усилитель *D2*. Усилитель отрицательной обратной связи *D1*.

Усилитель работает следующим образом. Так как отклоняющие пластины пишущей головки практически не потребляют тока, то с целью улучшения энергетических показателей усилителя выходные высоковольтные транзисторы работают в режиме коммутации малых токов ~ 2 мА. В режиме коммутации малых токов из-за влияния проходных емкостей транзистора резко снижается частота коммутации и значительно уменьшается крутизна фронтов импульсов. С целью увеличения частоты коммутации и улучшения фронтов введена схема форсирования базового тока выходного каскада усилителя, выполненная на входном форсирующем усилителе *D2* и отрицательной обратной связи *D1*.

Аналоговый сигнал приращений с выхода ЗНГ поступает на инвертирующий вход форсирующего усилителя *D2*. Запечатываемые знаки формируются семью одинарными приращениями по координате *X* и одиннадцатью — по координате *Y*. Входное напряжение одинарного приращения составляет 0,25 В, при этом величина приращений напряжения на выходном каскаде составляет 50 В. Коэффициент усиления входного форсирующего усилителя *D2* равен 10.

Усиленный форсирующим усилителем входной сигнал через согласующий транзистор *VT1* поступает на выходной дифференциальный усилитель *VT2*, *VT4*. С выхода транзистора *VT2* усиленный сигнал через делитель напряжения, образованный резисторами *R5*, *R6*, поступает на инвертирующий вход усилителя отрицательной обратной связи *D1*. Выход усилителя соединен с неинвертирующим входом форсирующего устройства усилителя *D2*.

В устройстве используются низковольтные блоки питания и преобразователь низкого напряжения в высоковольтное. В качестве низковольтных блоков питания применяются серийно выпускаемые блоки пита-

ния стабилизированные прецизионные (БПСР) по ТУ 25.03-2060—79. БПСР предназначены для питания логических и функциональных узлов напряжением, необходимым для их нормального функционирования; они имеют защиту по току и напряжению.

Высоковольтный преобразователь показан на рис. 2.53 и предназначен для преобразования низкого напряжения в высоковольтные постоянные напряжения, необходимые для нормальной работы пишущей головки.

Преобразователь состоит из двух идентичных частей, вырабатывающих следующие постоянные напряжения: положительное регулируемое напряжение от 2000 до 2700 В; положительное нерегулируемое напряжение 800 В. Преобразователь выполнен по схеме автогенератора с трансформаторной связью. Трансформатор выполнен на ферритовом Ш-образном сердечнике. Частота генерации $f=20$ кГц.

Высоковольтный преобразователь содержит следующие элементы: $VT1, VT2$ — КТ814Б; $VD1—VD8$ — КЦ106Б; $R1, R2$ — 47 Ом; $R3, R4$ — 750 Ом; $R5, R7$ — МЛТ-2—1 МОм; $C1, C4$ — 20 мкФ, 25В; $C2, C3$ — 0,068 мкФ, 7В; $C5—C12$ — 0,01 мкФ, 1,6 кВ; $R8$ — МЛТ-2—5,1 МОм.

При подготовке устройства УПС-35 к работе необходимо прежде всего произвести заполнение чернилами системы подачи чернил. Для этого после установки резервуара с чернилами вывинчивают на два-три оборота винт 26 (см. рис. 2.28) и нажимают на якорь 19. Наконечник 17 вместе со штоком 14 при этом должен переместиться в крайнее левое положение. После появления чернил винт 26 заворачивают и отпускают якорь 19, снимают крышку 6 (см. рис. 2.31) печатающего блока, отсоединяют трубопровод 5 от пишущей головки 1 и опускают его конец в резервуар. При нажатии на нижний конец якоря 2 (см. рис. 2.28) чернила начнут вытесняться из насоса. Нажимают на якорь 19, не отпуская якоря 2, и затем последний отпускают. Эта операция продлевается несколько раз, пока чернила не начнут вытекать из трубопровода 5 (см. рис. 2.31). Выпускают из насоса воздух, вывинчивая на два-три оборота винт 13 (см. рис. 2.28) во время движения якоря 2 вверх, и прокачивают чернила в резервуар до исчезновения пузырьков воздуха. После этого трубопровод 5 присоединяют к пишущей головке 1, ставят кожух 6 (см. рис. 2.31) и кожух печатающего механизма на место. Заправляют рулонную бумагу в механизм бумагоопорного вала.

Внешнее устройство («Оргтекст») подключается через интерфейсный кабель к устройству УПС-35. При нажатии кнопки «Сеть» включение сети индуцируется светодиодным индикатором «Сеть». Напряжение на контрольных гнездах блоков питания выставляется путем вращения регулировочных резисторов блоков питания БПСР-5/2— $(5\pm 0,5)$ В и БПСР-12/1,5— $(12\pm 0,5)$ В. Повторным нажатием на кнопку «Сеть» напряжение отключают, поднимают крышку печатающего механизма и нажимают на кнопку «Тест». Закрывают крышку и нажимают на кнопки «Сеть» и «Насос». Включение насоса индуцируется светодиодным индикатором, расположенным рядом с кнопкой «Насос» с левой стороны.

При нажатии кнопки «Пуск» загорается индикатор «Готов» и каретка начинает движение с равномерной постоянной скоростью вправо, в результате на поверхности бумаги слева от пишущей головки должны

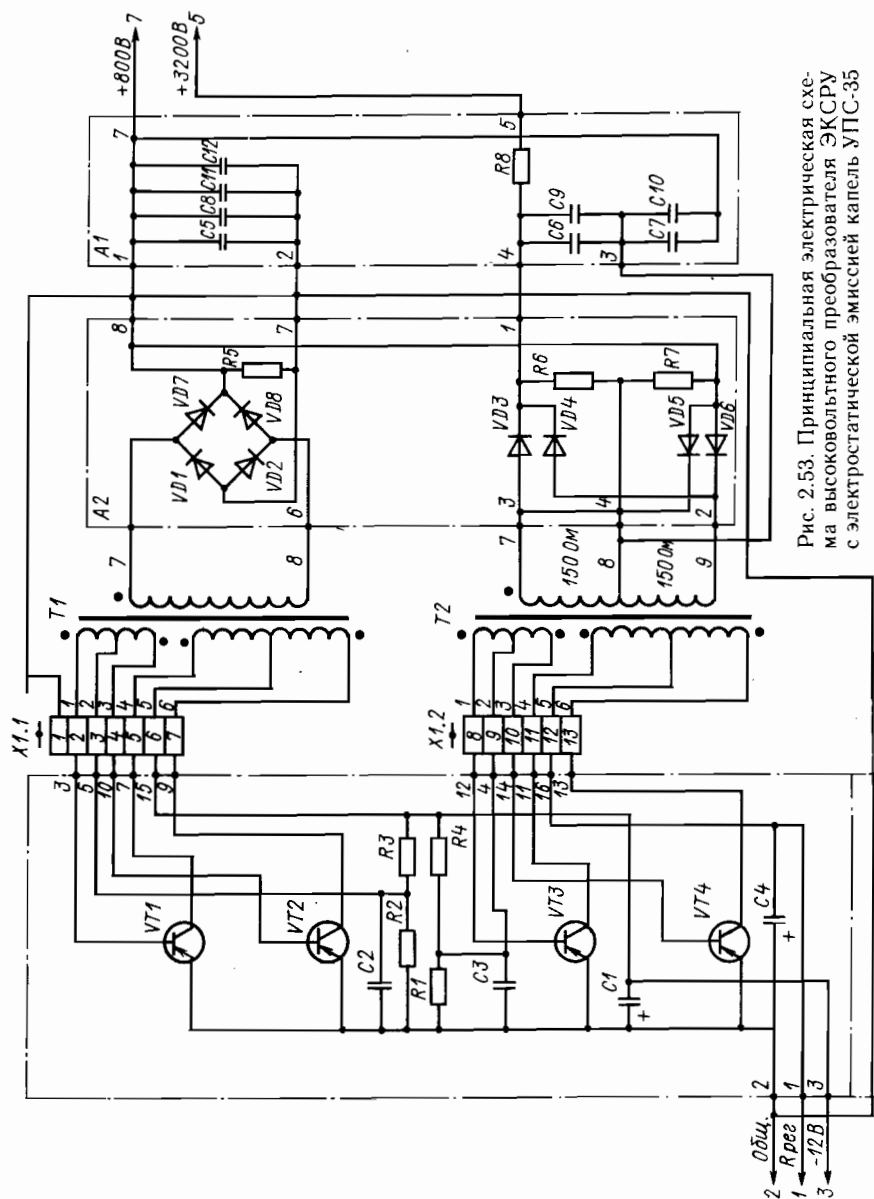


Рис. 2.53. Принципиальная электрическая схема высоковольтного преобразователя ЭКСРУ с электростатической эмиссионной каплей УПС-35

быть отпечатаны знаки и символы. Последовательность, набор, число отпечатанных в строке знаков и символов должны соответствовать кодовой таблице (см. табл. 2.1), начиная с седьмой колонки пятнадцатой строки вверх по колонкам.

Если на поверхности запечатываемой бумаги контуры отпечатанных символов и знаков тонкие и неконтрастные, нажимают на кнопки в следующей последовательности: «Стоп», «Насос», «Сеть» (см. рис. 2.39), открывают крышку печатающего механизма и ручку потенциометра «Давление» поворачивают по часовой стрелке на одно деление. Закрывают крышку и нажимают кнопки в следующей последовательности: «Сеть», «Насос», «Пуск», при этом контрастность отпечатков должна улучшиться. В случае необходимости эти манипуляции следует повторить, доведя насыщенность и контрастность отпечатков до нормальных.

При появлении на отпечатках отдельных разрывов контуров знаков и символов, приводящих к ухудшению качества печати и их разночтению, выключают устройство в указанной выше последовательности, открывают крышку механизма и поворачивают ручку потенциометра «Высокое» (регулирующего величину постоянного напряжения на сопле пишущей головки) по часовой стрелке на одно деление. Закрывают крышку и включают устройство в указанной выше последовательности. Качество отпечатков должно улучшиться. В случае необходимости эти манипуляции следует повторить, добившись качественных отпечатков без разрывов контуров символов и знаков. Если нижние контуры отпечатанных знаков и символов не пропечатаны или ниже отпечатанных знаков появляется подчеркивающая знаки сплошная или прерывистая линия, следует провести регулировку уровня слива. Для этого устройство выключают.

Регулирование углового положения головки 1 (см. рис. 2.31) относительно ловителя 17, т. е. уровня слива, производится с помощью винта 20. Если при печати не пропечатывается нижняя часть знаков, необходимо вывернуть на пол-оборота винт 2 и вернуть винт 20. Если при печати знаки подчеркиваются линией, выворачивается винт 20. После регулирования необходимо вернуть винт 2. Величину поворота пишущей головки проверяют путем отпечатки контрольного теста.

Требуемый наклон знаков устанавливают путем поворота корпуса 2 (см. рис. 2.32) относительно крепежного отверстия в кронштейне 10.

Зазор между отклоняющими электродами 16 должен быть $2^{+0.025}_{-0}$ мм. Он выставляется с помощью специального приспособления. При этом от монтажной платы отпаивается проводник, соединенный с ускоряющим электродом 3. Выворачиваются винты 7, 18, отсоединяется трубопровод 5 от корпуса 6, и последний вынимается из корпуса 2 вместе с рычагом 11. Жгут пишущей головки 1 отсоединяется от разъема 7, выворачивается винт крепления пишущей головки 1 к кронштейну 3 и снимается пишущая головка. Вынимают вставку 13 и ускоряющий электрод 3. Вставляют приспособление в корпус 2 пишущей головки, как показано на рис. 2.30, б.

Отпускают винты крепления козырька 1 (см. рис. 2.32) и сдвигают электроды 16 до соприкосновения с четырехгранником приспособления.

После настройки включают устройство и проверяют правильность регулировки уровня слива. При необходимости ее следует повторить.

Если отпечатанные знаки и символы имеют раздвоенные контуры, ухудшающие качество и приводящие к разночтению, выключают устройство и поворачивают ручку потенциометра «Коррекция» по часовой стрелке на одно деление. Включают устройство. Качество отпечатков должно улучшиться. Если раздвоенность контуров знаков увеличилась, следует выключить устройство, повернуть ручку потенциометра против часовой стрелки. В случае необходимости, вращая ручку потенциометра «Коррекция» против часовой стрелки, добиваются качественных отпечатков без размывки контуров знака. Если ручкой потенциометра «Коррекция» получить качественных отпечатков без раздвоения контуров знаков не удастся, необходимо произвести подстройку потенциометром, расположенным в формирователе (см. рис. 2.50).

Для регулировки размеров отпечатанных знаков и символов необходимо открыть дверцу тумбы, отвинтить крепежную планку блока управления, вытащить плату ТЭЗ ВУ и на ее место вставить ремонтную плату. Во внешний разъем ремонтной платы вставить ТЭЗ ВУ.

Устройство следует включить в автономный режим работы от внутреннего имитатора. Для этого необходимо отключить сеть повторным нажатием на кнопку «Сеть», поднять крышку печатающего механизма и нажать на кнопку «Тест», затем закрыть крышку и нажать на кнопки «Сеть» и «Насос». Включение насоса индицируется светодиодным индикатором, расположенным рядом с кнопкой «Насос» с левой стороны. По истечении 1 мин нажать на кнопку «Пуск», при этом должен загореться индикатор «Готов». Каретка начнет движение с равномерной постоянной скоростью вправо и на поверхности бумаги слева от пишущей головки должны быть отпечатаны знаки и символы.

Регулировка размера знака осуществляется по прописному знаку Н. Для этого нужно произвести калибровку осциллографа С1-74 в следующей последовательности. Ручки верхнего и нижнего каналов ВОЛЬТ/ДЕЛЕНИЕ установить в положение 5 В/дел. Установить и совместить ручками верхний и нижний лучи в нижнее положение сетки экрана. Подсоединить входы верхнего и нижнего каналов через делители 1:10 к контакту «0» (+800 В) разъема платы и ручками «Усиление» верхнего и нижнего каналов добиться установки и совмещения лучей в верхнем положении сетки экрана.

Регулировка отклонения (размера отпечатка) по координате У осуществляется следующими резисторами (рис. 2.52): *R34* — регулировка размера знака по высоте; *R42* — регулировка баланса плеч выходного каскада; *R48* — регулировка уровня напряжения оси симметрии отклоняющих напряжений; *R51* — регулировка центровки отклоняющих напряжений.

Вход одного из каналов осциллографа через делитель 1:10 подсоединяется к коллектору транзистора VT7, а вход второго канала через делитель 1:10 — к коллектору VT9. Резистором *R42* балансируется работа плеч выходного каскада, при этом максимальный размах эюры напряжения (прописной знак Н) одного канала должен быть равным максимальному размаху эюры напряжения второго канала. Резистором *R51* необходимо отцентрировать эюры отклоняющих напряжений

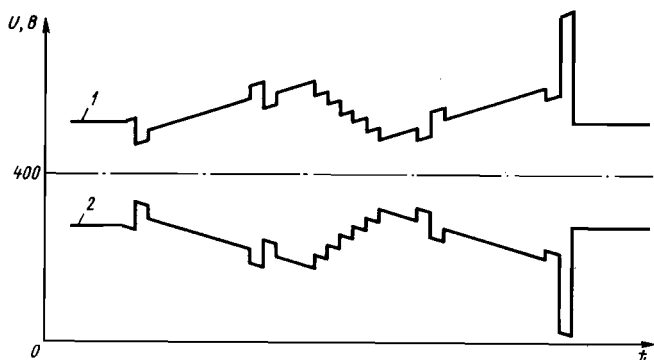


Рис. 2.54. Эпюры напряжений (1 — $\dot{x}$; 2 — $\dot{x}$) при развертке прописного знака Н по координате Y в электрокапеструйном устройстве УПС-35

таким образом, чтобы верхние и нижние границы эпюры напряжений двух каналов совпали. Резистором $R48$ устанавливается ось симметрии эпюр напряжений в центре экрана осциллографа, что должно соответствовать 400 ± 10 В.

Эпюры напряжений при развертке прописного знака Н по координате Y для двух каналов показаны на рис. 2.54.

Штангенциркулем измеряется высота отпечатанного прописного знака Н. Высота знака Н должна быть не более 3,2 мм. Если высота отпечатанного знака отличается от номинального, резистором $R34$ (рис. 2.52) отрегулировать необходимую высоту знака Н.

Регулировка отклонения (размера отпечатка) по координате осуществляется следующими резисторами (см. рис. 2.52): $R9$ — регулировка размера знака по ширине; $R17$ — регулировка баланса плеч выходного каскада; $R23$ — регулировка уровня напряжения оси симметрии отклоняющих напряжений; $R26$ — регулировка центровки отклоняющих напряжений.

Подсоединяется вход одного из каналов осциллографа через делитель 1:10 к коллектору транзистора $VT2$, а вход второго канала через делитель 1:0 — к коллектору $VT4$. Резистором $R17$ балансируется работа плеч выходного каскада, при этом максимальный размах эпюры напряжения

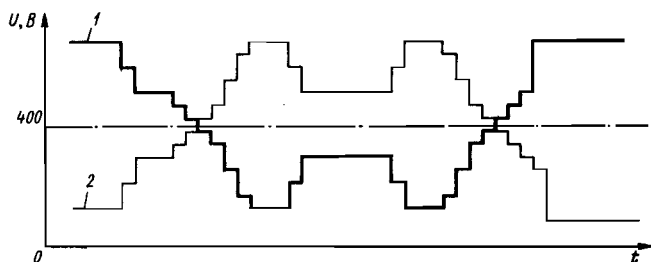


Рис. 2.55. Эпюры напряжений (1 — $\dot{y}$; 2 — $\dot{y}$) при развертке прописного знака Н по координате X в электрокапеструйном устройстве УПС-35

(прописной знак Н) одного канала должен быть равным максимальному размаху второго канала. Резистором $R26$ центрируется эпюра отклоняющих напряжений таким образом, чтобы верхние и нижние границы эпюр напряжений двух каналов совпали. Далее резистором $R23$ устанавливаются оси симметрии эпюр напряжений в центре экрана осциллографа, что должно соответствовать напряжению (400 ± 10) В.

Эпюры напряжений при развертке прописного знака Н по координате X для двух каналов показаны на рис. 2.55.

Штангенциркулем замеряется ширина отпечатанного знака Н, она должна быть не более 2,2 мм. Если ширина отпечатанного знака отличается от номинального, резистором $R9$ (рис. 2.52) регулируется необходимая ширина знака Н.

ЭЛЕКТРОКАПЛЕСТРУЙНЫЕ РЕГИСТРИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА С ЭМИССИЕЙ КАПЕЛЬ ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

3.1. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ КАПЛЕОБРАЗОВАНИЯ В ЭКСРУ С ЭМИССИЕЙ КАПЕЛЬ ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ И СИНХРОНИЗАЦИЕЙ ДРОБЛЕНИЯ СТРУИ

В электрокаплеструйных регистрирующих устройствах с эмиссией капель высоким давлением (ЭКСРУ ВД) рабочая жидкость (чернила, краска) в пишущей головке так же, как в ЭКСРУ ЭП, находится под давлением, создаваемым внешним источником (насосом, с использованием давления пневмосети и др.). Однако в отличие от устройств с эмиссией капель электростатическим полем в ЭКСРУ ВД используются давления существенно большие, чем в ЭКСРУ ЭП. И если в ЭКСРУ ЭП требуемое давление для создания на выходе сопла мениска чернил составляло сотни паскаль, то в ЭКСРУ ВД это давление уже составляет сотни тысяч паскаль. Поэтому принципиальным гидродинамическим отличием ЭКСРУ ВД от вышерассмотренных устройств является наличие непрерывно истекающей из формирующего сопла струи чернил (краски), дробящейся на капли, даже при отсутствии управляющих сигналов от знаковсинтезатора. Таким образом, в ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением и синхронизацией дробления струи на капли имеет место постоянная эмиссия капель при отсутствии напряжения на заряжающих и отклоняющих электродах (см. рис. 1.8), в то время как в ЭКСРУ ЭП эмиссия капель производится при подаче высокого напряжения U_r (см. рис. 1.7) на ускоряющие электроды. Конечно, и в том и другом случае при регистрации информации необходимо уже иметь предварительно сформированный поток капель, неиспользованная часть которого попадает в ловушку и после фильтрации опять подается в пишущую головку.

В настоящем параграфе рассмотрены электрокаплеструйные устройства, в которых дробление струи чернил (краски) синхронизируется наложением высокочастотных колебаний на струю с использованием пьезоэлектрических преобразователей. В дальнейшем, говоря об ЭКСРУ ВД, будем подразумевать устройства с внешней синхронизацией дробления струи на капли. Другие типы устройства с эмиссией капель высоким давлением будут оговариваться особо.

Следовательно, процесс каплеобразования в ЭКСРУ ВД определяется как гидродинамикой течения чернил в сопле и струи чернил на выходе из сопла, так и вынужденными возмущениями, создаваемыми пьезоэлектрическим преобразователем (ПЭП). Причем каплеобразование при проектировании ЭКСРУ ВД должно быть организовано таким образом, чтобы получались капли одинакового размера и их отрыв от сплошной струи происходил в зоне заряжающего электрода (см. рис. 1.8). Последнее вызвано тем, что информативным параметром в ЭКСРУ ВД является заряд капли, а напряжение на отклоняющих электродах не изменяется и поддерживается постоянным. Поэтому при рассмотрении физики процесса каплеобразования нас будет интересовать не только частота и стабильность образования капель, но и длина отрыва L капли (рис. 3.1, а), т. е. расстояние от среза формирующего сопла до места отрыва капли от сплошной струи рабочей жидкости (чернил, краски).

При работе пишущей головки ЭКСРУ ВД рабочая жидкость подается (от насоса или с использованием пневмосети) под давлением в камеру 2 с соплом 3 и на выходе сопла формируется тонкая струя, которая

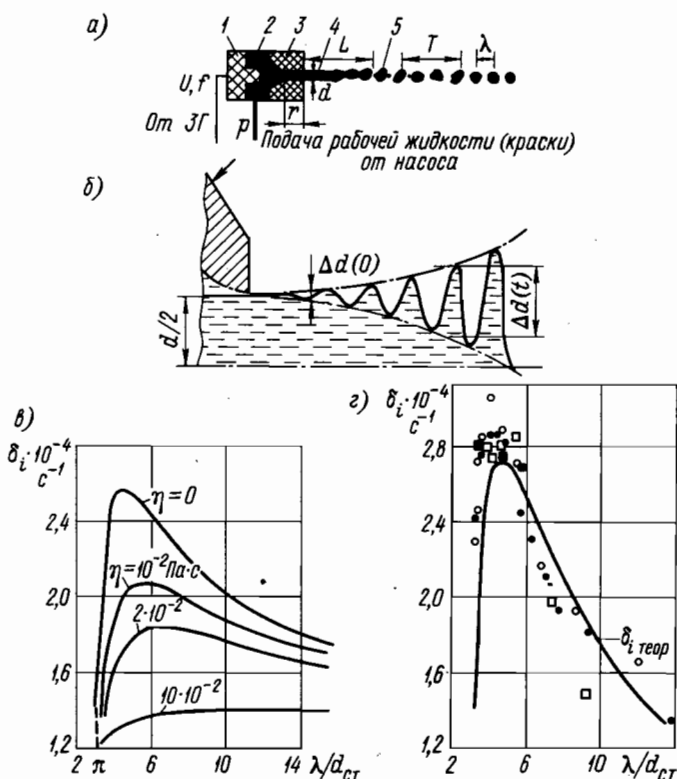


Рис. 3.1. Физические процессы каплеобразования в электрокапеструйных регистрирующих устройствах с эмиссией капель высоким давлением и синхронизацией дробления струи

на расстоянии L от сопла дробится на капли. Капли селективно индуктивно заряжаются с использованием заряжающего электрода (см. рис. 1.8), причем величина заряда пропорциональна напряжению на электроде, поступающему от системы управления. Далее капли рабочей жидкости (чернил) отклоняются в поле отклоняющих электродов на величину, пропорциональную своему заряду (напряжение на отклоняющих электродах постоянно), и попадают на носитель регистрируемой информации, а незаряженные капли попадают в ловушку и идут на слив. (Может быть и другое решение: заряженные капли отклоняют на слив, а регистрацию производят незаряженными каплями.)

Следовательно, при знакоформировании по одной координате развертка знака обеспечивается за счет электростатического поля. По другой координате в ЭКСРУ ВД развертка обеспечивается, как правило, перемещением носителя информации, причем последнее осуществляется синхронно и синфазно с зарядкой капель.

Для стабилизации частоты каплеобразования, диаметра капель и интервала между каплями в ЭКСРУ ВД используют пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП) 1 (рис. 3.1, а), на который от звукового генератора (ЗГ) подают синусоидальное напряжение с амплитудой и частотой f , которая выбирается постоянной в диапазоне до 100 кГц. Под действием напряжения U ПЭП, меняя свои размеры, вызывает возмущения поля давления в камере 2 пишущей головки и, как следствие, возникают возмущения поля скоростей в струе 4 чернил на выходе из сопла. Действие этих возмущений на процесс каплеобразования 5 зависит от режима течения рабочей жидкости в сопле. Еще в 1879—1880 гг. Рэлея показал, что при ламинарном потоке и наложении возмущений на струю последняя дробится на монодисперсные капли. Режим получения монодисперсных капель является единственным приемлемым при реализации ЭКСРУ ВД с синхронизацией дробления струи. Поэтому в дальнейшем будем предполагать, что режим течения рабочей жидкости (чернил) в сопле 3 является ламинарным.

В математическом плане при анализе процесса каплеобразования можно использовать линейную теорию гидродинамической устойчивости. Тогда устойчивость двумерного ламинарного потока в общем случае характеризуется уравнением Орра — Зоммерфельда, полученным ими в 1906—1908 гг. [40, 15],

$$(\tilde{v} - C) (\Phi'' - \gamma^2 \Phi) - \tilde{v}'' \Phi = \frac{1}{i\gamma Re} (\Phi'''' - 2\gamma^2 \Phi'' + \gamma^4 \Phi), \quad (3.1)$$

где $\tilde{v}$ — профиль скоростей ламинарного потока по направлению его течения x ; $c = \delta_1/\gamma$ — комплексный параметр; $\Phi(y) \exp[i(\gamma x - \delta_1 t)] = \psi(x, y, t)$ — функция тока отдельного двумерного возмущения (принимается во внимание известная теорема Сквайра); Φ — амплитуда возмущения (функция координаты y , перпендикулярной к направлению движения чернил); γ — действительное число, определяющее длину волны возмущения, $\lambda = 2\pi/\gamma$; $\delta_1 = \delta_r - i\delta_i$ — комплексное число; δ_r — циклическая частота возмущений; δ_i — коэффициент усиления возмущений;

Re — число Рейнольдса; t — время. Число штрихов при v и Φ характеризуют порядок соответствующих производных по y .

При проектировании ЭКСРУ ВД необходимо выбрать рациональные значения Re и γ , обеспечивающие быстродействие и качество регистрации информации. Поскольку имеем дифференциальное уравнение (3.1) четвертого порядка, то должны быть заданы четыре граничных условия, вид которых зависит от конкретного течения. Особенностью работы ЭКСРУ ВД является то, что в пишущей головке (в сопле) имеем течение в канале, а на выходе сопла образуется уже незатопленная струя чернил со свободными поверхностями (рис. 3.1, а). Однако возмущения действуют как на течение чернил в канале, так и на струйное течение, причем эти два течения с позиций гидродинамической устойчивости должны рассматриваться во взаимосвязи, поскольку конечная амплитуда возмущений в канале сопла будет определять начальную амплитуду возмущений в свободной струе на выходе чернил из сопла. Например, для плоскопараллельного канала с координатами твердых стенок $y = \pm 1$ граничные условия будут [40] таковы:

$$\Phi = 0; \Phi' = 0; y = \pm 1. \quad (3.2)$$

При этом для ламинарного исходного течения чернил $\tilde{v} = 1 - y^2$; $Re = v_m b / \nu$, где v_m — скорость чернил на оси канала; $2b$ — ширина канала; ν — кинематический коэффициент вязкости чернил (краски).

Для нахождения условий неустойчивости, которые предшествуют распаду струи на капли, необходимо найти из (3.1) значение параметра $c = \delta_1 / \gamma = c_1(\gamma, Re) + i c_2(\gamma, Re)$ при заданных четырех граничных условиях (3.2), при которых уравнение (3.1) имеет нетривиальные решения. Параметр c_1 определяет фазовую скорость распространения волны возмущения, а параметр c_2 — изменение амплитуды волны возмущения во времени. Для сокращения длины L компактной струи чернил на выходе из сопла (рис. 3.1, а) необходимо, чтобы $c_2 > 0$. Кривая, соответствующая формуле $c_2(\gamma, Re) = 0$, будет разделять пространство в плоскости (Re, γ) на области устойчивости и неустойчивости. Причем γ (или $\lambda = 2\pi/\gamma$) и Re считаются заданными. Изменяя значение Re , можно провести исследования всех возможных течений чернил в сопле с профилем скорости $\tilde{v}(y)$, а задавая различные значения γ , можно исследовать устойчивость каждого течения к волновым возмущениям со всевозможными длинами волн.

При больших значениях γRe правой частью уравнения (3.1) можно пренебречь, и тогда приходим к уравнению Рэлея, полученному им в 1880 г. для невязкой жидкости,

$$(\tilde{v} - c)(\Phi'' - \gamma^2 \Phi) - \tilde{v}'' \Phi = 0. \quad (3.3)$$

Дифференциальное уравнение (3.3) имеет второй порядок и достаточно хорошо описывает неустойчивость в свободных струях несжимаемой жидкости вдали от среза формирующего сопла при пренебрежении вязкостью чернил (краски), используемых в ЭКСРУ. Оно решается при граничных условиях: $\Phi \rightarrow 0$ для $y \rightarrow \pm \infty$. Необходимо здесь иметь в виду, что собственные возмущения поля скоростей струи чернил вызваны

перестройкой пограничного слоя возмущенного потока внутри сопла 3 (рис. 3.1, а) в свободный пограничный слой струи 4.

На основании теории Рэлея постоянная времени возрастания амплитуды возмущений характеризуется соотношением [74]

$$\tau = \frac{1}{c_i} \sqrt{\frac{\rho d_{\text{ст}}^3}{8\alpha}},$$

c_i — коэффициент неустойчивости, равный нулю при $\lambda/d_{\text{ст}} = \pi$ и достигающий максимума при $\lambda/d_{\text{ст}} = 4,51$.

Возмущения скорости в струе чернил на выходе из сопла возникают в результате перестройки пограничного слоя потока в канале сопла в пограничный слой свободной струи, а также в результате случайных факторов (шум, вибрации и т. п.). Вследствие этого L , f_k , λ могут меняться также случайным образом. Поэтому для стабилизации этих параметров в ЭКСПУ ВД с помощью пьезоэлектрических преобразователей создают вынужденные периодические возмущения струи, амплитуда которых существенно больше вышеуказанных случайных возмущений.

Для увеличения эффективности работы пишущей головки ЭКСПУ ВД целесообразно, чтобы частота вынужденных возмущений, создаваемых ПЭП, совпадала с основной частотой собственных возмущений поля скоростей струи чернил.

При пренебрежении вязкостью чернил не должно быть затухающих волновых возмущений. В этом случае $c_2 \geq 0$. Естественно, что при проектировании ЭКСПУ ВД необходимо, чтобы $c_2 > 0$, т. е. возмущение струи чернил усиливалось вниз по течению струи до амплитуды, равной радиусу струи (рис. 3.1, б [90]), после которой струя чернил распадается на капли. В данном случае амплитуда возмущений растет по экспоненте

$$\Delta d(t) = \Delta d(0) e^{\delta_i t},$$

где $d = d_{\text{ст}}$; d , $d_{\text{ст}}$ — диаметры сопла и струи; $\Delta d(t)$ — изменение диаметра струи во времени t (рис. 3.1, б); $\Delta d(0)$ — начальное изменение диаметра струи.

Исследования Рэлея показали [34], что условие $c_2 > 0$ обеспечивается для невязкой струи несжимаемой жидкости при длинах волн $\lambda \geq \pi d_{\text{ст}}$ и самое быстрое нарастание возмущений (δ_i равно максимальной величине $\delta_{i\text{max}}$ — рис. 3.1, в, г) соответствует условию $\lambda/d_{\text{ст}} = 4,51$. Причем $\lambda = v/f$, где v — средняя скорость струи чернил; f — частота собственных возмущений струи. Если поддерживается давление в межсопловой камере пишущей головки ЭКСПУ постоянным, то образующиеся капли 5 чернил (рис. 3.1, а) сфазированы и разделены между собой интервалами λ . Таким образом, частота самопроизвольного дробления капель, соответствующая $\delta_i = \delta_{i\text{max}}$, равна

$$f = v / (4,51 d_{\text{ст}}). \quad (3.4)$$

Средняя скорость струи на выходе из сопла пишущей головки определяется перепадом давлений на сопле, его геометрическими

параметрами и параметрами рабочей жидкости (чернил). В ЭКСРУ ВД в качестве выходных сопел наиболее широкое распространение получили или короткие конические сопла, выполненные в часовых камнях, или относительно длинные цилиндрические стеклянные капилляры. В общем случае с учетом того, что струя чернил истекает в атмосферу ($p_0=0$), можно получить [49]

$$\Delta p = \frac{\rho v^2}{2} + \frac{k \rho v^2}{2} + \frac{32 \rho \nu l_s}{d^2} + \frac{2 \alpha_d}{d}, \quad (3.5)$$

где $\Delta p = p - p_0 = p$ — перепад давлений на сопле; p — давление чернил в камере пишущей головки; p_0 — давление окружающей среды; ρ , ν — плотность и кинематический коэффициент вязкости чернил; k — коэффициент, учитывающий гидравлические потери на входе в сопло; d — диаметр сопла; α_d — динамический коэффициент поверхностного натяжения чернил; $l_s = l_1 + \Delta l$ — эквивалентная длина сопла; l_1 — длина канала сопла; Δl — поправка на длину, зависящая от вязкости чернил. Для данных сопел $\Delta l = 0$.

Динамический коэффициент поверхностного натяжения α_d в выражении (3.5) учитывает факт изменения формы струи на участке l до образования капель (рис. 3.1, а), он определяется экспериментально для выбранного типа рабочих чернил (краски). Одним из способов нахождения α_d является способ, предложенный Рэлеем, заключающийся в следующем [49]. Отделившиеся от струи капли не сразу становятся сферическими, а предварительно претерпевают изменения формы (рис. 3.1, а) с периодом T , связанным с α_d соотношением

$$\alpha_d = 3 \rho l^2 r^2 \lambda / (8 T^2), \quad (3.6)$$

где $r = d_{ст}/2$ — радиус струи.

Поэтому, измеряя с использованием стробоскопической приставки интервал между центрами капель λ , радиус струи и период T колебаний формы, по выражению (3.6) легко вычислить динамический коэффициент поверхностного натяжения α_d для выбранного типа чернил (краски) используемых в ЭКСРУ ВД. Коэффициент k и эквивалентная длина l_s сопла также определяются экспериментально.

В работе [49] исследовано влияние параметров рабочих жидкостей ЭКСРУ ВД на динамику и параметры каплеобразования. В качестве рабочих выбиралось 23 типа различных жидкостей (вода, низкомолекулярный полиэтиленгликоль — карбовакс, бутиловый спирт, высокомолекулярный полиоксид, растворимая и диспергированная тушь и их смеси с различными концентрациями). На рис. 3.2 в качестве примера приведена зависимость коэффициента k от динамического коэффициента вязкости $\eta = \nu \rho$ рабочих жидкостей, не содержащих полимерных добавок. Для растворов жидкостей, содержащих высокомолекулярные полимерные оксиды, коэффициент $k = (0,13 \div 0,16)$, т. е. значительно меньше, чем в первом случае (рис. 3.2).

В свою очередь, эквивалентная длина l_s для нормальных жидкостей, не содержащих полимерных добавок, оставалась практически постоянной

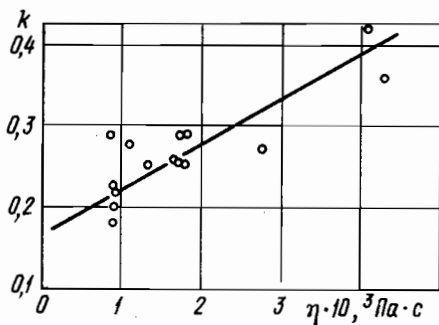


Рис. 3.2. Зависимость коэффициента k от динамического коэффициента вязкости рабочих жидкостей ЭКСРУ ВД

выходе из сопла пишущей головки ЭКСРУ ВД. Однако скорость v можно найти и экспериментально при заданном давлении p исходя из формулы Рэлея $v = \lambda f$, где f — частота каплеобразования, равная частоте напряжения на электродах ПЭП при функционировании ЭКСРУ ВД.

Экспериментальные исследования пишущих головок ЭКСРУ ВД подтвердили ламинарный характер течения рабочей жидкости (чернил), продемонстрировав линейную зависимость расхода жидкости от перепада давлений на сопле пишущей головки [49].

В общем случае для средней скорости v струи рабочей несжимаемой жидкости ЭКСРУ ВД имеем

$$v = \mu \sqrt{2p/\rho}, \quad (3.7)$$

где μ — коэффициент расхода сопла пишущей головки; p — избыточное давление в сопловой камере (учитываем, что струя чернил истекает в атмосферу, где избыточное давление равно нулю).

Коэффициент расхода μ определяется, как правило, экспериментально и зависит от геометрических параметров и конфигураций сопл.

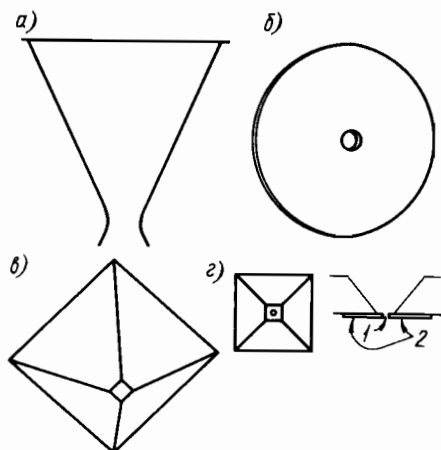
В ЭКСРУ ВД широкое распространение получили [78] конические (рис. 3.3, а), цилиндрические (рис. 3.3, б), пирамидальные с квадратными отверстиями (рис. 3.3, в) и гибридные (рис. 3.3, г) сопла. Коэффициент расхода μ для каждого из этих типов сопл будет определяться их конструктивными параметрами, зависящими и от технологии изготовления.

Конические сопла (рис. 3.3, а) ЭКСРУ ВД очень часто реализуются на базе часовых камней, что уменьшает затраты на их изготовление. Для этого в часовых камнях на высокоскоростных сверлильных станках соответствующими сверлами высверливаются воронки и с помощью ультразвука высверливается коническое отверстие цилиндрической секции. Далее внутренняя поверхность сопла и его торец шлифуются с помощью тонкой сетки и жидкой глины, притираются и полируются до необходимых параметров. Данный технологический процесс изготовления

и равной $l_s = 0,797 \pm 0,049$ мм. Следовательно, в этом случае в формуле (3.5) можно положить $l_s = 0,797$ мм (данные получены при длине сопла, равной двум его диаметрам). Для рабочих жидкостей с высокомолекулярными полимерными оксидами l_s несколько больше, чем в первом случае, и наблюдается разброс при переходе к другой жидкости.

Таким образом, выражение (3.5) дает возможность аналитически определить скорость v истечения струи чернил на

Рис. 3.3. Геометрические конфигурации сопл пишущей головки ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением



сопл требует тщательного оптического контроля качества выполнения всех операций и контроля чистоты обработки, симметричности и других геометрических параметров сопл. Обычно угол сектора конического конуса выполняется в пределах $20-80^\circ$.

Цилиндрические сопла (рис. 3.3, б) имеют цилиндрический канал со скруглением входной кромки и выполняются обычно из стеклянных капиллярных трубок. Для изготовления такого сопла стеклянная трубка обрезается соответствующим образом, притирается обычными средствами и полируется мягкими подкладками. В качестве материала используется стекло, не вступающее в химические взаимодействия с рабочими жидкостями ЭКСРУ (чернилами, краской) при заданных условиях работы. Длина таких сопл ограничена несколькими миллиметрами. Необходимо следить за плавностью скругления входных кромок сопла.

Сопла с квадратными выходными отверстиями (рис. 3.3, в) имеют форму усеченной пирамиды. Как и в конических соплах (рис. 3.3, а), они обладают относительно малым гидравлическим сопротивлением. Однако вследствие наличия прямого выхода, предусматриваемого технологией их изготовления, эти сопла чувствительны к любой асимметрии в форме, что в ряде случаев затрудняет их взаимозаменяемость. Для устранения этого изготавливают сопла-гибриды. На рис. 3.3, г показана конструкция сопла, представляющего собой комбинацию квадратно-пирамидального сопла (рис. 3.3, в) и круглого цилиндрического сопла (рис. 3.3, б). Цилиндрическое отверстие расположено на пересечении диагоналей малого квадрата пирамиды. В этом случае сопло работает как цилиндрическое, но достигается уменьшение входного гидравлического сопротивления при протекании через него чернил (краски) ЭКСРУ.

Для удобства экспериментального нахождения коэффициента расхода μ в выражении (3.7) при различных конфигурациях сопл в работе [78] исследована увеличенная в 100 раз масштабная модель сопл и процессов каплеобразования с их использованием. В основу этой модели положен результат, полученный из анализа уравнений движения несжимаемого изотермического потока жидкости Навье — Стокса и уравнения неразрывности, по которому движение рабочей жидкости полностью определяется тремя безразмерными числами:

числом Рейнольдса $Re = vd/\nu$, учитывающим вязкостные эффекты;
числом Вебера $We = \rho v^2 d / \alpha$, учитывающим поверхностное натяжение чернил;

числом Фруда $Fr = v^2 / (gd)$,

где v — средняя скорость течения жидкости в сопле; d — эквивалентный диаметр сопла; ν , α — коэффициенты кинематической вязкости и поверхностного натяжения рабочей жидкости (чернил); g — ускорение свободного падения. В реальном и крупномасштабном соплах обеспечивались одни и те же значения Re , We , Fr .

Исследования проведены для $Re \in [100 \div 1000]$, $We \in [100 \div 400]$ и $Fr \in [4 \cdot 10^5; 2 \cdot 10^6]$, причем в крупномасштабной модели использовались чернила на основе этиленового двухатомного спирта ($\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$) с параметрами: $\rho = 1100 \text{ кг/м}^3$, $\eta = \nu\rho = 19,9 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ и $\alpha = 47,7 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$. Результаты, полученные на крупномасштабной модели сопла, сравнивались с результатами, полученными на реальном сопле. Сходимость результатов была удовлетворительной.

На рис. 3.4 представлена зависимость коэффициента расхода и скорости течения v для конических сопел (см. рис. 3.3, а) различных конфигураций. Причем сопла подключались к источнику давления как узким, так и широким конусом сопла. Для сравнения на рис. 3.4 приведена соответствующая зависимость и для цилиндрических сопел с закругленными и острыми входными кромками. При проектировании ЭКСПУ ВД целесообразно выбирать сопла с большим коэффициентом

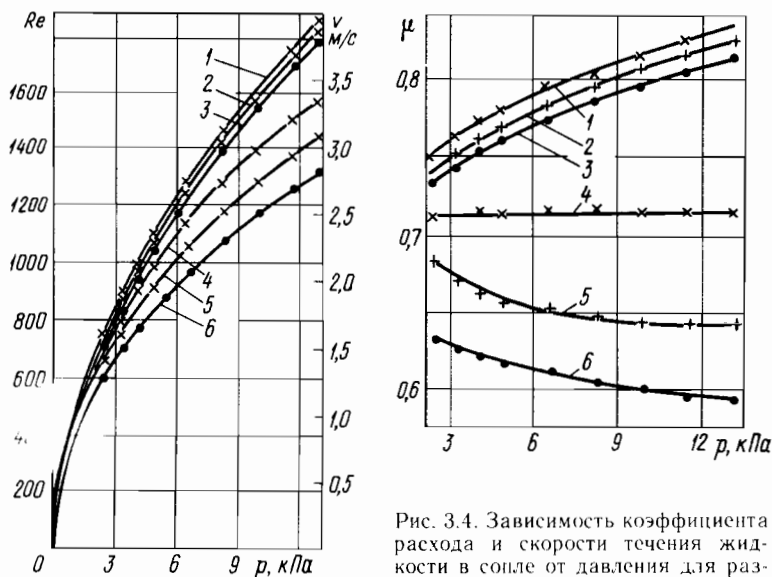


Рис. 3.4. Зависимость коэффициента расхода и скорости течения жидкости в сопле от давления для различных типов сопел ЭКСПУ с эмиссией каплей высоким давлением:

1 — 50°, 80°, конус внутрь; 2 — цилиндрический канал с входным радиусом; 3 — 50°, конус внутрь; 4 — 80°, параболический конус наружу; 5 — цилиндр (острая входная кромка), параболический конус внутрь; 6 — 50°, конус наружу

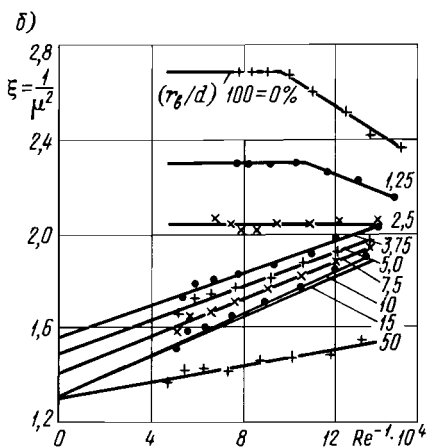
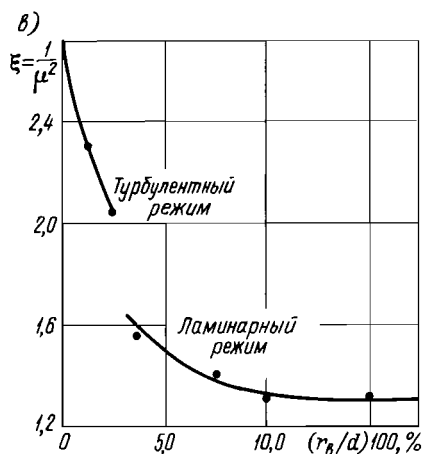
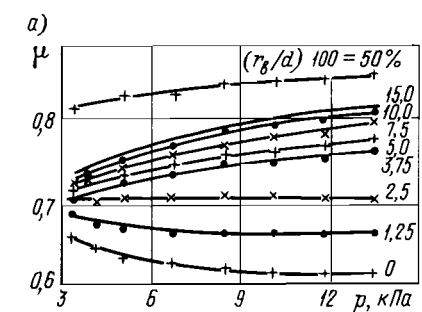


Рис. 3.5. Влияние радиуса закругления входного канала цилиндрических сопел на эффективность работы пишущей головки ЭКСРУ с эмиссией каплей высоким давлением

расхода μ . И в этом плане рациональны сопла с углом конуса 50 и 80°, направленным внутрь (кривую 1, рис. 3.4, б). Интересно отметить, что в 80-градусном параболическом (конус наружу) сопле коэффициент расхода μ не зависит от давления p в межсopловой камере пишущей головки и имеет достаточно большую величину: $\mu=0.71$ (прямую 4, рис. 3.4, б) в то время как при других конфигурациях сопел существенно зависит от давления p . Поэтому стенки внутренней поверхности сопел целесообразно делать параболическими.

При незакругленных входных кромках сопла коэффициент расхода резко падает (кривые 2 и 5, рис. 3.4, б), что требует повышенного давления питания при одной и той же эффективности эмиссии каплей в ЭКСРУ ВД.

Для проверки влияния радиуса закругления входных кромок цилиндрических сопел на эффективность эмиссии каплей исследованы крупномасштабные модели сопел [78] с Re , We , Γ такими же, что и в реальных соплах. Были взяты семь сопел с внутренним диаметром и длиной 5,1 мм и с входными радиусами r_g , равными 0,063 мм; 0,127 мм; 0,19 мм; 0,253 мм; 0,38 мм; 0,51 мм и 0,77 мм. На рис. 3.5 представлены результаты данных исследований, где входной радиус выражен в процентах от внутреннего диаметра d канала сопла. Из рис. 3.5, а следует, что коэф-

коэффициент расхода при одном и том же давлении питания растет с увеличением радиуса скругления r_b (вплоть до $r_b/d=50\%$). Следовательно, чем плавнее входят чернила в сопло при работе пишущей головки, тем больше μ . Как следует из рис. 3.5, б, в первом приближении можно записать для коэффициента гидравлических потерь

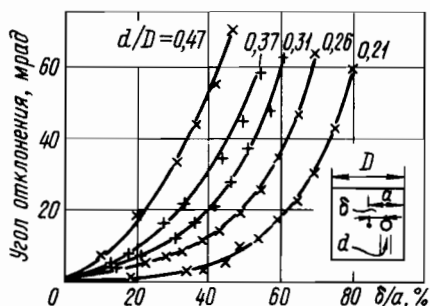
$$\xi = 1/\mu^2 = A + B/Re,$$

где A , B — постоянные, определяемые из графика на рис. 3.5, б для выбранных r_b/d . На рис. 3.5, в приведены результаты исследований реальных сопел. Из них следует, что для ламинарного режима и обеспечения малых гидравлических потерь на входе сопла ЭКСРУ ($\xi=1,3$) достаточно отношение $r_b/d=10 \div 15\%$. Дальнейшее увеличение r_b не будет эффективным. Однако при этом необходимо учитывать, что при плавном закруглении входных кромок уменьшается степень возмущенности потока, что в конечном итоге увеличивает критическое число Рейнольдса при обеспечении ламинарного течения в сопле.

На рис. 3.6 представлены результаты исследования [78] гибридного сопла с цилиндрическим выходным отверстием в квадратной пластинке со стороной D . В качестве информативного выходного параметра принято отклонение образующей струи от вертикали. Несоосность сопла мало сказывается на величине расхода, если сопло достаточно далеко удалено от края мембраны.

Результаты рис. 3.6 подтверждают выводы Гамильтона, который при исследовании влияния радиуса закругления цилиндрических трубок на входные гидравлические потери установил, что для их устранения необходимо обеспечить отношение $r_b/d=14\%$. При этом числа Рейнольдса необходимо выбирать такими, чтобы течение было ламинарным с максимальным коэффициентом расхода.

Использование увеличенной масштабной модели реальных сопел пишущей головки ЭКСРУ ВД дает практические преимущества при исследовании процессов каплеобразования. Проведенные Леванони исследования [78] показали, что при одних и тех же числах Re , We , Fr в реальном сопле и его увеличенной модели процессы каплеобразования практически идентичны. На рис. 3.7, а слева показан такой процесс в реальном сопле, а справа — в его увеличенной масштабной модели. Как следует из рис. 3.7, а, во втором случае по мере удаления капли от сопла начинают сказываться силы гравитации. На рис. 3.7, б, в



последовательно во времени крупным планом показаны процессы образования капель и их сателлитов (рис. 3.7, б) и момент отрыва

Рис. 3.6. Влияние несоосности выходного отверстия на эффективность работы гибридного сопла пишущей головки ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением

капли от сплошной струи (рис. 3.7, а). Возмущение скорости, вызванное стоячими волновыми колебаниями вынужденной частоты от ПЭП, налагается на среднюю скорость струи и стабилизирует процесс связывания в узелки основной струи, участвующих в формировании отдельных капель.

Для обеспечения качественной регистрации информации в ЭКСРУ ВД перемещение носителя информации (развертку по координате x) необходимо осуществлять синхронно и синфазно с зарядкой капель. В свою очередь, заряженный электрод должен располагаться в точке отрыва капель от основной струи чернил.

Поэтому при проектировании пишущей головки (ПГ) ЭКСРУ ВД необходимо знать зависимость длины L (см. рис. 3.1, а) струи до точки отрыва капель от конструктивных, электрических и гидродинамических параметров ПГ.

Выше уже отмечалось, что по линейной теории гидродинамической устойчивости амплитуда возмущений по длине струи жидкости растет во времени экспоненциально $e^{\delta_i t}$.

При пренебрежении вязкостью чернил ($\eta=0$) зависимость $\delta_i = f(\lambda/d_{ст})$, найденная Рэлеем, показана на рис. 3.1, в. В этом случае с увеличением $\lambda/d_{ст}$ до величины 4,51 δ_i быстро нарастает, принимая максимальное значение, при дальнейшем увеличении $\lambda/d_{ст}$ δ_i плавно падает. В линейной теории гидродинамической устойчивости применительно к распаду струй жидкости на капли предполагают, что при достижении амплитуды возмущений величины диаметра струи (или, если рассматривать только половину струи относительно оси симметрии, — величины радиуса струи, см. рис. 3.1, б) струя дробится на капли. Таким образом, длина L струи в этом случае будет определяться значением параметра δ_i . Для уменьшения габаритов пишущей головки для маловязкой рабочей жидкости целесообразно обеспечить $\lambda/d_{ст}=4,51$ [см. выражение (3.4)]. Здесь еще раз подчеркнем, что соотношение (3.4) справедливо для случая, когда при анализе распада струи на капли вязкостью чернил можно пренебречь.

Однако проведенные Вебером еще в 1931 г. исследования [11, 88] показали, что δ_i зависит от вязкости рабочей жидкости и связано с ней соотношением

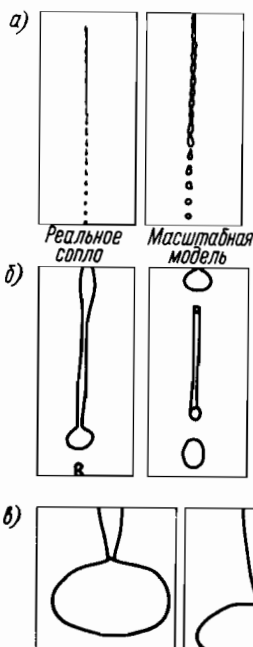


Рис. 3.7. Процессы каплеобразования в электрокапельных регистрирующих устройствах с эмиссией капель высоким давлением [78]

$$\delta_i = -\frac{3}{2} \frac{\eta}{\rho} \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 + \sqrt{\frac{9}{4} \left(\frac{\eta}{\rho} \right)^2 \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^4 + \frac{\alpha_2}{\rho d_{\text{ст}}} \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^2 \left[1 - \left(\frac{\pi d_{\text{ст}}}{\lambda} \right)^2 \right]}, \quad (3.8)$$

где $\eta = \rho \nu$ — динамический коэффициент вязкости рабочей жидкости ЭКСРУ. На рис. 3.1, в графически изображены зависимости $\delta_i = f(\eta, \lambda/d_{\text{ст}})$, из которых следует, что положение экстремума данной зависимости отличается от предсказанного Рэлеем, а при очень вязких чернилах ($\eta = 100 \text{ г/(с·м)} = 10^{-1} \text{ Па·с}$) экстремума вообще нет. Следовательно, при очень вязких рабочих жидкостях регулярной эмиссии капель может вообще не быть.

Таким образом, при учете вязкости рабочей жидкости ЭКСРУ ВД соотношение (3.4) уже не будет справедливо, поскольку $\lambda \neq 4,51 d_{\text{ст}}$ (максимальное значение $\delta_{i\text{max}}$ имеет место при $\lambda/d_{\text{ст}} > 4,51$). Поэтому целесообразно (3.4) переписать в виде

$$f = \nu / (k_1 d_{\text{ст}}), \quad (3.9)$$

где k_1 — коэффициент, соответствующий тому численному значению $\lambda/d_{\text{ст}}$ (см. рис. 3.1, в), при котором δ_i максимально ($\delta_i = \delta_{i\text{max}}$) для выбранной рабочей жидкости ЭКСРУ.

Тогда с учетом рис. 3.1, б и принятой модели каплеобразования можно записать [88, 49]

$$L = \nu t^* = \frac{\nu}{\delta_{i\text{max}}} \ln \frac{d_{\text{ст}}}{2\Delta d(0)}, \quad (3.10)$$

где t^* — время, за которое амплитуда волны возмущения достигнет значения радиуса струи, в соответствии с рис. 3.1, б (или, если рассматривать всю струю, время, за которое размах амплитуды возмущения достигнет диаметра струи); $\Delta d(0)$ — начальная амплитуда возмущения при выходе струи чернил из сопла в момент времени $t=0$. Предполагая, что $2\Delta d(0)$ пропорционально амплитуде напряжения U_n на электродах пьезоэлектрического преобразователя пишущей головки, из формулы (3.10) получим

$$L = \frac{\nu}{\delta_{i\text{max}}} \ln \frac{d_{\text{ст}}}{k_2 U_n} = \frac{\nu}{\delta_{i\text{max}}} \left[\ln \frac{d_{\text{ст}}}{k_2} - \ln U_n \right], \quad (3.11)$$

где k_2 — коэффициент пропорциональности между величиной вносимых в струю возмущений и напряжением на электродах ПЭП ЭКСРУ ВД.

Здесь $\delta_{i\text{max}}$ определяется из формулы (3.8) для выбранных чернил (краски), вязкость которых характеризуется η . Проведенные экспериментальные исследования для различных рабочих жидкостей с широким диапазоном изменения η [49] подтвердили правомерность пользования формулой Вебера (3.8) для δ_i (погрешность составила не более 15 %).

Величина $\ln(d_{\text{ст}}/k_2)$ в формуле (3.11) определяется, как правило, экспериментально. В качестве примера на рис. 3.8, а представлены экспе-

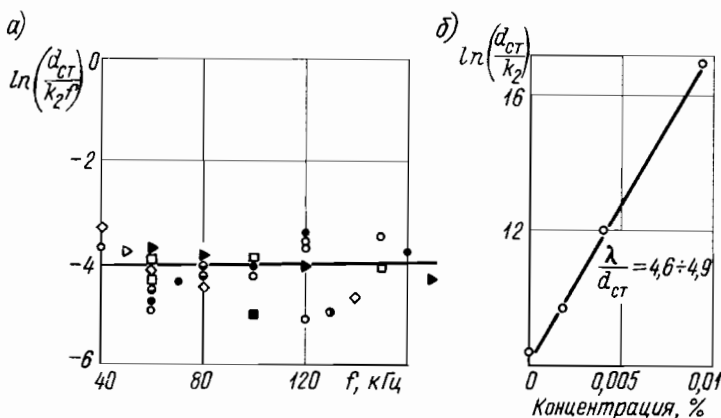


Рис. 3.8. Зависимость $\ln [d_{cr}/(k_2 f)]$ от частоты f напряжения на пьезоэлектрическом преобразователе пишущей головки ЭКСРУ ВД:

○ — вода 7/25/73 ($\eta = 0.89 \cdot 10^{-3}$ Па·с); ● — вода 8/21/73 ($\eta = 0.89 \cdot 10^{-3}$ Па·с); □ — 15 %-ный карбовакс 600 ($\eta = 1.866 \cdot 10^{-3}$ Па·с); ■ — 15 %-ный карбовакс 4000 ($\eta = 4.06 \cdot 10^{-3}$ Па·с); ▷ — 1 %-ный бутиловый спирт ($\eta = 0.936 \cdot 10^{-3}$ Па·с); ► — 5 %-ный *t*-бутиловый спирт ($\eta = 1.11 \cdot 10^{-3}$ Па·с); ◼ — 50 %-ный *t*-бутиловый спирт ($\eta = 4.29 \cdot 10^{-3}$ Па·с); ◼ — 0.05 %-ный титон X-100 ($\eta = 0.89 \cdot 10^{-3}$ Па·с)

риментально полученные для различных рабочих жидкостей зависимости $[\ln (d_{cr}/k_2 - \ln f)]$ от частоты f изменения напряжения на электродах ПЭП [78] электрокапеструйных устройств с эмиссией капель высоким давлением при работе ПЭП в вязких чернилах (краске) вдали от резонанса. Таким образом, в первом приближении для жидкостей без полимерных добавок (рис. 3.8) можно записать

$$\ln (d_{cr}/k_2) = \ln f - 4. \quad (3.12)$$

При постоянной амплитуде напряжения на электродах ПЭП ($U_n = U_{n0}$), изменяя его частоту f и среднюю скорость струи v с последующим нахождением L , λ , d_{cr} (из опыта), можно с учетом формул (3.11) и (3.12) экспериментально определить величину δ_i

$$\delta_i = \frac{v}{L} \left(\ln \frac{d_{cr}}{k_2} - \ln U_{n0} \right) = \frac{v}{L} (\ln f - 4 - \ln U_{n0}). \quad (3.13)$$

На рис. 3.1, *г* для исследуемой жидкости [49] приведены полученные на основании (3.13) зависимости δ_i от λ/d_{cr} при различных средних скоростях v струи чернил. Здесь приняты обозначения: ○ — для $v = 23,5$ м/с, ● — $v = 22,1$ м/с, □ — $v = 14,5$ м/с, ■ — $v = 11,05$ м/с. Сплошной кривой на рис. 3.1, *г* показана зависимость δ_i от λ/d_{cr} , вычисленная на основании формулы (3.8). Как видно из рисунка, кривая с удовлетворительной для практики точностью совпадает с результатами эксперимента для выбранного типа рабочей жидкости ЭКСРУ (рис 3.8, *а*).

Для жидкостей без полимерных добавок длина отрыва капли L , вычисленная по формуле (3.11), с точностью до 25 % совпадает с

экспериментально найденной [49]. Последнее можно объяснить наличием резонансных явлений при работе пишущей головки. В качестве примера на рис. 3.9, а приведена зависимость L от скорости течения струи, которая получена экспериментально для воды изменением давления в пишущей головке и частоты напряжения f на электродах ПЭП при следующих значениях [78] $\lambda/d_{\text{ст}}$: $\circ$ — 3,5; $\square$ — 4,1; $\bullet$ — 5,2; $\blacksquare$ — 7,8.

Для рабочих жидкостей ЭКСРУ, содержащих высокомолекулярные полимерные добавки, имеют место большие по величине значения $\ln(d_{\text{ст}}/k_2)$, чем в чистых жидкостях. Последнее влияет на длину отрыва L и связано с закручиванием струи и наличием тонких жидких перемычек при каплеобразовании. Например, величина $\ln(d_{\text{ст}}/k_2)$ линейно возрастает с увеличением концентрации растворимой туши с полиоксидными добавками (рис. 3.8, б).

Диаметр струи ($d_{\text{ст}}$) и диаметр капли (d_k) по теории Рэлея в первом приближении связаны соотношением [52]

$$d_k = 2d_{\text{ст}}.$$

Объем капли (ее диаметр d_k) определяет разрешающую способность при нанесении заданной толщины слоя чернил на носитель информации. Например, при регистрации информации на бумаге толщина слоя чернил составляет 8 мкм и при разрешающей способности 9—10 элементов на элемент необходим объем чернил $\sim 10^{-4}$ мм³. Следовательно, при образовании одного элемента изображения двумя каплями требуемый объем капли должен быть $5 \cdot 10^{-5}$ мм³.

При каплеобразовании и отрыве капли от струи возникают тонкие жидкостные перешейки, которые, разрываясь, могут образовывать один



Рис. 3.9. Влияние гидродинамических и конструктивных параметров на длину отрыва капли (а), время образования капли (б) и размеры сателлитов (в)

или несколько маленьких капелек — сателлитов. Размеры данных сателлитов неодинаковы и зависят от длины волны λ возмущений (рис. 3.9, в). Если отрыв перешейка происходит сначала от струи, а потом от основной капли, то образуется так называемый быстрый сателлит [74], поверхностное натяжение направляет его вперед и сателлит может слиться с основной каплей. И, наоборот, если сателлит устремляется назад, то возникает «медленный» сателлит. При одновременном отрыве перешейка с двух сторон образуется так называемый переходный сателлит, скорость которого равна скорости основной капли.

Получение быстрых, медленных или переходных сателлитов зависит от выбранных типов чернил, конструктивных и гидродинамических параметров пишущей головки при определенных величинах напряжений на электродах пьезоэлектрического преобразователя. В качестве примера на рис. 3.9, б приведены результаты исследований [74] каплеобразования в пишущей головке фирмы «А. Б. Дик» с диаметром сопла 63 мкм (кривая 2) при различных напряжениях U_n на электродах ПЭП. По оси ординат отложено время до образования капли $t_{обр}$. На этом же рисунке показана зависимость (кривая 1) $t_{обр} = f(\lambda/d_{ст})$ при $U_n = 25 \text{ В} = \text{const}$, вычисленная на основании теории Рэлея. Установлено, что справа от кривой 2 образуются быстрые сателлиты, слева — медленные, а при параметрах $\lambda/d_{ст}$ и $t_{обр}$, соответствующих точкам, лежащим на кривой 2, — образуются переходные сателлиты.

При проектировании ЭКСПУ ВД целесообразно выбирать такие режимы пишущей головки, при которых имеют место монодисперсные капли без сателлитов. Если же это не удастся, то рационален режим, обеспечивающий образование быстрых сателлитов, соединяющихся с основными каплями до подхода к отклоняющим электродам. Для этого необходимо выбрать рабочую жидкость с соответствующими параметрами вязкости и поверхностного натяжения. При низкой вязкости (как у воды) и малых значениях $\lambda/d_{ст}$ не удастся получить быстрых сателлитов.

Диаметр сателлита $d_{сат}$ определяется как параметрами жидкости (вязкостью), так и значением частоты возмущений $\lambda/d_{ст}$ (рис. 3.9, в) [74]. На рисунке d_k — диаметр капли и приняты следующие обозначения для исследуемых рабочих жидкостей: $\square$ — этиловый спирт с динамическим коэффициентом вязкости $\eta = 1,8 \text{ мПа} \cdot \text{с}$; $\circ$ — водный раствор гликоля ($\eta = 1,5 \text{ мПа} \cdot \text{с}$); $\triangle$ — водный раствор глицерола ($\eta = 8,8 \text{ мПа} \cdot \text{с}$). Следовательно, наблюдается линейная зависимость $d_{сат}/d_k$ от $\lambda/d_{ст}$ в широком диапазоне изменений динамического коэффициента вязкости $\eta \in [1,5; 8,8] \text{ мПа} \cdot \text{с}$ рабочих жидкостей ЭКСПУ. Однако с уменьшением вязкости чернил ($\eta < 1,5 \text{ мПа} \cdot \text{с}$) данная линейная зависимость нарушается.

Из формул (3.11), (3.13) следует, что расстояние от среза сопла до точки отрыва капли зависит от частоты возмущающих колебаний, от напряжения на электродах пьезоэлектрического преобразователя, от средней скорости струи (отношения скорости возмущающих колебаний к средней скорости струи), от свойств рабочей жидкости ЭКСПУ и диаметра струи. Продемонстрируем это на примерах исследования конкретных узлов эмиссии капель высоким давлением, широко исполь-

зуемых в ЭКСПУ ВД. На рис. 3.10, *а* представлен поперечный разрез узла эмиссии каплей серийно изготавливаемой пишущей головки фирмы «А. Б. Дик» (США) [72, 90]. Формирующее струи и капли сопло 1 выполнено из часового камня, запрессованного в металлическую оправку трубки 9. На рис. 3.10, *б* показано крепление сопла 1 в оправке и профиль сопла в увеличенном масштабе. Рабочая жидкость (чернила, краска) под давлением в несколько атмосфер подается к соплу из резервуара от газового или электромеханического источника давления (насоса) посредством штуцера 5 (рис. 3.10, *а*). Во время работы пишущей головки давление перед соплом поддерживается постоянным. На металлической трубке 9 с соплом 1 размещены два пьезоэлектрических тороидальных пьезоэлемента 8, поляризованных в аксиальном направлении. Внешняя поверхность пьезоэлементов 8 контактирует с заземленной посредством провода 6 металлической трубкой с использованием зажимной гайки 7. Пьезоэлементы жестко скреплены в аксиальном направлении, и через электрод 3, расположенный между ними, к ним подводится потенциальный провод 4 от источника переменного синусо-

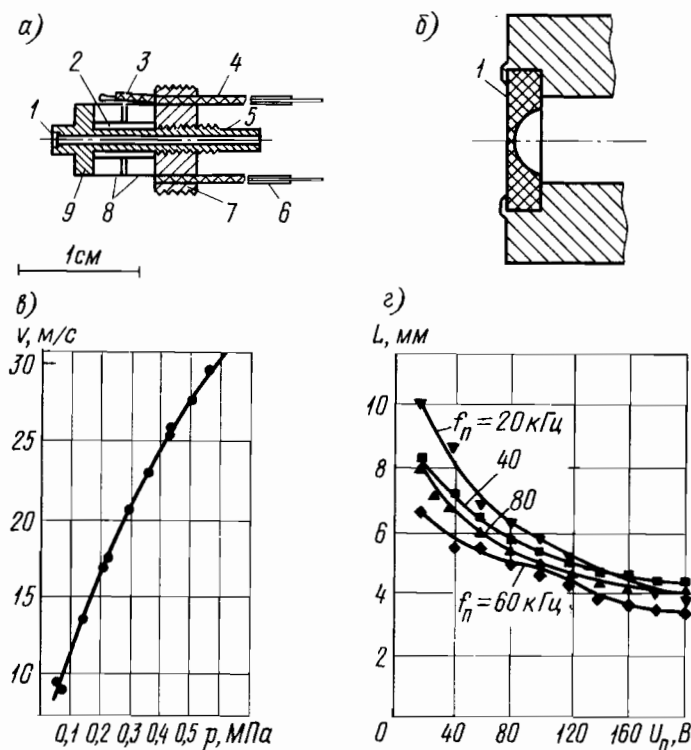


Рис. 3.10. Конструкция (*а, б*), расходно-перепадная характеристика (*в*) и зависимость длины сплошной части струи от частоты и напряжения на электродах ПЭП (*г*) пишущей головки фирмы «А. Б. Дик» (чернила типа 16-1000 при $t = 24^\circ\text{C}$; $d = 63$ мкм)

идального напряжения. Внутренние поверхности пьезоэлементов отделены от металлической трубки изолятором 2.

При подаче напряжения на электроды пьезоэлектрического преобразователя, состоящего в данном случае из двух пьезоэлементов 8, они аксиально расширяются и сжимаются с амплитудой, зависящей от напряжения. Возникает периодическая вибрация в аксиальном направлении с частотой подведенного к ПЭП напряжения, и таким образом вызываются вынужденные возмущения струи рабочей жидкости, истекающей из сопла 1. Следовательно, на среднюю скорость струи накладываются вынужденные гармонические возмущения скорости за счет работы ПЭП и происходят замедления и ускорения отдельных точек потока струи. В результате на вытекающей струе возникают «узелки» рабочей жидкости, из которых в дальнейшем образуются капли с частотой, определяемой частотой напряжения на электродах ПЭП.

Средняя скорость v вытекающей из сопла струи чернил (краски) определяется, как уже отмечалось выше [см. формулу (3.5)], давлением питания p , параметрами рабочей жидкости и конструктивными параметрами пишущей головки. На рис. 3.10, *в* представлена экспериментально снятая зависимость средней скорости струи от давления питания p [38], а на рис. 3.10, *г* — зависимость сплошной части струи (до отделения капель) при $p=0,207$ МПа от электрических параметров ПЭП для узла эмиссии капель (рис. 3.10, *а*). Как следует из рис. 3.10, *в*, при изменении давления от 0,1 до 0,5 МПа имеет место частичная турбулизация потока чернил, поскольку зависимость $v=f(p)$ несколько отличается от линейной. Изменение частоты f_n напряжения на электродах ПЭП (рис. 3.10, *г*) существенно влияет и на длину L сплошной части струи до точки отрыва капель. С увеличением амплитуды U_n напряжения на электродах ПЭП длина L уменьшается на всех частотах, что и определяет соотношение (3.11). Расстояние до точки отрыва капли уменьшается с ростом коэффициента поверхностного натяжения используемых чернил.

Для определенных режимов работы пишущей головки и параметров чернил при каплеобразовании наблюдается образование из перешейков между узлами модулированной струи маленьких капелек, которые называют сателлитами больших капель. Перешеек между «узлами» модулированной струи при каплеобразовании может слиться с предыдущей или с последующей каплей. Если это происходит до входа капли в пространство между отклоняющими электродами, то на качество регистрации информации последнее обстоятельство сказывается незначительно. Ситуация меняется, когда образуется отдельный сателлит, масса которого, как правило, приблизительно в 5 раз меньше, чем масса основной капли. Попадая в пространство отклоняющих электродов, сателлит с соответствующим зарядом может отклониться на величину, существенно большую, чем это требуется для основной капли, и образовать нежелательный фон при регистрации информации. Конечно, влияние этого явления на качество регистрации можно уменьшить схемными методами, организовав соответствующую синхронизацию каплеобразования и сообщения заряда каплям. Более того, регистрацию информации можно производить только сателлитами, отклоняя основные кап-

ли на слив, что позволяет в силу малости спутников существенно увеличить разрешающую способность регистрируемой информации.

На рис. 3.11, а представлена принципиальная схема ЭКСРУ ВД [пат. 4408211 (США)] для регистрации информации спутниками. Выходящая из сопла 2 струя 3 чернил (краски) дробится на капли под действием пьезоэлектрического преобразователя 1, на который подается синусоидальное напряжение от источника 16. Параметры напряжения (частоты) выбираются с учетом параметров рабочей жидкости и конструктивных параметров сопла таким образом, чтобы при каплеобразовании получились большие капли 12 и маленькие (спутники) 7. Особенностью устройства рис. 3.11 является принятый алгоритм работы заряжающе-отклоняющей системы, по которому разделяются большие и малые капли чернил. Заряжающе-отклоняющая система состоит из заряжающих электродов 6 и 15, соединенных с источниками управляющих сигналов 5 и 13, подключенных к источникам сдвигающего напряжения 4 и 14. Свободные концы источников сдвигающего напряжения и сопловая головка заземлены. Отклоняющие электроды 8 соединены с источником постоянного отклоняющего напряжения 9.

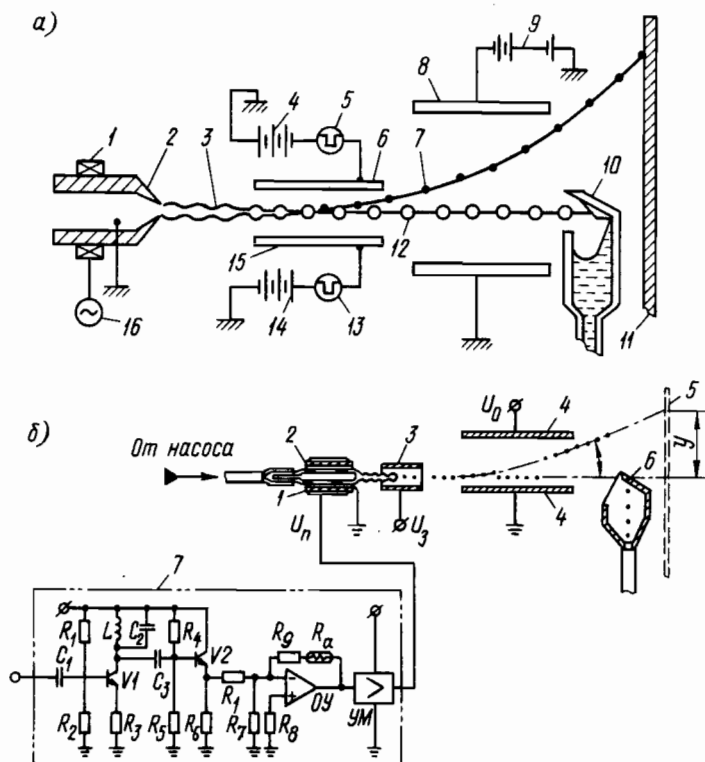


Рис. 3.11. Увеличение разрешающей способности (а) и уменьшение влияния температуры (б) на качество изображений ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением

В момент образования малой капли (сателлита) источники управляющих сигналов 5 и 13 заряжают ее до определенной величины. При этом большие капли и не участвующие в записи малые капли чернил не заряжаются. Благодаря наличию разноименных источников сдвигающего напряжения 4 и 14 при отсутствии управляющих сигналов с источников 5 и 13 в струе чернил поддерживается нулевой потенциал.

Проходя через отклоняющие электроды 9, заряженные капли (сателлиты) чернил 7 отклоняются электростатическим полем на величину, пропорциональную величине своего заряда, и попадают в соответствующую точку носителя информации 11. Незаряженные капли чернил своей траектории не меняют и попадают в улавливатель 10 и далее после фильтрации чернила насосом подаются к соплу пишущей головки.

При выводе соотношения (3.11) для длины L струи чернил предполагалось, что поток изотермический. Однако в реальных условиях температура рабочей жидкости (чернил) в ЭКСРУ ВД может изменяться. С повышением температуры вязкость чернил уменьшается. При этом выходящая из сопла струя будет иметь более высокую скорость u , что в конечном итоге влияет на величину L и размеры капель. Заряжающие электроды размещаются в ЭКСРУ ВД в месте отрыва капель. Изменение же L приведет в реальных конструкциях ЭКСРУ ВД к тому, что заряд капли будет меньше, чем это обусловлено управляющим напряжением U_3 на зарядных электродах. Последнее приводит к изменению величины отклонения капли и в конечном итоге влияет на качество регистрации информации.

Компенсацию температурного влияния на работу ЭКСРУ ВД производят, как правило, схемными методами, например соответствующим изменением напряжения U_0 на электродах пьезоэлектрического преобразователя [пат. 4400705 (США)] (рис. 3.11, б). ЭКСРУ ВД содержит сопловую головку 1, из которой выходит струя чернил, которая дробится на капли под действием ПЭП 2. В месте дробления струи расположен зарядный электрод 3. Заряженные капли чернил отклоняются электростатическим полем электродов 4 и попадают на носитель информации 5, отклоняясь на величину y от прямолинейной траектории. Незаряженные капли своей траектории не меняют и попадают в улавливатель 6.

Для уменьшения влияния изменения температуры рабочей жидкости (чернил, краски) на качество регистрации информации напряжение U_0 на электродах ПЭП меняется соответствующим образом с помощью компенсирующего устройства 7.

Компенсирующее устройство 7 содержит резонансный усилитель, состоящий из конденсаторов C_1 и C_2 , резисторов $R_1—R_3$, транзистора $V1$ и катушки индуктивности L . Резонансный усилитель, состоящий из конденсатора C_3 , резисторов $R_4—R_6$ и транзистора $V2$, связан с корректирующим устройством. Корректирующее устройство содержит резисторы $R_7—R_9$, операционный усилитель $ОУ$, в обратную цепь которого включен термистор R_a с отрицательной температурной характеристикой.

Выход корректирующей цепи через усилитель мощности УМ связан с электродами пьезоэлектрического преобразователя 2.

При изменении температуры рабочей жидкости ЭКСРУ ВД напряжение U_n на электродах ПЭП изменяется таким образом, чтобы длина L струи до точки отрыва капль оставалась постоянной.

3.2. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СООБЩЕНИЯ ЗАРЯДА КАПЛЯМ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ В ЭКСРУ С ЭМИССИЕЙ КАПЕЛЬ ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ И СИНХРОНИЗАЦИЕЙ ДРОБЛЕНИЯ СТРУИ. ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ

Рассмотрим теперь физические процессы сообщения заряда каплям чернил в электрокаплеструйных регистрирующих устройствах с эмиссией капель высоким давлением и синхронизацией дробления струи. При реализации зарядного узла в ЭКСРУ ВД точку пересечения осей симметрии зарядных электродов располагают в точке отделения капли от струи (рис. 3.12, а). Обычно зарядные электроды выполняют в виде плоских пластин U -образной конструкции или коротких цилиндрических трубок, расположенных осесимметрично струе. Причем зарядный узел конструктивно выполняется таким образом, что струя проводящих чернил заземлена, а на зарядный электрод подается потенциал U_3 , величина которого определяется сигналом от знаковосинтезирующего узла ЭКСРУ. Таким образом, одним из электродов зарядного узла является собственно зарядный электрод (потенциальный электрод), а другим — не распавшаяся на капли часть струи рабочей жидкости.

При подаче напряжения U_3 на зарядный электрод в струе чернил индуцируется заряд, знак которого противоположен знаку потенциала заряжающего электрода. Следовательно, в этот момент данный процесс

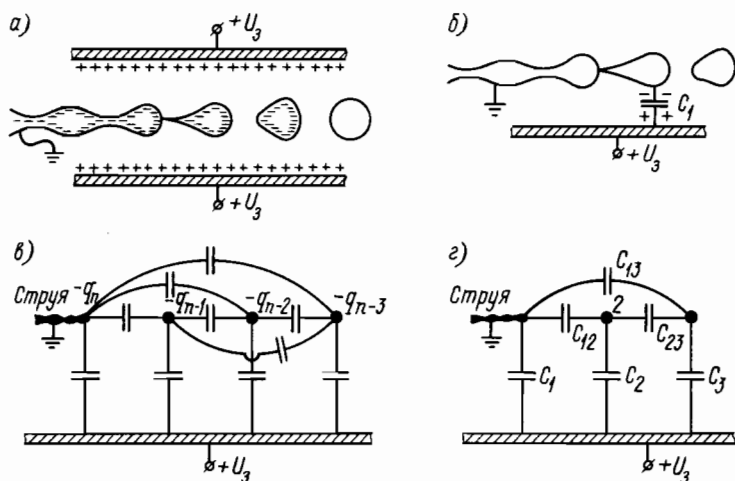


Рис. 3.12. Модель сообщения заряда каплям в ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением и синхронизацией дробления струи

можно охарактеризовать [58] эквивалентной емкостью C_1 (рис. 3.12, б), одной обкладкой которой является зарядный электрод, а другой — образующаяся капля в момент ее отделения от струи. Отделившаяся капля уносит с собой имеющийся на ней в момент отделения от струи заряд, значение которого прежде всего определяется величиной напряжения U_3 на зарядном электроде. Однако при работе ЭКСПУ ВД капли генерируются с частотой до 100 кГц, и очень часто возникают ситуации, когда к отклоняющей системе движется друг за другом несколько заряженных таким образом капель. В этом случае на заряд только что сформировавшейся капли влияет не только U_3 , но и заряды предшествующих капель. Эквивалентная цепь сообщения заряда капли меняется [58]. На рис. 3.12, в показана эквивалентная электрическая цепь взаимодействия между формирующейся каплей и тремя предварительно заряженными каплями.

Если по режиму работы ЭКСПУ ВД предшествующие капли не заряжаются, то между ними и заряжающим электродом также имеют место емкостные связи. На рис. 3.12, г представлена эквивалентная электрическая схема заряда капли в присутствии двух предварительно сформированных, но не заряженных капель. И в этом случае сообщаемый n -й капле заряд будет определяться эквивалентной емкостью C_3 и напряжением на зарядном электроде

$$q_n = -C_3 U_3. \quad (3.14)$$

В случае же, изображенном на рис. 3.12, в [58],

$$q'_n = -C_3 U_3 - \alpha q_{n-1} - \beta q_{n-2} - \gamma q_{n-3}, \quad (3.15)$$

где $\alpha = -\frac{\Delta q_{n-1}}{q_{n-1}}$; $\beta = -\frac{\Delta q_{n-2}}{q_{n-2}}$; $\gamma = -\frac{\Delta q_{n-3}}{q_{n-3}}$; Δq_{n-i} , $i=1, 2, 3$ —

изменение зарядов капель за счет взаимного влияния. Величины α , β , γ определяются экспериментально для конкретного конструктивного исполнения пишущей головки ЭКСПУ ВД. Например, для исследуемого в работе [58] ЭКСПУ с плоскопараллельным (U -образным) зарядным электродом с расстоянием между пластинами 0,64 мм и их длиной 2,67 мм найдены: $\alpha=0,15$, $\beta=0,045$, $\gamma=0,015$. Отметим при этом, что расстояние между пластинами U -образного зарядного электрода выбирается из двух взаимно противоречивых факторов. Для увеличения заряда на капле при $U_3=\text{const}$ это расстояние должно быть по возможности меньшим, но в то же время очень малое расстояние может увеличить аэродинамическое сопротивление прохождению капель через зарядный электрод и ужесточить требования к соосности капельной струи и зарядного электрода.

Из формулы (3.15) следует, что заряженные капли, взаимодействуя друг с другом, могут при $U_3=\text{const}$ уменьшить заряд на 15—20 %. Поэтому при реализации ЭКСПУ ВД предусматривается устранение этого явления схемными методами, например соответствующим повышением напряжения U_3 при заряде очередной капли с учетом влияния предыдущих капель.

По Свиту, эквивалентная зарядная емкость для U-образного электрода определяется так [90]:

$$C_s = \frac{2\varepsilon_0 L_1}{\ln(8h_1/d_k)}, \quad (3.16)$$

где ε_0 — электрическая постоянная; L — длина цилиндра, формирующего каплю; h_1 — расстояние от центра капли до одной из зарядных пластин; d_k — диаметр капли.

При выводе формулы (3.16) предполагается, что в момент сообщения заряда капле она уже имеет сферическую форму, что, как правило, не соответствует реальным условиям работы пишущей головки ЭКСРУ.

В работе [58] для качественного анализа за основу взята модель сообщения заряда капле при плоскопараллельном электроде также при допущении, что в момент зарядки (отрыва) капля имеет сферическую форму без учета заземления струи, находящейся между пластинками зарядного электрода. При этом заряженная капля моделируется эквивалентным точечным зарядом. На рис. 3.13 показаны результаты расчета для данной модели [58]. С увеличением отношения длины волны возмущения λ к диаметру струи $d_{ст}$ относительная величина q_{n-1}/q_n (заряда q_{n-1} от предварительно заряженной капли к заряду q_n формируемой капли) монотонно уменьшается (рис. 3.13, а). Причем с уменьшением расстояния h между пластинками зарядного электрода процент изменения q_{n-1}/q_n уменьшается при постоянном диаметре струи $d_{ст} = \text{const}$.

В случае увеличения радиального смещения Δr капле от оси зарядного электрода процент изменения q_{n-1}/q_n возрастает (рис. 3.13, б).

Принятые допущения при разработке модели сообщения заряда капле требуют при определении эквивалентной емкости C_s корректировки выражения (3.16) на основании результатов экспериментальных исследований конкретной пишущей головки ЭКСРУ. Экспериментальные проверки конструкций ПГ с плоскопараллельными (1) и цилиндрическими (2) зарядными электродами показали (рис. 3.13, в) [58], что эквивалентная емкость C_s в выражениях (3.15) и (3.16) может быть определена так:

$$C_s = k \lg(k_1/H), \quad (3.17)$$

где k , k_1 — постоянные коэффициенты, определяемые параметрами пишущей головки; $H = h$ — для плоскопараллельных (U-образных) электродов; h — расстояние между пластинами; $H = d_3$ — для цилиндрического электрода (d_3 — диаметр цилиндрического электрода). Например, при $\lambda = 160$ мкм, $d_{ст} = 34,5$ мкм для плоскопараллельных (U-образных) электродов $k = 2 \cdot 10^{-15}$ Ф, $k_1 = 22,61$ мм, для цилиндрических электродов $k = 2 \cdot 10^{-15}$ Ф, $k_1 = 29,21$ мм.

Максимальное значение заряда q_{max} , сообщаемого сферической капле, ограничивается (как и в ЭКСРУ с электростатической эмиссией капель) величиной, при которой электростатические силы отталкивания элементарных зарядов на отдельных точках поверхности капли превысят силы поверхностного натяжения (сохраняется целостность капли). Оно определяется в соответствии с формулой (2.7)

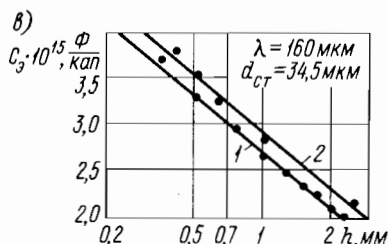
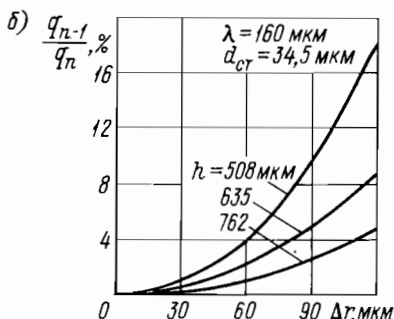
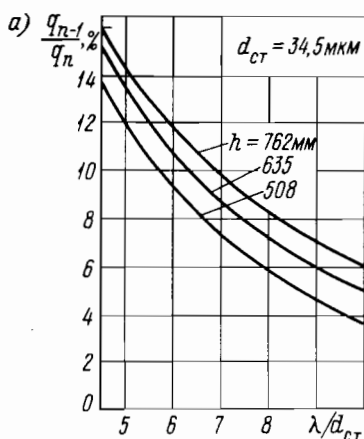


Рис. 3.13. Влияние длины волны возмущения, диаметра струи, конструктивных параметров зарядных электродов и несоосности капельной струи на процесс сообщения заряда каплям чернил (краски) в ЭКСРУ ВД

$$q'_{\text{к max}} = \sqrt{8\pi^2 \epsilon_0 \alpha d_{\text{к}}^3},$$

где α — коэффициент поверхностного натяжения рабочей жидкости (чернил, краски).

В свою очередь, при работе ЭКСРУ ВД чем больше заряды капель, тем сильнее сила F электростатического отталкивания между ними, которая для двух соосно движущихся капель определяется по известному соотношению

$$F = \frac{q_{\text{к}}^2}{4\pi\epsilon_0\lambda^2}. \quad (3.18)$$

Однако в реальных конструкциях ЭКСРУ ВД в потоке заряженных капель к отклоняющему электроду очень часто появляется радиальное смещение отдельных капель от оси движения, что обуславливает появление радиальной составляющей силы отталкивания [см. формулу (3.18)], пропорциональной $\Delta r/\lambda$. В результате возникает радиальное ускорение капли [58]

$$\frac{d^2(\Delta r)}{dt^2} = \frac{1}{m_{\text{к}}} \left(\frac{q^2}{4\pi\epsilon_0\lambda^2} \right) \frac{\Delta r}{\lambda}, \quad (3.19)$$

где $m_{\text{к}} = \pi d_{\text{CT}}^2 \lambda \rho / 4$ — масса капли. Это ускорение вызывает нестабильность траектории капли, причем расстояние между точкой отрыва капли и точкой данной нестабильности определенной величины таково:

$$L_r = v t_c, \quad (3.20)$$

где t_c находится решением (3.19) и равно

$$t_c = \sqrt{\frac{4 \pi \epsilon_0 \lambda^3 m_k}{2 q_k^2}} \ln \frac{\Delta r}{r_{c0}}; \quad (3.21)$$

r_{c0} — начальный радиус смещения капельной струи; v — средняя скорость струи.

Из формул (3.20) и (3.21) с учетом выражения для массы капли можно получить

$$\frac{q_k L_r}{v d_{ct} \lambda^2} = \frac{\pi}{\sqrt{2}} \sqrt{\epsilon_0} \ln \frac{\Delta r}{r_{c0}}; \quad (3.22)$$

Правая часть уравнения (3.22) определяется параметрами используемых в ЭКСРУ чернил (краски) и конструктивным исполнением и условиями работы ЭКСРУ, которые характеризуют Δr и r_{c0} .

Выше уже отмечалось, что максимальное значение заряда $q_{k \max}$ сферической капли ограничено соотношением электростатических сил отталкивания в самой капле и сил поверхностного натяжения. Однако с учетом соотношений (3.19) — (3.22) появляется и другое ограничение на $q_{k \max}$, вызванное взаимным электростатическим отталкиванием между заряженными каплями, смещенными по направлению движения на величину Δr . Последнее может вызвать при превышении заряда капель определенной величины $q_k = q'_{l \max}$ рассеяние капель в пространстве до отклоняющих электродов и, как следствие, нарушить нормальную работу ЭКСРУ.

Если в соотношении (3.22) взять $q_k = q'_{l \max}$, то правая часть выражения (3.22) может быть найдена для конкретных пишущих головок и используемого типа чернил (краски). Например, для $d_{ct} = 34,5$ мкм на основании (3.22) в работе [58] получена следующая эмпирическая зависимость, ограничивающая значения максимального заряда капель из условия их рассеивания в пространстве до отклоняющих электродов:

$$\frac{q'_{k \max} L_r}{v d_{ct} \lambda^2} = 1,05 \cdot 10^{-3}.$$

Следовательно,

$$q'_{k \max} = 1,05 \cdot 10^{-3} \frac{v d_{ct} \lambda^2}{L_r}, \quad (3.23)$$

где L_r — расстояние от точки отрыва капли до точки, в которой среднее отклонение от оси равно радиусу капли (вследствие несоосности движения капель между соплом и отклоняющими электродами).

Соотношение (3.23) связывает максимальный заряд капли с гидродинамическими и конструктивными параметрами пишущей головки (скоростью струи v , диаметром струи d_{ct}), частотой напряжения на электродах пьезоэлектрического преобразователя (параметром λ) и параметром L_r .

В свою очередь, из формул (3.14), (3.15) и (3.17) можно вычислить заряд q_k для данного значения напряжения U_3 на заряжающем электроде.

Момент подачи напряжения на заряжающий электрод и длительность импульса U_3 выбираются такими, чтобы капля получила заряд для данной величины U_3 , определяемый из статических характеристик работы зарядного устройства (см. рис. 3.7, а). Для этого управляющий импульс напряжения U_3 прикладывают до момента отрыва капли от струи чернил, а длительность импульса выбирают достаточной для сообщения максимально возможного заряда капле для данного U_3 , причем напряжение U_3 поддерживается постоянным до момента отрыва капли. В промежутке интервала времени между образованиями капель подается следующий импульс напряжения U_3 для сообщения заряда очередной капле чернил. При этом данный процесс синхронизируется с процессом каплеобразования соответствующими схемами систем управления ЭКСРУ ВД.

3.3. ОТКЛОНЕНИЕ КАПЕЛЬ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ В ЭКСРУ С ЭМИССИЕЙ КАПЕЛЬ ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ И СИНХРОНИЗАЦИЕЙ ДРОБЛЕНИЯ СТРУИ

В ЭКСРУ ВД величина заряда капли определяется значением напряжения U_3 на зарядном электроде. Заряженная капля поступает далее в пространство между отклоняющими электродами, на которые подается постоянное отклоняющее напряжение $U_0 = \text{const}$. В результате взаимодействия электрического отклоняющего поля с униполярно заряженной каплей последняя отклоняется на величину, определяемую значением заряда капли q_k . Конструктивно отклоняющая система выполняется в виде двух пластин.

Аналитическое соотношение, связывающее электрические, конструктивные и гидродинамические параметры отклоняющего узла с величиной отклонения y отдельной капли, получается аналогично выражению (2.20), ранее найденному при рассмотрении ЭКСРУ с эмиссией капель электростатическим полем,

$$y = \frac{q_k E}{m_k v_k^2} l_0 \left(l_n - \frac{l_0}{2} \right), \quad (3.24)$$

где E — напряженность электрического поля между отклоняющими пластинами; v_k — средняя скорость капли; l_0 — длина отклоняющих пластин; l_n — расстояние от входного среза отклоняющих пластин до носителя информации (рис. 3.14, а). Если отклоняющие пластины выполнены плоскопараллельными, то при пренебрежении влиянием поля капли на E можно записать: $E = U_0/h_0$, где h_0 — расстояние между отклоняющими пластинами. Тогда (3.24) переписывается в виде

$$y = \frac{U_0 l_0 (2l_n - l_0)}{2m_k h_0 v_k^2} q_k. \quad (3.25)$$

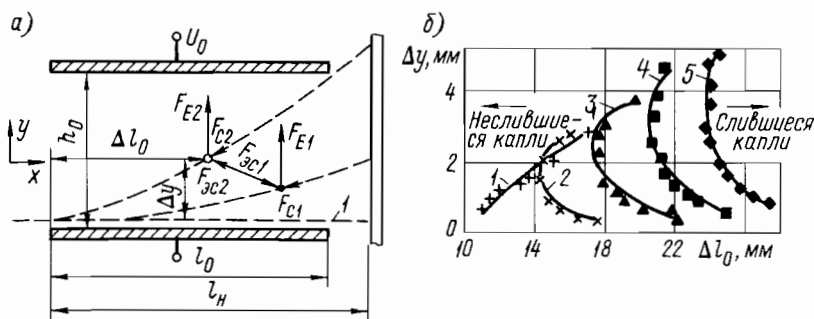


Рис. 3.14. Влияние аэродинамических сил сопротивления и электростатических сил отталкивания на движение заряженных капель в поле отклоняющих электродов

Если носитель информации размещен сразу же за выходным срезом отклоняющих пластин, т. е. в (3.25) $l_H = l_0$, то

$$y = \frac{U_0 l_0^2}{2m_k h_0 v_k^2} q_k. \quad (3.26)$$

Следовательно, имеем выражение (3.26), совпадающее с (2.28).

Из формул (3.25), (3.26) следует, что при выбранных конструктивных параметрах отклоняющей системы (l_0 , h_0 , l_H) отклонение заряженной капли по вертикали от траектории незаряженной капли 1 (см. рис. 3.14, а) прямо пропорционально заряду капли q_k , напряжению на отклоняющих электродах U_0 и обратно пропорционально массе капли m_k и квадрату скорости капли v_k . Естественно, при проектировании ЭКСРУ ВД для улучшения качества печати желательно параметры U_0 , m_k , v_k стабилизировать и обеспечить линейную зависимость заряда q_k от напряжения U_0 на заряжающем электроде, изменяемом в соответствии с алгоритмом работы знакосинтезирующего узла ЭКСРУ. Причем отклонение y капли должно обеспечить пролет капли мимо улавливателя и попадание капли в заданную точку запечатываемой поверхности.

Выше уже отмечалось, что в ЭКСРУ ВД на получаемый каплей заряд влияют и заряды предыдущих капель. Для того чтобы уменьшить это влияние, в частности, можно не стремиться сообщить капле максимально возможный заряд, а компенсировать получаемое при этом уменьшение заряда увеличением напряжения U_0 на отклоняющих электродах. Однако максимальное значение U_0 ограничено напряжением искрового пробоя межэлектродного промежутка, которое при работе ЭКСРУ в воздухе при комнатной температуре определяется неравенством

$$(U_{0\text{пробой}}/h_0) < 3 \cdot 10^6 \text{ В/м.}$$

Обычно выбирают $U_0 \in [2 \div 10] \text{ кВ}$.

В свою очередь, при пренебрежении силами аэродинамического сопротивления величина v_k определяется средней скоростью струи чернил (краски) $v_{ст}$ до распада последней на капли, которая равна $v_{ст} = f\lambda$, где f — частота каплеобразования (частота напряжения U_H на

электродах ПЭП); λ — расстояние между каплями (длина волны возмущения).

В ряде случаев при проектировании ЭКСРУ ВД наиболее удобным является соотношение для y при $l_{II}=0$

$$y = \frac{\pi \lambda \epsilon_0 U_3}{m_k \ln(8h_1/\pi d_{ст})} \frac{U_0 l_0^2}{h_0 v_k^2}, \quad (3.27)$$

где ϵ_0 — электрическая постоянная (относительная диэлектрическая проницаемость вакуума); U_3 — напряжение на заряжающих плоских (U -образных) электродах; $d_{ст}$ — диаметр струи, выходящей из сопла.

Увеличение чувствительности отклоняющей системы ЭКСРУ возможно уменьшением v_k в формулах (3.25), (3.27), т. е., например, уменьшением частоты каплеобразования f . Однако с уменьшением f уменьшается и скорость регистрации информации. Увеличение l_{II} в формуле (3.25) также увеличивает чувствительность отклоняющего узла, но в то же время увеличиваются и габаритные размеры пишущей головки.

Таким образом, видим, что выбор конструктивных и электрических параметров пишущей головки ЭКСРУ (в том числе и параметров отклоняющего узла) должен производиться с учетом всех конкретных требований, предъявляемых к ЭКСРУ в тесной взаимосвязи друг с другом.

Однако в реальных условиях работы ЭКСРУ ВД при прохождении заряженных капель в пространстве между отклоняющими электродами имеют место как аэродинамические силы сопротивления F_c движению капель, так и электростатические силы $F_{эс}$ отталкивания между заряженными каплями. И если первые из них стремятся слить следующие друг за другом капли, то силы электростатические, наоборот, стремятся оттолкнуть капли. Эти факторы могут вызвать погрешность в отклонении капель от заданного уровня, определяемого величиной заряда q_k .

Известно [58], что для приемлемого качества печати с использованием ЭКСРУ погрешность в расположении точек должна составлять $\pm 0,033$ мм, а высота букв должна иметь погрешность не более $\pm 2\%$. Для обеспечения этих требований необходимо проанализировать соотношения между F_c , $F_{эс}$ и силами F_E , вызываемыми созданием напряженности электрического поля приложением напряжения U_0 к отклоняющим электродам ЭКСРУ ВД (рис. 3.14, а). Силы тяжести капель на рис. 3.14, а не показаны, поскольку ими пренебрегают.

Математическую модель для групп капель, движущихся друг за другом с отклонением в электрическом поле отдельных капель, разработать затруднительно. Действительно, если, например, имеем две капли, движущиеся друг за другом, то первая капля летит в невозмущенном воздухе, испытывая соответствующее аэродинамическое сопротивление. Вторая капля движется уже в возмущенном воздухе и, летя по следу первой капли, испытывает меньшее сопротивление. Если же вторую каплю отклонить, то она снова попадает в неподвижный воздух и аэродинамическое сопротивление ее движению резко возрастает. Для групп капель картина становится существенно сложнее.

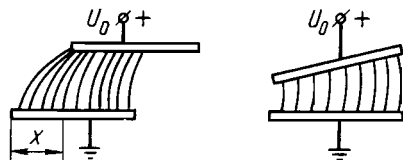
Экспериментальные данные показывают, что различия в силах аэродинамического сопротивления каплям при работе отклоняющего узла ЭКСРУ ВД уменьшают расстояние между каплями, что, в свою очередь, увеличивает силы электростатического отталкивания, вызывает рассеяние капель и, как следствие,— погрешности в регистрации информации. При этом не исключены и слияния отдельных капель. Все эти нежелательные эффекты стремятся преодолеть схемными методами стабилизации величины отклонения капель с соответствующей синхронизацией подачи напряжения на заряжающий электрод. Но для построения таких систем необходимо понять механизм взаимодействия заряженных капель при их отклонении в поле отклоняющих электродов ЭКСРУ ВД, в том числе выяснить условия, при которых две капли могут слиться в полете. Одним из методов таких исследований является использование так называемых кривых слияния [58] (рис. 3.14, б).

Для получения кривых слияния для различных расстояний между каплями λ две заряженные капли в потоке незаряженных капель отклоняются в поле отклоняющих электродов таким образом, что они идут к носителю информации по одной и той же траектории друг за другом. Поскольку вторая капля идет вслед первой капле, то она испытывает меньшее аэродинамическое сопротивление и при относительно малых электростатических силах отталкивания может догнать первую и слиться с ней, образовав большую каплю. При постановке эксперимента [58] регистрируется точка слияния и строится кривая слияния как серия координат, в которых произошло слияние для различных зарядов q_k и фиксированных расстояний между каплями λ (рис. 3.14, б). Кривые рис. 3.14, б соответствуют следующему положению отклоняемых заряженных капель: 1— 1λ ; 2— 2λ ; 3— 3λ ; 4— 4λ ; 5— 5λ .

Как видно из рис. 3.14, б, увеличение расстояния λ между каплями не исключает возможности их слияния. По оси абсцисс отложено расстояние Δl_0 от входного среза отклоняющих пластин, а по оси ординат — расстояние Δy от оси потока до точки слияния капель. Справа от кривых имеют место области, в которых капли не могут быть направлены в одну и ту же позицию запечатываемой поверхности без слияния друг с другом. Однако при этом необходимо иметь в виду, что кривые получены для двух капель, отклоненных по одной и той же траектории [58]. Для большего числа капель расстояния до слияния капель могут уменьшиться. Кроме того, очень часто при работе ЭКСРУ ВД две капли не посылаются в одну и ту же точку запечатываемой поверхности. Поэтому они не могут двигаться по одной и той же траектории при их отклонении и вторая капля летит по траектории, отличной от траектории первой капли. При этом расстояние от входного среза отклоняющих пластин до точки слияния капель увеличивается или же слияния вообще может не произойти.

Обобщая вышесказанное, можно отметить, что аэродинамическое сопротивление движению капли в пространстве между отклоняющими пластинами и до запечатываемой поверхности создает условия их слияния, что ухудшает качество печати. Последнее обстоятельство особенно

Рис. 3.15. Конструктивное исполнение отклоняющих электродов в ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением



проявляется при последовательном формировании регистрируемой информации, когда знак, буква или другая информация каплями формируется на носителе последовательно, в соответствии с их контурами. Улучшить качество регистрации информации в ЭКСРУ ВД можно применением алгоритмов непоследовательного формирования контура знака, буквы и т. д., по которому следующие друг за другом капли отклоняются по траекториям, относительно далеко отстоящим друг от друга. При этом исключаются возможности их слияния в полете до запечатываемой поверхности и уменьшается разброс значений аэродинамического сопротивления их движению за счет исключения кильватерного строя движущихся капель.

Исследования, проведенные на машинной модели ЭКСРУ ВД [72], показали, что по направлению x движения капли силы электростатического отталкивания (см. рис. 3.14, а) $F_{э\epsilon x}$ одного порядка по величине с отклоняющими силами F_{Ex} (порядка 10^{-8} Н). В то же время составляющая аэродинамических сил торможения по оси x существенно больше и имеет порядок $(10^{-6} \div 10^{-7})$ Н. В направлении y , перпендикулярном к оси x , преобладают (как и должно быть) отклоняющие силы F_{Ey} (порядка $\sim 10^{-6}$ Н). Аэродинамические силы $F_{сy}$ и силы электростатического отталкивания $F_{э\epsilon y}$ имеют один и тот же порядок (10^{-7} Н). Силы гравитации составляют $\sim 10^{-8}$ Н. Порядок сил определен применительно к параметрам пишущей головки фирмы «А. Б. Дик» (США).

Выше анализировалась конструкция отклоняющего узла с плоскопараллельными пластинами (рис. 3.14, а). Однако конструкцию отклоняющих пластин можно выбрать такой, чтобы при приложении к ним напряжения U_0 возникала составляющая электрического поля, вызывающая силу, компенсирующую аэродинамическую силу (например, по оси x). Последнее достигается или смещением отклоняющих плоскопараллельных пластин друг относительно друга [пат. 3895386 (США)], или расположением второй пластины под углом $15\text{--}20^\circ$ к первой (рис. 3.15), раскрытым по направлению движения капель. В результате при взаимодействии заряженной капли с таким криволинейным электрическим отклоняющим полем появляется горизонтальная составляющая силы, направленная против сил аэродинамического сопротивления в ЭКСРУ ВД. При напряжении на электродах $U_0 = 3300$ В минимальное расстояние между пластинами составляет 1,6 мм.

Электростатическое взаимодействие между заряженными каплями уменьшается увеличением расстояния между каплями, размещением между заряженными каплями незаряженных и снижением заряда капель с последующим увеличением напряжения U_0 на отклоняющих электродах.

3.4. СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УЗЛОВ ЗАРЯДА И ОТКЛОНЕНИЯ КАПЕЛЬ В ЭКСРУ С ЭМИССИЕЙ КАПЕЛЬ ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ И синхронизацией дробления струи

Статические характеристики узла заряда капель характеризуются соотношениями (3.14) и (3.15). Необходимо помнить при этом, что эквивалентная зарядная емкость C_3 определяется с учетом влияния зарядов предварительно сформированных соседних капель, как правило, экспериментально для выбранных конструктивных исполнений зарядных электродов и сопла пишущей головки.

При анализе динамических характеристик зарядного узла ЭКСРУ ВД принимаем во внимание, что одной из обкладок эквивалентной емкости является проводящая струя рабочей жидкости с отрывающейся каплей, а второй — зарядный электрод. Поэтому эквивалентную схему узла заряда капли можно представить в виде рис. 3.16, а, где R — эквивалентное активное сопротивление зарядной цепи; U_3 — напряжение на зарядном электроде ЭКСРУ.

Как динамическое звено узел заряда капли характеризуется входной величиной U_3 и выходной — q_k (рис. 3.16, б).

Для схемы, изображенной на рис. 3.16, а, имеем:

$$U_3 = iR + \frac{q_k}{C_3}; \quad U_3 = iR + \frac{1}{C_3} \int i dt, \quad (3.28)$$

где i — сила тока при заряде капли.

Переходим к изображениям переменных по Лапласу при нулевых начальных условиях

$$U_3(s) = I(s)R + \frac{1}{C_3} q_k(s); \quad U_3(s) = I(s)R + \frac{1}{sC_3} I(s),$$

где s — оператор Лапласа.

Решая второе уравнение относительно тока заряда и подставляя полученное для $I(s)$ выражение в первое уравнение, имеем

$$U_3(s) \left\{ 1 - \frac{R}{R + [1/(sC_3)]} \right\} = \frac{1}{C_3} q_k(s).$$

Тогда передаточная функция узла сообщения заряда капле в ЭКСРУ ВД будет

$$W(s) = \frac{q_k(s)}{U_3(s)} = \frac{C_3}{RC_3s + 1} = \frac{k}{Ts + 1}, \quad (3.29)$$

где $T = RC_3$ — постоянная времени цепи заряда капли; $k = C_3$ — коэффициент передачи, равный эквивалентной емкости C_3 .

Таким образом, узел сообщения заряда капле чернил (краски) ЭКСРУ ВД в динамическом отношении при принятых допущениях представляет собой аperiodическое звено первого порядка.

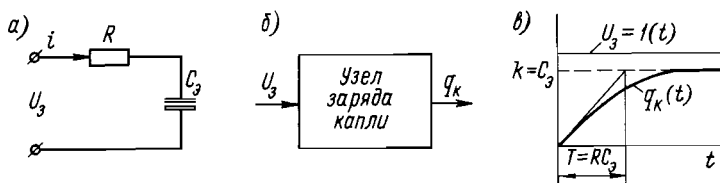


Рис. 3.16. Динамика заряда капель в ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением

При единичном ступенчатом изменении напряжения на зарядном электроде $U_3 = 1(t)$ на основании (3.29) получаем переходную характеристику изменения во времени t заряда на капле (рис. 3.16, в)

$$q_k(t) = C_3 (1 - e^{-t/(RC_3)}). \quad (3.30)$$

Подставляя в выражение (3.29) $j\omega$ вместо s , легко получить выражение для амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик узла заряда капель. Так, амплитудно-частотная характеристика узла заряда капель в ЭКСРУ ВД будет

$$A(\omega) = C_3 / \sqrt{1 + \omega^2 R^2 C_3^2}, \quad (3.31)$$

а фазочастотная характеристика

$$\psi(\omega) = -\operatorname{arctg} \omega RC_3, \quad (3.32)$$

где ω — частота изменения напряжения на зарядном электроде.

Соответствующая (3.31) логарифмическая амплитуда — частотная характеристика узла заряда капель — имеет вид

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega) = 20 \lg [C_3 / \sqrt{1 + \omega^2 R^2 C_3^2}].$$

Выше уже отмечалось, что эквивалентная емкость C_3 узла заряда капель определяется положением точки отрыва капли от сплошной возмущенной струи чернил длиной L , которая, в свою очередь, зависит от диаметра сопла (диаметра струи $d_{ст}$), частоты напряжения на электродах ПЭП (λ), давления чернил в сопловой головке. При проектировании ЭКСРУ ВД точка отрыва капле от струи располагается посередине зарядного электрода, длина которого выбирается исходя из сообщения при данном U_3 максимального заряда капле. Последнее возможно в том случае, если время нахождения капли в зарядном электроде больше времени переходного процесса заряда капли (рис. 3.16, в). Отсюда вытекает требование стабилизации длины сплошной части струи, для того чтобы величина сообщаемого капле заряда после ее прохода заряжающего электрода однозначно соответствовала значению U_3 , поступающего от знакогенератора. Уменьшить постоянную времени заряда капли можно, уменьшив величины R и C_3 .

Соотношения (3.24) — (3.26) представляют собой статические характеристики узла отклонения капель в ЭКСРУ ВД, если не учитывать силы аэродинамического сопротивления и пренебрегать искажением отклоняющего поля на краях пластин.

Однако, как уже отмечалось выше, аэродинамические силы влияют на характер движения заряженных капель в поле отклоняющих электродов. В том случае, если выполнены ранее указанные рекомендации по устранению кильватерного движения капель, силы аэродинамического сопротивления F_c отклоненной капли в первом приближении можно определить соотношением (2.15). Тогда закон движения заряженной капли в однородном электрическом поле отклоняющих электродов определится соотношением (2.18), а на выходе из поля отклоняющих пластин — соотношением (2.19). Данные уравнения решаются численным интегрированием аналогично тому, как это делалось при рассмотрении законов отклонения капли в ЭКСРУ с эмиссией капель электростатическим полем (см. п. 2.3).

В случае, когда схемными и конструктивными методами уменьшается воздействие на закон движения сил аэродинамического сопротивления, для $t_n = t_0$ в первом приближении при рассмотрении динамических характеристик узла отклонения можно воспользоваться соотношением (3.26). Полагая скорость движения капли по оси x постоянной, получаем время нахождения капли t_0 между отклоняющими электродами. Тогда передаточную функцию узла отклонения капель ЭКСРУ ВД находим аналогичную тому, как это делалось для ЭКСРУ с эмиссией капель электростатическим полем. Учитываем при этом, что в ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением входным сигналом узла отклонения как динамического звена является заряд капли q_k при $U_0 = \text{const}$. В ЭКСРУ ЭП наоборот, входным сигналом являлось напряжение U_0 на отклоняющем электроде при $q_k = \text{const}$. Выходным сигналом узла отклонения как в том, так и в другом случае служит значение отклонения y капли от оси движения капельной струи.

Следовательно, с учетом вышесказанного для узла отклонения ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением можно записать

$$y = \frac{U_0 t_0^2 q_k}{2 m_k h_0} = \frac{1}{2} k_1 q_k t_0^2, \quad (3.33)$$

где $k_1 = U_0 / (m_k h_0)$.

Рассуждая аналогично тому, как мы это делали при анализе динамических характеристик узла отклонения ЭКСРУ ЭП (см. п. 2.3), получаем выражение для передаточной функции узла отклонения ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением

$$W(s) = \frac{y(s)}{q_k(s)} = \frac{k_1 (1 - e^{-st_0} - st_0 e^{-st_0})}{s^2}, \quad (3.34)$$

где s — оператор Лапласа.

Аналитический вид амплитудно-частотных, фазочастотных и других частотных характеристик, определяемых передаточной функцией (3.34), аналогичен соответствующим характеристикам, рассмотренным в п. 2.3.

3.5. ОСНОВЫ РЕАЛИЗАЦИИ ЭКСРУ С ЭМИССИЕЙ КАПЕЛЬ ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ И СИНХРОНИЗАЦИЕЙ ДРОБЛЕНИЯ СТРУИ

Прежде чем приступить к рассмотрению вопросов реализации отдельных узлов ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением и синхронизацией дробления струи, остановимся на некоторых общих критериях оценки качества регистрации информации электрокапеструйными методами вообще и ЭКСРУ ВД в частности. Одним из таких качественных критериев является *разрешающая способность*, характеризуемая наименьшим элементом изображения на единицу длины (числом капель на единицу длины). Следовательно, разрешающая способность R_c определяется расстоянием между центрами капель на носителе информации, что, в свою очередь, зависит от диаметра точки d_t на носителе, определяемом диаметром капли и физико-химическими свойствами поверхности носителя информации (например, качеством бумаги).

Если необходимо с использованием ЭКСРУ ВД воспроизвести сплошной элемент изображений, то минимальный диаметр точки $d_{t \min}$ на носителе информации, образуемый каплей, выбирается из следующих соображений: чтобы обеспечить требуемую разрешающую способность [44]

$$d_{t \min} = \sqrt{2}/R_c,$$

исключив при этом появление пелены на изображении за счет разбрызгивания, когда очередная капля перекрывает мокрую точку на запечатываемой поверхности. Например, при выводе алфавитно-цифровой информации на бумагу можно принять $d_{t \min} = 0,1 \div 0,15$ мм. Диаметр точки d_t зависит от свойств чернил, носителя информации, объема капли.

Другим важным параметром, определяющим качество регистрируемой информации, является *оптическая плотность*. Поскольку в основе электрокапеструйного метода лежит формирование изображений с помощью дискретных точек, образуемых отдельными каплями, то при реализации данного метода необходимо обеспечить у пользователя впечатление сплошности («непроницаемости») печатания. Последнее и характеризуется оптической плотностью.

Оптическую плотность регистрируемой информации с использованием ЭКСРУ могут снизить погрешности в местоположении точек, появляющихся вследствие отклонения траекторий капель от требуемой из-за изменения скорости капель за счет изменения давления питания чернил (краски). Кроме того, ее снижают изменения заряда капли вследствие изменения длины L до отрыва капли, влияния зарядов других капель, электростатического отталкивания капель и сил аэродинамического сопротивления. Погрешности в отклонении капель могут вызвать пустоты на запечатываемой поверхности, что в конечном итоге снижает ощущение сплошности черноты при рассмотрении полученной информации (глаз человека интегрировано воспринимает отдельные элементы изображения). Конечно, при этом необходимо иметь в виду, что оптическая плотность регистрируемой информации

сильно зависит и от физико-химических свойств самих чернил (краски), применяемых в ЭКСРУ, а также от степени перекрытия образуемых точек на запечатываемой поверхности. Например, по работе [44], ошибка в местоположении точки на 0,025—0,05 мм может быть причиной пустот, зависящих от изменения параметров краски и размеров капель.

Погрешности в отклонении капель могут изменять края букв, цифр и т. д., что также ухудшает качество регистрации информации.

Если скорость капель на выходе из отклоняющих пластин достаточно велика, то при соударении капли с запечатываемой поверхностью могут образовываться брызги, часть из которых оседает на носителе информации, давая нежелательный фон, а другая часть — на близлежащих поверхностях деталей пишущей головки, загрязняя последние. Эту особенность электрокапеструйного метода регистрации следует иметь в виду, и при проектировании ЭКСРУ необходимо исключить образование таких брызг.

Конструкция генератора капель ЭКСРУ ВД разрабатывается исходя из требований обеспечения: минимальных гидравлического сопротивления сопла и длины L сплошной части струи чернил (краски) на выходе сопла; бессателлитного каплеобразования; достаточной для устойчивого каплеобразования амплитуды вынужденных вибраций сопла за счет работы пьезоэлектрического преобразователя, заданного диаметра капель.

Чем меньше гидравлическое сопротивление канала с соплом, тем при меньших давлениях питания чернил можно получить требуемую среднюю скорость струи $v_{ст}$. Скорость капли v_k в момент отрыва от струи в первом приближении можно принять равной скорости струи $v_{ст}$. Длина L струи на выходе сопла зависит от давления питания, амплитуды вынужденных возмущений струи, создаваемых ПЭП (напряжения на электродах и конструктивного исполнения ПЭП и пишущей головки). Снижение длины L позволяет уменьшить габаритные размеры пишущей головки, поскольку ось симметрии зарядного электрода находится в точке отрыва капли от возмущенной струи.

Требование бессателлитного образования капель (или образования быстрых сателлитов, сливающихся с основными каплями) при печати основными каплями является одним из необходимых условий качественной работы ЭКСРУ ВД, поскольку, заряжаясь, сателлиты малой массы отклоняются в поле отклоняющих электродов сильнее, чем основные капли, образуя ненужный фон при регистрации информации. Одновременно они могут попадать и на верхнюю отклоняющую пластину, загрязняя последнюю.

Диаметр образываемой каплей точки d_t на носителе информации определяется прежде всего объемом капли, который при отсутствии сателлитов в первом приближении определяется объемом эквивалентного жидкостного цилиндра, диаметр которого равен диаметру струи $d_{ст}$, а длина равна расстоянию между каплями в момент распада струи на капли. Так, например, при диаметре струи $d_{ст}=0,033$ мм и расстоянии между каплями 0,15 мм диаметр капли для получения точки на бумаге равен 0,063 мм [44].

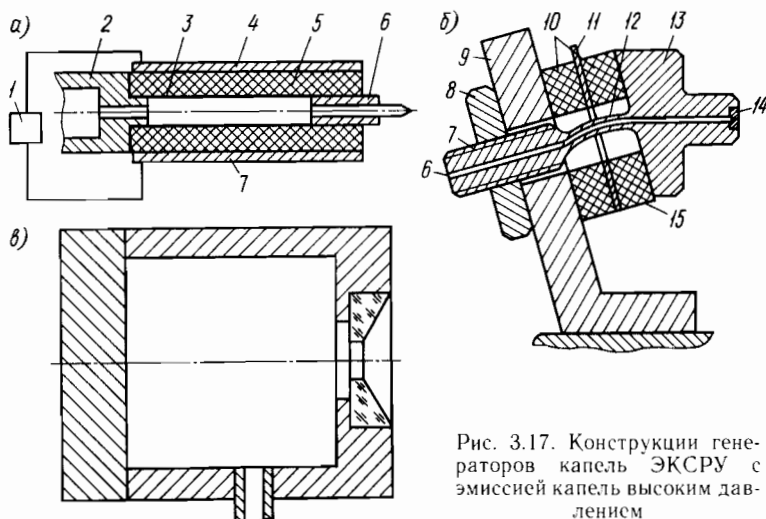


Рис. 3.17. Конструкции генераторов капле ЭКСПУ с эмиссией капле высоким давлением

В свою очередь, $v_{ст} = \lambda f$, где f — частота каплеобразования (частота напряжения на электродах ПЭП). В ЭКСПУ ВД для увеличения скорости регистрации f может составлять до 100—120 кГц. Однако необходимо иметь в виду, что при увеличении $v_{ст}$ (увеличении скорости капли) при соударении капли с носителем информации могут образовываться брызги.

Выше уже рассматривались отдельные конструкции генераторов капле пирующих головок ЭКСПУ ВД.

Показанный на рис. 3.17, а генератор капле выполнен таким образом [а. с. 559253 (СССР)], что амплитуда поперечного колебания капиллярного сопла 6 за счет работы пьезокерамического преобразователя 5 получается достаточной для бессателлитного каплеобразования при относительно небольших значениях напряжения на электродах 4 и 7 ПЭП, поступающего от генератора синусоидального напряжения 1. Внутренняя поверхность пьезокерамической трубки имеет проводящее покрытие 3 и образует камеру, в которую подводится проводящая рабочая жидкость (чернила, краска). Пьезокерамическая трубка жестко закреплена одним концом в неподвижном подводящем патрубке 2. На другом конце трубки 5 расположено капиллярное сопло 6.

При подаче напряжения от генератора 1 на электроды ПЭП 4 и 7 возникают поперечные колебания камеры с соплом. Благодаря жесткому креплению лишь входного конца цилиндрической пьезокерамической трубки с соплом данные колебания достигают необходимой амплитуды при малых напряжениях на электродах, достаточной для стабильного дробления на капли без сателлитов струи, вытекающей из сопла 6 благодаря подведенному к патрубку 2 высокому давлению (0,2—0,4 МПа). Такое конструктивное выполнение генератора капле позволяет уменьшить необходимый уровень напряжения на электродах ПЭП и длину L от среза сопла до точки дробления струи на капли.

Для увеличения эффективности дробления струи на капли в широком диапазоне частот плоскость контакта с пьезокерамическим диском 10 (рис. 3.17, б) расположена под острым углом к оси соплового канала [а. с. 711601 (СССР)]. Опорная поверхность 15 фланца 13 размещена под острым углом к оси соплового канала и параллельна контактирующей поверхности пьезокерамического элемента 11. При сборке генератора капель осуществляется предварительный изгиб шейки 12 соплового узла соответствующим поджатием пьезокерамического элемента к опорной поверхности 15. Сопловая головка крепится на кронштейне 9 с помощью гайки 8.

Генератор капель работает следующим образом.

Рабочая жидкость ЭКСРУ ВД подводится под давлением к каналу 6 с помощью штуцера 7, и на выходе из сопла 14 образуется струя. При подаче напряжения на электрод 11 пьезоэлектрического преобразователя 10 ПЭП совершает колебания. Такое конструктивное выполнение генератора капель обеспечивает изгибные колебания свободного канала с соплом 14, синхронные изменению напряжения на электродах ПЭП, что повышает амплитуду начального возмущения струи и уменьшает величину L до распада струи на отдельные капли. Последнее происходит потому, что опорный фланец 13 с соплом 14 находится после сборки из-за перегиба в шейке 12 под предварительным напряжением и стремится вернуться в исходное положение. При создании с помощью ПЭП колебаний фланец 13 с соплом 14 имеет возможность частично вернуться в исходное положение, а сопло 14 совершает перемещение в вертикальной плоскости с ускорением, зависящим от предварительного напряжения на шейке соплового узла.

Эффективность рассмотренных выше генераторов капель повышается, если пьезоэлектрический преобразователь работает в резонансном режиме.

Геометрические параметры сопла влияют как на время отрыва капли (длину L), так и на режим каплеобразования: с сателлитами или без сателлитов. Для уменьшения L и обеспечения бессателлитного каплеобразования предлагается [пат. 3823408 (США)] сопло выполнять (рис. 3.17, в) с острыми входными кромками, с соотношением длины к диаметру 0,5—1 и чистотой обработки внутренней поверхности

$$\Delta = 5v / (v_{ст} \sqrt{8Re}),$$

где Δ — максимальные выступы шероховатостей на внутренней поверхности; v — кинематический коэффициент вязкости рабочей жидкости ЭКСРУ ВД; $v_{ст}$ — средняя скорость струи на выходе из сопла; Re — число Рейнольдса.

Поскольку на качество печати и параметры каплеобразования влияет стабильность средней скорости струи $v_{ст}$, которая, в свою очередь, определяется стабильностью давления чернил (краски) в сопловой головке, то основными требованиями при разработке устройств подачи чернил являются: минимальные пульсации создаваемого давления ($\delta p \leq 10^3$ Па); удобство регулировки давления, в том числе и с использованием автоматических систем стабилизации; максимальное быстро-

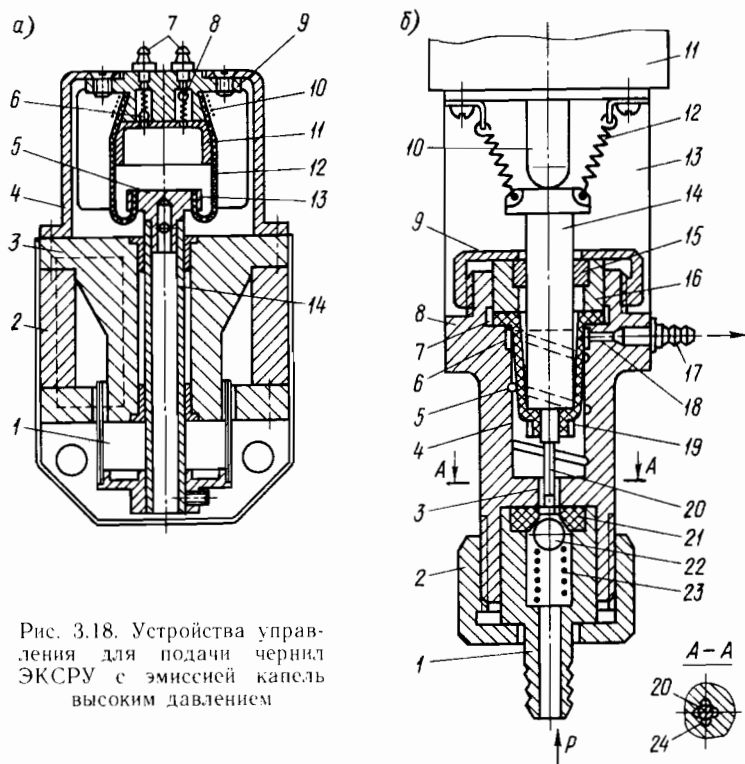


Рис. 3.18. Устройства управления для подачи чернил ЭКСРУ с эмиссией каплей высоким давлением

действие при обеспечении требуемого расхода чернил ($0,05—0,8 \text{ см}^3/\text{с}$). При этом необходимо максимально уменьшить количество нерастворенного газа (воздуха) в чернилах, для чего используются соответствующие устройства для удаления газовых включений из чернил.

В качестве насосов для подачи чернил (краски) в зарубежной практике построения ЭКСРУ ВД используются поршневые, шестеренные, сильфонные и мембранно-клапанные насосы, развивающие избыточное давление до нескольких атмосфер. Данные насосы управляются, как правило, от электромагнита.

На рис. 3.18 представлены конструкции отечественных устройств управления для подачи чернил в ЭКСРУ ВД, разработанные в СКБ ПС. Устройство (рис. 3.18, а) [а.с. 870197 (СССР)] содержит корпус 4 с крышкой 9 и направляющей накладкой 11, впускной 8 и выпускной 6 клапаны, подсоединительные штуцера 7. Эластичный резервуар 12 одним концом жестко укреплен на фланце крышки 9 посредством пружинного бандажа 10. Дно резервуара 12 также жестко закреплено на фланце 5 поршня 14 посредством кольца 13. Поршень 14 установлен в отверстии магнитопровода 3 с кольцевым постоянным магнитом 2. На магнитопроводе размещена катушка 1, на которую подается напряжение (управляющее напряжение при работе устройства в автоматическом режиме).

При подаче напряжения на катушку *1* в зависимости от направления тока в ней она перемещается вверх или вниз. Поскольку катушка жестко связана с поршнем *14*, то нагнетание чернил производится поршнем при движении вверх (одно направление тока), а при изменении направления тока поршень движется вниз и осуществляется всасывание чернил. Разместив конечные выключатели в конце хода поршня, можно по их командам управлять изменением направления тока в катушке *1*.

Цикл нагнетания чернил реализуется следующим образом. При соответствующем направлении тока в катушке *1* дно резервуара с чернилами, выполненного из нерастягивающегося материала, начинает двигаться вверх в соответствии с движением подвижной катушки. Резервуар *12* изменяет свой объем, чернила выталкиваются из него, и на выходе насоса осуществляется направленный поток чернил (через выпускной клапан *6* и левый штуцер *7*).

При всасывании чернил поршень *14* движется вниз и первоначальный объем резервуара *12* восстанавливается.

Повышение динамических характеристик в данном устройстве обеспечивается малой инерционностью электромагнитного преобразователя. Последнее позволяет осуществить быстрый запуск устройства подачи чернил, а при использовании в качестве исполнительного устройства в системе автоматического поддержания давления в сопле пишущей головки ЭКСРУ ВД обеспечить динамические показатели системы стабилизации.

Устройство, показанное на рис. 3.18, б, содержит [а. с. 1060504 (СССР)] корпус *8* с впускным каналом *3*, выпускным каналом *18* со штуцером *17* и рабочей камерой *4*. Впускной штуцер *1* закреплен гайкой *2* седла *21*, в котором размещен запорный шарик *22*, поджатый пружиной *23*. Шток *14*, заканчивающийся толкателем *20*, при помощи кольца *19* герметично соединен с эластичной манжетой *7*. В свою очередь, противоположный край манжеты герметично соединен с корпусом камеры *4* при помощи гайки *9* и втулки *16*, в которой закреплен подшипник *15*. Якорь *10* электромагнита *11* расположен соосно со штоком *14*, соединенным пружинами *12* с кронштейном *13*.

На внутренней поверхности рабочей камеры *4* выполнена винтовая канавка *5*, заканчивающаяся кольцевой канавкой *6* в зоне выпускного канала *18*. На внутренней поверхности впускного канала *3* имеется расточка *24*.

В исходном положении камера *4* заполнена чернилами, впускной канал *3* перекрыт запорным шариком *22*, а шток *14* находится в крайнем верхнем положении под действием пружин *12*.

При подаче напряжения на катушку электромагнита *11* якорь *10* перемещается, смещая шток *14*. В рабочей камере *4* создается избыточное давление, с помощью которого через выходной штуцер *17* подаются одновременно с началом движения штока чернила к пишущей головке ЭКСРУ ВД.

Дальнейшее движение штока толкателя *20* фиксирует открытое состояние впускного клапана путем нажатия на шарик *22*. С этого момента питание чернилами пишущей головки ЭКСРУ ВД осуществляется

через выпускной канал 3. Чернила поступают через расточку 24, винтовую канавку 5, кольцевую канавку 6 и по выпускному каналу 18 через штуцер 17 выводятся в магистраль питания пишущей головки.

При снятии напряжения с электромагнита 11 под действием пружин 12 шток 14 перемещается вверх и запорный шарик 22 закрывает выпускной канал 3. Дальнейшее движение штока 14 создает разрежение в рабочей камере 4, и происходит быстрое прекращение истечения чернил из сопла пишущей головки. Следовательно, ПС-устройство (рис. 3.18, б) обеспечивает как форсированный запуск, так и интенсивное выключение пишущей головки ЭКСРУ ВД.

Для качественной работы ЭКСРУ ВД при их разработке необходимо обратить самое тщательное внимание на вопросы согласования во времени процессов каплеобразования, зарядки капель и отклонения каждой из них по заданной траектории. Взаимоувязка этих процессов предопределяет эффективность функционирования ЭКСРУ ВД, если иметь в виду, что на них влияют самые различные факторы. Действительно, как видно из вышеизложенного, на результирующую величину отклонения капли (а именно: точное отклонение капли определяет ее попадание в нужную точку запечатываемой поверхности) влияют, кроме кулоновских управляющих сил, пропорциональных заряду, и силы электростатического отталкивания заряженных капель, и силы аэродинамического сопротивления движению капель, зависящие от местоположения капель относительно друг друга. При этом необходимо не забывать, что в ЭКСРУ ВД следуют друг за другом к отклоняющей системе до 100 000 капель в секунду. В свою очередь, на значение приобретаемого каплей заряда в пространстве зарядного электрода кроме напряжения на электроде U_3 влияют и стабильность точки отрыва капли от возмущенной ПЭП струи чернил (краски), и заряды предшествующих капель, и конструктивные параметры сопла пишущей головки.

Расстояние, на котором размещены зарядные электроды от выходного среза сопла, зависит от давления чернил в сопле, частоты напряжения на электродах пьезоэлектрического преобразователя, диаметра выходного отверстия сопла, шероховатости его внутренней поверхности и состояния входных и выходных краев сопла.

Казалось бы, такая тесная и многофункциональная взаимосвязь процессов в ЭКСРУ ВД должна сделать вообще проблематичной реализацию ЭКСРУ с требуемым качеством регистрации информации. Однако полученные выше основные соотношения между входными и выходными параметрами отдельных узлов ЭКСРУ и современные достижения управляющей техники с использованием микросхем и микропроцессоров не только решают данные проблемы синхронизации и коррекции работы различных узлов ЭКСРУ ВД, но и открывают перспективы для дальнейшего их совершенствования применением заказных микропроцессоров и микропрограммного управления ими. Последнее обстоятельство открывает перспективы существенного уменьшения габаритных размеров систем управления ЭКСРУ.

Ниже на примерах реализации конкретных блоков ЭКСРУ ВД покажем прежде всего направления в разработке систем управления ими с

учетом физических факторов (часто нежелательных), сопутствующих функционированию отдельных узлов ЭКСРУ. Это тем более необходимо сделать, потому что качественное выполнение системы управления ЭКСРУ решающим образом влияет на качество регистрируемой информации (на качество функционирования всего устройства в целом).

Заряжающие каплю сигналы, поступающие от знакогенератора на зарядный электрод, должны быть синхронизированы с моментом отрыва формирующихся капель. Синхронизация процесса зарядки с процессом каплеобразования называется *фазировкой системы*. Следовательно, при разработке ЭКСРУ ВД необходимо предусмотреть автоматическую систему регулирования фазы, что, в свою очередь, предопределяет разработку соответствующих датчиков и исполнительных устройств для регулировки момента поступления сигнала на заряжающий электрод. Изменение фазы каплеобразования относительно фазы поступления сигнала на зарядный электрод приводит к изменению заряда на капле и, как следствие, к изменению амплитуды отклонения капли. Данное обстоятельство используется и для построения выявительных устройств, фиксирующих фазовое соответствие контролем уровня заряда специальным индуктивным датчиком с последующим усилением сигнала и сравнением с уставкой напряжения, соответствующего заданному соотношению фаз [пат. 3852768 (США)].

В зависимости от значения сигнала на выходе выявительного устройства изменяется амплитуда напряжения на электродах ПЭП и, как следствие, длина L и, таким образом, автоматически поддерживается требуемое соотношение фаз. В данном случае фазировка производится автоматическим изменением напряжения на электродах пьезоэлектрического преобразователя.

Возможны и другие схемные решения при разработке системы фазировки, поскольку в данном случае сила тока с индуктивного датчика заряда мала (порядка $2 \cdot 10^{-9}$ А), что определяет жесткие требования к электронной схеме его преобразования и усиления. В качестве датчика заряда капли можно, например, использовать датчики интегрального заряда потока капель, в предположении, что капли движутся с одинаковой скоростью v_k и заряд на них q_k одинаков. Если сделать так, чтобы капли ударялись о металлическую пластину или пересекали определенную плоскость, то снимаемая с нее сила тока за время dt будет пропорциональна nq_{ki} (q_{ki} — заряд i -й капли; n — число капель, ударяющихся в выявительный электрод или пересекающих определенную плоскость за время dt). И, несмотря на то, что заряд отдельной капли имеет порядок 10^{-12} Кл, получаемая с выявительного электрода сила тока относительно велика и может быть усилена операционным усилителем, схема которого и необходимые расчетные соотношения приведены в работе [90]. Однако такой датчик заряда в схемах автоматической фазировки применить затруднительно, поскольку в ЭКСРУ ВД заряды на каплях принципиально отличаются друг от друга (информативным параметром отклоняющей системы является заряд капель), а скорости отдельных капель также могут отличаться друг от друга вследствие влияния аэродинамического

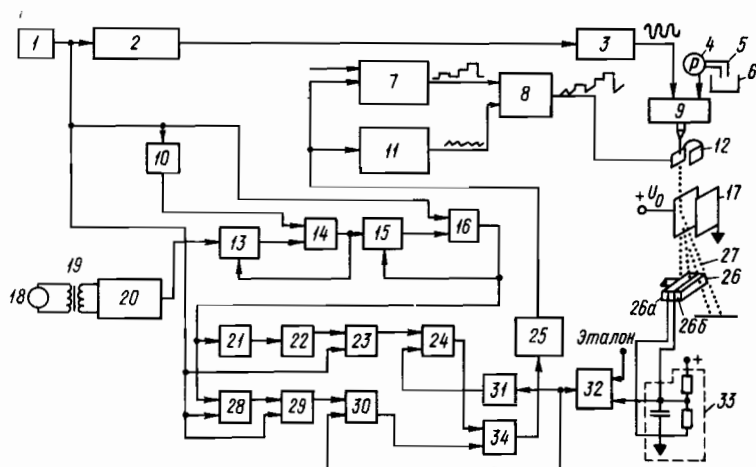


Рис. 3.19. Система автоматического регулирования фазы каплеобразования и заряда капель в ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением

сопротивления. Конечно, можно дополнительно организовать на датчик периодический поток капель с $q_k = \text{const}$.

На рис. 3.19 представлена функциональная схема дискретной системы автоматического регулирования фазы, в которой в качестве выявительного устройства отклонения фаз используется датчик контактного типа 26 и дополнительные капли, не участвующие в формировании знака и получающие небольшой заряд от генератора пилообразного напряжения 11 [пат. 3866237 (США)].

Фазовый сдвиг выявляется с использованием контрольных капель и датчика их отклонения 26, состоящего из двух секций 26а и 26б. Наличие сдвига вызывает изменение величины заряда, получаемого контрольными каплями в зоне зарядного электрода. В результате происходит изменение их отклонения таким образом, что они попадают на контактный датчик 26. При попадании капель на секцию 26а или 26б датчика, состоящих из пары электродов, они замыкаются. Если капли все время попадают на секцию 26а или 26б, то в счетчике 25 с частотой генератора 18 будет соответственно прибавляться или вычитаться единица до тех пор, пока соотношение фаз не станет равным заданному. Это происходит следующим образом. Восемьразрядный циклический счетчик 25 управляется от логических схем 24, 31, 34, работа которых стробируется импульсами, следующими от компаратора 32. По окончании цикла счета счетчик 25 начинает управлять работой генератора знака 7 и генератора пилообразного напряжения 11. Эталонный сигнал, вырабатываемый контуром 18, 19, 20, 13, 10, 14, 15, 16, поступает на элементы 21—24 или 28—30. При этом происходит прибавление или вычитание единицы в счетчике 25. На выходе 8 имеет место результирующий сигнал, определяемый сигналами с выходов знакогенератора 7 и генератора пилообразного напряжения 11, который поступает на зарядный электрод 12 и тем самым увеличивает или уменьшает фазовое соотношение.

При нормальном фазировании в счетчике 25 периодически с частотой генератора 18 то прибавляется, то вычитается единица, что вызывает колебание фазового соотношения в пределах $1/8$ периода. Таким образом, такую систему регулировки фаз каплеобразования и заряда капли целесообразно применять в ЭКСРУ ВД в том случае, если данное отклонение фаз несущественно сказывается на качестве регистрации информации.

На рис. 3.19 кроме вышеназванных приняты следующие обозначения: 1 — управляющее устройство; 2 — блок управления работой генератора синусоидального напряжения, подаваемого на электроды пьезоэлектрического преобразователя 3; 4 — насос для всасывания чернил по трубопроводу 5 из резервуара 6; 9 — генератор капель; 17 — отклоняющие пластины; 27 — поток отклоненных капель, участвующих в формировании регистрируемой информации; 33 — формирователь электрического сигнала с датчика 26.

Имеется целый ряд разработок систем управления для устранения влияния изменения фазы каплеобразования на величину сообщаемого капле заряда, основанных на синхронизации подачи напряжения на заряжающий электрод с моментом образования капли. После отрыва капли напряжение снимается с заряжающего электрода. Эти системы предусматривают контроль момента отрыва капли от струи и использование индукционных датчиков заряда, принцип действия которых основан на наведении электростатического потенциала при пролете заряженной капли на электроде, установленном в непосредственной близости от потока капель [пат. 3769630 (США), пат. 3852768 (США)]. Для большей помехоустойчивости используется дифференциальное включение и экранирование индукционных датчиков заряда с последующим усилением по амплитуде и мощности сигнала с выхода датчика.

Однако индукционные датчики не фиксируют незаряженные капли и имеют относительно низкую чувствительность. В связи с этим широкое распространение в системах управления ЭКСРУ получили оптические датчики (рис. 3.20) [пат. 3907429 (США)], работа которых основана на перекрытии каплями 1 светового потока, создаваемого светодиодом 6 и стробируемого с задержкой частоты дробления капель. Перед светоприемником 4 устанавливается диафрагма 5 с двумя отверстиями 2 и 3, выполненными на расстоянии h_1 друг от друга. Нормальная работа узла формирования капель характеризуется тем, что две соседние капли должны одновременно перекрывать отверстия 2 и 3 (если $h_1 = \lambda$). Если же этого не происходит, то на выходе датчика появляется сигнал, соответствующий нарушению фазы образования капель, который используется для управления работой генератора капель. Оптические датчики в зависимости от назначения могут иметь несколько конструктивных исполнений светоприемника 4: он может быть общим для светового потока, поступающего через отверстия 2 и 3 (рис. 3.20, а) или индивидуальным (рис. 3.20, б).

На рис. 3.21 представлена система управления ЭКСРУ ВД, компенсирующая изменение фазы каплеобразования [а.с. 992227 (СССР)], в которой на заряжающий электрод постоянно подается пилообразное

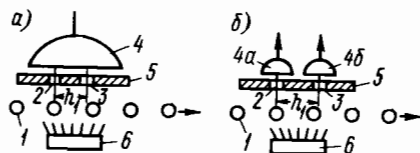


Рис. 3.20. Оптический датчик капель электрокапельных регистрирующих устройств

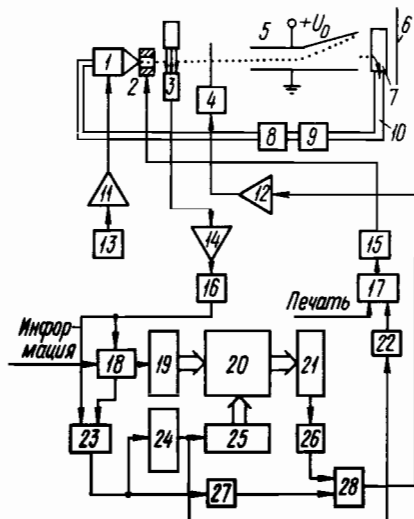


Рис. 3.21. Уменьшение влияния изменения фазы каплеобразования на точность отклонения капель в ЭКСРУ ВД

напряжение. Вертикальная развертка контура регистрируемой информации осуществляется следующим образом.

Рабочая жидкость (чернила, краска) насосом 8 подается из резервуара 9 в пишущую головку, содержащую пьезоэлектрический преобразователь 1, формирующее сопло, заряжающий электрод 2, оптический датчик 3, селектирующий электрод 4, отклоняющие пластины 5. На электроды ПЭП 1 через усилитель 11 подается от генератора 13 синусоидальное напряжение заданной частоты. Оптический датчик капель 3 при пролете капли выдает на своем выходе электрический сигнал, который, усиливаясь усилителем 14, поступает на формирователь 16 и далее на один из выходов узла разрешения печати 18 и логической схемы 23, реализующей операцию «И».

При отсутствии сигнала «На печать» с выхода 18 капли не заряжаются, проходят без отклонения через отклоняющие электроды 5 и попадают в улавливатель 7 и далее по трубопроводу 10 — в резервуар с чернилами (краской) 9.

Если же на вход узла 18 поступает информация, то данный узел формирует команду «На печать», которая подается на второй вход 23 логической схемы «И». Одновременно с другого выхода 18 в регистре 19 записывается код печатаемого знака. Схема 23 при этом разрешает прохождение импульсов с формирователя 16 оптического датчика капель, которые поступают на линию задержки 27 и далее на вход логического элемента «И» 28. Выход элемента 28 соединен с входом высоковольтного усилителя 12, напряжение с выхода которого подается на селектирующий электрод 4.

Время задержки определяется временем пролета капли от оптического датчика 3 до селектирующего электрода 4. Сигнал с выхода 23 одновременно с поступлением на вход линии задержки 27 подается и на вход счетчика строк 24, который в исходном положении установлен в

нулевое состояние. Логическая информация с выходов счетчика строк 24 поступает на инвертор 22, и при наличии команды «Печать» на входе логического элемента «И» 17 запускается генератор пилообразного напряжения 15, выход которого соединен с заряжающим электродом 2. Счетчик столбцов 25, управляя работой запоминающего устройства 20, переписывает из него координаты первого столбца печатаемого символа в параллельно-последовательный регистр 21. Информация с выхода регистра 21 через инвертор 26 поступает на второй вход логического элемента «И» 28.

При одновременном наличии сигналов на обоих входах 24, поступающих с выходов линии задержки 27 и инвертора 26, на выходе 24 возникает сигнал, который через высоковольтный усилитель 12 подается на селектирующий электрод 4. При этом не участвующие в формировании изображения данного столбца знака капли притягиваются к электроду 4 и при дальнейшем полете попадают в улавливатель 7. В свою очередь, капли, участвующие в формировании знака, отклоняясь в поле отклоняющих электродов 5, попадают на носитель информации 6.

Просчитав заданное число строк первого столбца знака, счетчик строк 24 воздействует на счетчик столбцов 25 и из запоминающего устройства 20 переписывает в параллельно-последовательный регистр 21 координаты второго столбца печатающего знака. Снова запускается через элемент 23 генератор пилообразного напряжения 15 от управляющего сигнала счетчика строк 24, и цикл работы схемы повторяется.

Таким образом, заряжается новая серия капель. При этом изменение фазы каплеобразования мало влияет на точность отклонения каждой капли (первая и последняя капли попадают в улавливатель).

Качественные показатели ЭКСРУ ВД во многом зависят от скорости отрываемых от струи капель, поэтому при проектировании каплеструйных устройств необходимо предусматривать системы автоматической стабилизации скорости капель. Для этого прежде всего необходимо иметь соответствующие датчики скорости, на основании информации с которых можно изменять величину давления чернил (краски) в генераторе капель.

В ЭКСРУ ВД используются различные типы датчиков, основанные на контроле времени пролета капель фиксированного расстояния (например, оптические датчики скорости капель) или на контроле потенциальной энергии удара капли о твердую пластинку с расположенными на ней тензометрическими (пьезокерамическими) датчиками. Следовательно, во втором случае имеем промежуточное преобразование скорости капли в электрический сигнал.

На рис. 3.22 представлены принципиальная схема и характеристики датчика скорости каплеуловителя такого ударного типа [89]. На консольно закрепленной пластинке (рис. 3.22, а) расположены четыре кремниевых тензодатчика (пьезокерамические датчики), причем два из них (1, 2) находятся на передней стороне пластины (по отношению к потоку капель), а два другие (3, 4) — на задней. Для увеличения чувствительности они соединены по мостовой схеме. Тензодатчики располагаются ближе к закрепленному концу пластины (приблизительно на расстоянии 20 % от места закрепления конца пластины). Ударяясь о свободный конец

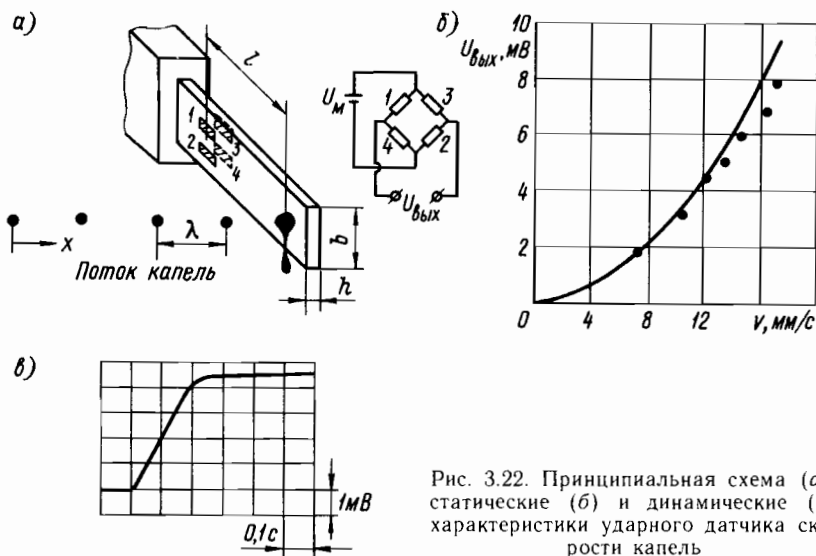


Рис. 3.22. Принципиальная схема (а), статические (б) и динамические (в) характеристики ударного датчика скорости капель

пластины, кинетическая энергия капель $\rho v_k^2/2$, движущихся на расстоянии λ друг от друга, преобразуется в потенциальную. В результате под действием силы удара капель пластинка изгибается и на выходе моста с тензодатчиками появляется электрический сигнал разбаланса, который в дальнейшем усиливается электронным усилителем и с учетом сил аэродинамического сопротивления движению капель управляет работой насоса, создающего давление чернил в камере с соплом.

Поскольку развиваемое при ударе капель давление пропорционально квадрату средней скорости капли в момент удара, то такой датчик весьма чувствителен к изменению скорости капель. Кроме того, этот факт определяет нелинейность статической характеристики данного датчика скорости (рис. 3.22, б). Другой особенностью функционирования датчика является то, что результирующее давление на конец пластин является интегральной характеристикой давления, развиваемого потоком капель, а не отдельной каплей. Последнее обстоятельство в ряде случаев сужает область применения подобных датчиков скорости в системах управления электрокапельструйных регистрирующих устройств.

При разработке конструкции датчика скорости капель для его использования в системах управления ЭКСПУ прежде всего требуется обеспечить его высокую чувствительность с учетом ограничений, накладываемых на прочность пластинки с тензодатчиками. Сила F , действующая на конец пластины,

$$F = \rho Q v_k, \quad (3.35)$$

где ρ — плотность рабочей жидкости (чернил, краски); v_k — средняя скорость капель в момент их удара о поверхность пластины; Q — расход потока капель, ударяющихся о пластину.

Если пренебречь силами аэродинамического сопротивления, влияющими на расстояние между каплями и скорость капель, и считать, что они постоянны в неотклоненной каплевой струе, то для расхода потока капель справедливо известное соотношение (при $v_k = v_{ст} = v$)

$$Q = f \frac{4}{3} \pi r_k^3 = f \lambda \pi \frac{d_{ст}^2}{4} = \pi v \frac{d_{ст}^2}{4}, \quad (3.36)$$

где f — частота капель; r_k — радиус капель; λ — расстояние между каплями (длина волны вынужденных возмущений, создаваемых ПЭП); $d_{ст}$ — диаметр струи рабочей жидкости, истекающей из сопла генератора капель ЭКСРУ ВД;

$$v = f \lambda. \quad (3.37)$$

Подставляя (3.36) в (3.35), имеем

$$F = \pi \rho d_{ст}^2 v^2 / 4. \quad (3.38)$$

Тогда для конструкции датчика скорости капель, изображенной на рис. 3.22, а, можно с учетом (3.38) записать [89]

$$U_{вых} = k_1 k_2 \frac{3 U_m \rho \pi d_{ст}^2 v^2 l}{2 b h^2 E}, \quad (3.39)$$

где $U_{вых}$ — напряжение на выходе моста; k_1 — масштабный фактор тензодатчиков (чувствительность тензодатчика); k_2 — поправочный коэффициент, учитывающий толщину замазки датчика; U_m — напряжение питания моста; l — расстояние от оси месторасположения тензодатчиков до точки удара капель о пластину (рис. 3.22, а); b, h — ширина и толщина консольно закрепленной пластины; E — модуль упругости материала пластины.

Таким образом, соотношение (3.39) представляет собой статическую характеристику ударного датчика скорости капель и связывает напряжение на его выходе с электрическими, гидродинамическими и конструктивными параметрами. Обычно для полупроводниковых тензодатчиков $k_1 = 200$; при этом напряжение питания моста выбирается $U_m = 10$ В.

На основании (3.39) по заданным $U_{вых}$, ρ , $d_{ст}$, v можно выбрать конструктивные параметры консольно закрепленной пластинки, предусмотрев при этом обеспечение ее прочности под действием собственного веса.

Для увеличения чувствительности [см. (3.39)] датчика скорости по рис. 3.22, а при выбранных параметрах чернил и гидродинамических параметрах генератора капель ($d_{ст}$, v) необходимо уменьшить толщину пластины h и ее ширину b и увеличить длину l (обычно $l = 0,8 l_n$, где l_n — длина консольно закрепленной пластины). Однако это требование к чувствительности датчика вступает в противоречие с требованиями обеспечения прочности и допустимого прогиба пластин δ под действием собственного веса. Величина δ определяется соотношением [89]

$$\delta = \frac{\gamma b h l_n^4}{8 E \left(\frac{1}{12} b h^3 \right)} = \frac{3 \gamma l_n^4}{2 E h^2},$$

где γ — объемный вес стали. Обычно

$$\frac{\delta}{l_n} = \frac{3\gamma l_n^3}{2Eh^2} = \frac{3\gamma l^3}{Eh^2} \leq 0,05.$$

При этом $b=6 \div 7$ мм; $h=0,1$ мм; $l=40$ мм.

Для исключения резонансных явлений при использовании таких ударных датчиков скорости капель в ЭКСРУ необходимо иметь в виду, что для консольно закрепленной пластинки первая собственная частота f_n определяется соотношением

$$f_n = \frac{3,515}{2\pi} \sqrt{\frac{Eh^2}{12\rho_n l_n^4}} = \frac{3,515}{3\pi} \frac{h}{l^2} \sqrt{\frac{E}{\rho_n}},$$

где ρ_n — плотность материала пластины. При указанных выше параметрах $f_n \approx 30$ Гц.

Как видно из рис. 3.22, б, статическая характеристика ударного датчика скорости, вычисленная по формуле (3.39), с увеличением скорости капель отличается от экспериментально снятой (ошибка составляет 12 %). Последнее можно объяснить тем, что при выводе (3.39) не учитывалось аэродинамическое сопротивление движению капель. Если же внести соответствующую коррекцию на замедление скорости движения капель в результате аэродинамического сопротивления, то можно показать [89], что точность данного датчика можно повысить до 2 %. Чувствительность датчика при скорости $v=8 \div 9$ м/с составляет 0,02 мВ на 2 % изменения скорости.

На рис. 3.22, в представлена экспериментально снятая переходная характеристика ударного датчика скорости капель, из которой следует, что в динамическом отношении он является довольно инерционным звеном.

При использовании ударных датчиков скорости капель в системах управления ЭКСРУ ВД в ряде случаев организуют периодически включаемый поток контрольных капель, направляемый на пластинку с полупроводниковыми тензодатчиками, и таким образом, получают информацию о скорости капель.

Более широкое распространение в ЭКСРУ ВД получили оптические датчики скорости капель, принцип действия которых основан на непосредственном измерении времени прохождения каплями фиксированных расстояний. Преимущество оптических датчиков скорости капель перед вышерассмотренными заключается в их существенно большем быстродействии, в бесконтактности измерения скорости, в удобстве преобразования выходного сигнала в последовательность импульсов. На рис. 3.23 в качестве примера показана функциональная схема системы стабилизации скорости капель изменением давления питания пишущей головки с использованием оптических датчиков скорости капель [пат. 3600955 (США)].

В основу построения оптического датчика скорости капель положено соотношение (3.37), однозначно связывающее скорость струи на выходе

сопла 2 $v_{\text{ст}}$ с частотой каплеобразования f , определяемой частотой напряжения на электродах пьезоэлектрического преобразователя 1 и расстоянием λ между образующимися каплями (т. е. $v_{\text{ст}} = f\lambda$) в предположении, что скорость образующейся капли v_k равна скорости струи $v_{\text{ст}}$. Оптический датчик скорости включает в себя стробируемый импульсный источник света 9, пластину 8 с двумя отверстиями 5 и 6, фотоэлектрические приемники 4 и 7, соосно расположенные с отверстиями 5 и 6, находящимися на расстоянии h_1 друг от друга. При пролете капли мимо отверстий 5 или 6 капля перекрывает прохождение света к фотоэлектрическим приемникам 4 или 7 и на их выходе возникают электрические импульсы, управляющие работой схемы 14 и триггера 18, синхронизируемых с помощью генератора 10 с соответствующей схемой управления.

При этом может быть несколько режимов работы датчика, зависящих от соотношений h_1 и λ , а также от соотношения частоты стробирующих импульсов, подаваемых на фазорегулятор 11, который управляет импульсным источником света 9 (фотодиодом), и частоты импульсов на электродах ПЭП 1. Если обозначить f_1 — частоту импульсов, подаваемых

на электроды ПЭП (частоту генерации капель), а f_2 — частоту стробирующих импульсов, управляющих работой 9, то одним из возможных режимов работы оптического датчика скорости является режим, при котором $f_1 \neq f_2$. При $f_1 \neq f_2$ и $h_1 < \lambda_1$, где λ_1 — желаемое расстояние между каплями (желаемая длина волны вынужденного возмущения струи чернил, создаваемого ПЭП), если капля сначала перекрывает отверстие 5, а затем 6, то время между импульсами на выходе 4 и 7 таково: $t_a = 0,9 \lambda_1 f_2 / [v_{\text{ст}}(f_1 - f_2)]$. Если же капля сначала перекрывается отверстие 6, а затем 5, то время между импульсами $t_b = 0,1 \lambda_1 f_2 / [v_{\text{ст}}(f_1 - f_2)]$.

При $f_1 \neq f_2$ и $h_1 = 0,5 \lambda_1$ имеет место $t_a = t_b$ при достижении желаемой скорости и полета капель.

И, наконец, возможен режим, при котором выбирается $f_1 = f_2$, а расстояние между отверстиями 5 и 6 h_1 равно λ_1 , т. е. $\lambda_1 = h_1$. Схема рис. 3.23 как раз соответствует этому режиму работы и конструктивному исполнению оптического датчика скорости капель. Следова-

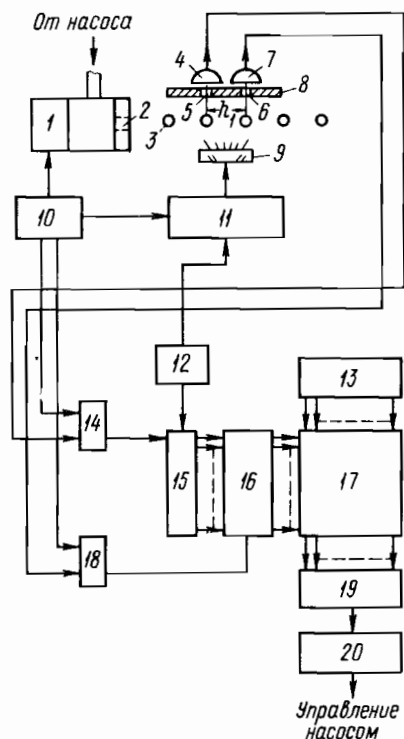


Рис. 3.23. Система автоматического регулирования скорости капель в ЭКСРУ ВД с оптическими датчиками скорости

вательно, в этом случае ($h_1 = \lambda_1$) частота стробирующих импульсов, подаваемых на источник света 9, совпадает с частотой импульсов, подаваемых на электроды пьезоэлектрического преобразователя 1, т. е. $f_1 = f_2$. При этом, очевидно, что вышеприведенные выражения для t_a и t_b для этого случая неприменимы. Рассмотрим более подробно работу системы управления скоростью капель (рис. 3.23) в этом режиме.

Устройство 11 изменяет фазу стробирования 9 от 0 до 360° в течение периода дробления капель и одновременно служит для исключения ложного срабатывания фотоэлектрических приемников 4 и 7 при небольших колебаниях скорости капель.

Если при функционировании ЭКСРУ ВД расстояние между каплями меньше требуемого ($\lambda < \lambda_1$), то при пролете капли 3 перед отверстием 5 на выходе фотоэлектрического приемника 4 образуется сигнал, вызывающий срабатывание схемы 14 и запускающий счетчик импульсов 15.

Суммирующий счетчик 15 начинает считать импульсы, поступающие от синхронизирующего устройства 12. При этом изменяется фаза стробированного источника света 9 и следующая за каплей 3 капля не вызывает срабатывания элемента 4. В свою очередь, капля 3 подлетает к отверстию 6 оптического датчика и перекрывает его, вызывая срабатывание фотоэлемента 7. Срабатывает триггер 18, и выходной код со счетчика 15 передается через арифметический компаратор 16 на процессорный блок 17. В задающем блоке 13 записана в цифровом виде уставка, соответствующая требуемому расстоянию между каплями λ_1 (заданной скорости движения капель при их отрыве). В процессорном блоке 17 происходит сравнение кодов со счетчика 15 и задающего блока 13 и в зависимости от их разности блок 19 вырабатывает сигнал на увеличение давления в генераторе капель. Этот сигнал поступает на вход регулятора давления 20, который управляет насосом, подающим чернила в пишущую головку ЭКСРУ, таким образом, чтобы увеличить давление чернил (краски).

Если же фактическое расстояние между каплями λ больше заданного λ_1 , т. е. $\lambda > \lambda_1$, то за время пролета капель 3 расстояния между отверстиями 5 и 6 оптического датчика устройство 11 изменит свою фазу уже меньше, чем на 360° . При этом регулятор давления 20 вырабатывает сигнал на уменьшение давления чернил в генераторе капель пишущей головки ЭКСРУ.

При $\lambda = \lambda_1$ отверстия 5 и 6 перекрываются одновременно следующими друг за другом каплями (поскольку $h_1 = \lambda_1$), счетчик 15 при этом не запускается и блок 19 формирует сигнал, пропорциональный заданной скорости капель.

Для совместного регулирования фазы заряжающего импульса и скорости капель в СКБ ПС (г. Курск) разработана система, функциональная схема которой представлена на рис. 3.24 [а. с. 793816 (СССР)]. Особенностью данной схемы является использование в оптическом датчике скорости двух фотоэлектрических приемников света, расположенных на половине длины волны λ_1 капель, т. е. $h_1 = 0,5\lambda_1$. Выходные сигналы первого фотоприемника служат для регулировки фазы напряжения, подаваемого на заряжающий электрод, а сигналы первого и второго фото-

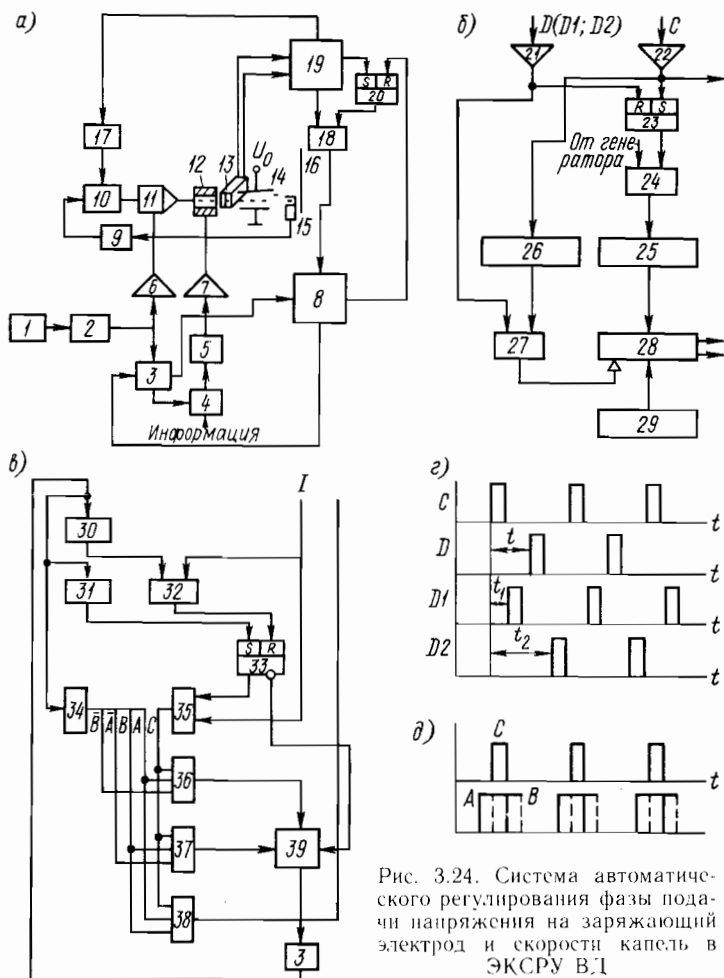


Рис. 3.24. Система автоматического регулирования фазы подачи напряжения на заряжающий электрод и скорости капель в ЭКСРУ ВД

приемников — для регулировки скорости, причем сначала производится регулировка скорости капли, а затем фазы.

Изменение скорости струи (капли), как и в вышерассмотренном устройстве (см. рис. 3.23), осуществляется изменением давления питания ЭКСРУ ВД. Выявительное устройство данной системы стабилизации скорости основано на сравнении сдвига во времени импульсов с оптического фотозлектрического датчика 13 (рис. 3.24, а), пропорционального скорости движения капли, с заданным эталонным сдвигом во времени. Блок регулировки скорости 19 вырабатывает управляющее воздействие, пропорциональное разности данных сигналов (ошибке системы), которое поступает на блок управления насосом 17 и с помощью насоса 10 изменяет давление в пишущей головке ЭКСРУ ВД таким образом, чтобы обеспечить требуемую скорость капель.

После регулировки скорости блоком регулировки фазы 8 производится грубая и точная регулировка фазы, для чего блок регулировки скорости 19 воздействует на триггер 20, который разрешает прохождение импульса с первого фотоприемника на блок 8. Блок регулировки фазы 8 управляет устройством задержки фазы 3 и производит регулировку фазы заряжающего напряжения.

Функциональная схема блока регулирования скорости представлена на рис. 3.24, б, а функциональная схема блока регулирования фазы — на рис. 3.24, в. Временные диаграммы, поясняющие работу данных блоков, показаны на рис. 3.24, г, д.

Регулятор скорости (рис. 3.24, б) содержит усилители 21 и 22, RS-триггер 23, логические элементы «И» на два входа 24 и 27, счетчик времени 25, счетчик числа капель 26, блок сравнения 28 и блок задания скорости 29.

Регулятор фазы импульса на заряжающем электроде (рис. 3.24, в) содержит блоки грубой и точной регулировки фазы. Блок грубой регулировки фазы состоит из инвертора 30, схемы задержки 31, логического элемента «И» на два входа 32, триггера 33. Блок точной регулировки фазы включает в себя преобразователь 34, логические элементы «И» 35—38 и блок управления 39, который воздействует на устройство задержки фазы 3.

Рассмотрим более подробно работу системы регулировки скорости струи и фазы подачи импульса напряжения на заряжающий электрод, представленный на рис. 3.24.

Рабочая жидкость (чернила, краска) из резервуара 9 подается насосом 10 в генератор капель пишущей головки ЭКСРУ ВД, содержащий пьезоэлектрический преобразователь 11. На выходе сопла генератора капля образуется струя чернил, которая на расстоянии L дробится на капли. В зоне каплеобразования располагается заряжающий электрод 12, а за ним — фотодатчик 13 с двумя оптическими приемниками постоянного излучения, расположенными друг от друга на расстоянии, равном половине длины волны λ_1 . Капли, пролетая перед таким оптическим фотодатчиком, вызывают на его выходе импульсы, сдвинутые во времени, причем этот сдвиг пропорционален скорости полета. Этот сдвиг фиксируется и сравнивается в выявительном устройстве с заданным эталонным сдвигом. Далее капли попадают в электрическое поле отклоняющих пластин 14 и, отклоняясь на величину, пропорциональную своему заряду (напряжение U_0 на отклоняющих электродах постоянно), попадают в соответствующее место носителя информации 16. Капли, не участвующие в процессе формирования регистрируемой информации (незаряженные капли), попадают в ловушку 15, отсасываются и после фильтрации вновь поступают в резервуар с чернилами.

На электроды ПЭП переменное напряжение поступает через усилитель 6 и делитель 2 частоты от генератора высокой частоты 1. С выхода делителя частоты 2 напряжение подается и на устройство 3 для задержки фазы заряжающего импульса, которое управляет работой запоминающего устройства 4. Информация с выхода запоминающего устройства поступает на знакогенератор 5, который через усилитель 7 управляет величи-

ной напряжения и его фазой на заряжающем электроде 12 и таким образом управляет процессом зарядки капель, пролетающих через заряжающий электрод.

Пролетая перед фотодатчиком 10, капли вызывают изменение тока последовательно в первом и во втором фотоприемниках, и на блок регулирования скорости 19 поступают сдвинутые во времени импульсы (рис. 3.24, *г*). Для исключения возможности появления ложных сигналов, вызванных изменением скорости струи (капель), расстояние между первым и вторым фотоприемниками выбирается равным половине длины каплеобразования λ .

Сначала происходит регулировка скорости капель. Импульс с фотодатчика 13 через усилитель 22 переключает триггер 23, который разрешает прохождение высокочастотного сигнала от генератора 1 с частотой f через логический элемент «И» 24 на счетчик времени 25. Одновременно импульс с выхода 22 поступает на счетчик капель 26 и в счетчике числа капель 26 прибавляется единица. Импульс D (D_1 , D_2) фотодатчика, следующий за импульсом C , через усилитель 21 сбрасывает на нуль триггер 23. При этом в счетчик времени 25 записывается число единиц, эквивалентное времени t включения триггера 23.

Затем цикл повторяется k раз, где k — коэффициент пересчета счетчика 26. С приходом импульса на логический элемент «И» 27 срабатывает блок сравнения 28. При этом происходит сравнение кодов, поступающих от счетчика времени 25 и от блока задания скорости 29. Если код, поступающий от счетчика 25, отличается от заданного на блоке 29, то в блок управления 17 насосом подается сигнал, изменяющий давление чернил (краски) в системе таким образом, чтобы скорость полета капель была заданной. Последняя будет при равенстве кодов; в этом случае триггер 20 устанавливается в единичное состояние и электронный регулятор фазы 8 производит регулировку фазы напряжения на заряжающем электроде 12.

Регулировка фазы производится следующим образом.

Сигнал первого фотоприемника датчика 13 поступает через элемент «И» 18 на регулятор фазы 8 только тогда, когда триггер 20 устанавливается в единичное состояние, т. е. после регулировки скорости капель. Регулятор фазы 8 производит регулировку фазы следующим образом. При установке триггера 33 в нулевое состояние с его инверсного выхода сигнал поступает на устройство управления 39, которое через устройство задержки фазы 3 изменяет фазу заряжающего импульса на 180° . Таким образом, производится грубая регулировка фазы. По истечении времени задержки схемой 31 триггер 33 устанавливается в состояние «1» и через логический элемент «И» 35 запускается схема точной регулировки фазы.

Если на входах устройства управления 39 имеются сигналы, устройство задержки фазы 3 увеличивает или уменьшает задержку поступления импульса на заряжающий электрод до тех пор, пока импульсы A , B , C (рис. 3.24, *д*) не совпадут во времени. При этом триггер 20 устанавливается в нулевое состояние и цикл регулировки фазы заканчивается. Импульсы A и B формируются преобразователем 34. Далее цикл работы схемы повторяется.

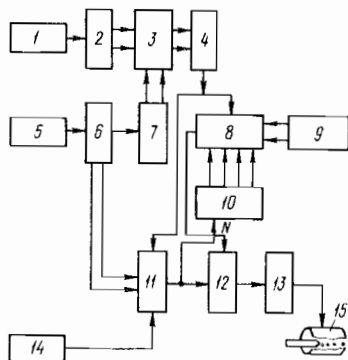


Рис. 3.25. Автоматическая система коррекции сообщаемого капле заряда с учетом влияния предшествующих зарядов капель в ЭКСРУ ВД

Однако, как отмечалось выше, на получаемый каплей заряд в зоне заряжающего электрода влияют заряды предшествующих капель. Поэтому при разработке ЭКСРУ ВД необходимо устранить влияние этого явления на качество регистрируемой информации. Одним из путей решения данной задачи является способ коррекции напряжения

на заряжающем электроде в зависимости от того, заряжается или не заряжается предыдущая капля (состояние предыдущей капли запоминается). На рис. 3.25 в качестве примера приведена схема автоматической регулировки сообщаемого капле заряда в зависимости от зарядов предыдущих капель, предложенная японскими фирмами «Шарп» (*Sharp*) и «Ниппон телеграф» и запатентованная в США [пат. 4032924 (США)].

Предварительно были проведены исследования в результате которых авторами данного патента установлено, что заряд формируемой капли уменьшается приблизительно на 20 % при ранее заряженных четырех каплях. Заряд первой капли снижает заряд формируемой на 14 %, второй — на 7 %, третьей — на 3 % и четвертой — на 0,5 %.

Схема работает следующим образом. Код регистрируемого знака через интерфейсный блок ввода-вывода 1 поступает в семибитовый параллельно-последовательный регистр 2, и осуществляется выборка информации о начертании знака из памяти генератора знака 3. По командам счетчика столбцов 7 происходит запись в регистр 4 информации о координатах точек столбца формируемого знака. Отсчет точек столбца производится с помощью счетчика 6, управляемого от генератора синхроимпульсов 5.

Генератор пошаговой волны 11 управляется устройством управления 14 и счетчиком точек столбца 6 и вырабатывает сигнал величины заряда капли без учета коррекции в соответствии с положением точки в столбце (информация о координатах точек столбца на генератор 11 поступает от регистра 4). Данный сигнал с выхода генератора 11 подается на сумматор 12 и аналоговую память 10, выходные сигналы которой поступают на вход генератора компенсации 8. С учетом координаты точки в столбце формируемого знака генератор компенсации, управляемый от блока 9, вырабатывает сигнал коррекции заряда, величина которого определяется числом предшествующих заряженных капель. При этом учитывается не более четырех предшествующих заряженных капель. Сигнал с выхода генератора компенсации 8 подается на второй вход суммирующего устройства 12, и результирующий сигнал прикладывается ко входу усилителя 13. При этом значение напряжения на выходе усилителя 13, поступающего на

заряжающий электрод 15, будет определяться требуемым значением заряда с учетом влияния зарядов предшествующих капель.

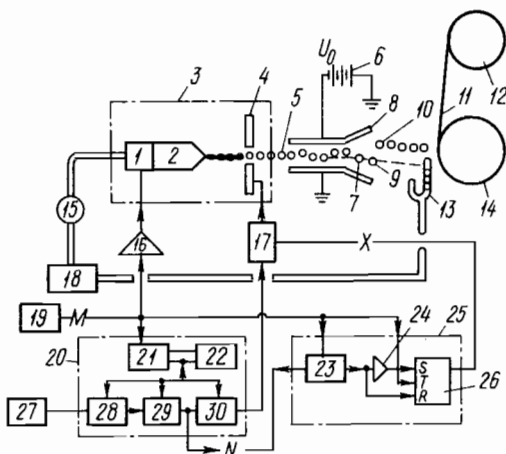
Аэродинамическое сопротивление при движении заряженной капли уменьшает результирующее отклонение капли и тем самым влияет на качество регистрируемой информации. Выше уже отмечалось, что силы аэродинамического сопротивления в пространстве между отклоняющими пластинами ЭКСРУ ВД можно частично скомпенсировать, выбрав соответствующую конфигурацию отклоняющих пластин (сместив их края друг относительно друга или расположив пластины под углом, см. рис. 3.15). Другим способом компенсации влияния аэродинамических сил сопротивления движению капель на их отклонение является соответствующая коррекция величины сообщаемого капле заряда (рис. 3.26) [пат. 2336812 (ФРГ)].

Чернила из резервуара 18 насосом 15 под давлением подаются в генератор капель 3, содержащий сопловую головку 2 с пьезоэлектрическим преобразователем 1 и заряжающий электрод 4. Вытекающая из сопла струя в зоне заряжающего электрода 4 дробится на капли 5 под действием гармонических вынужденных возмущений, создаваемых ПЭП.

Капли получают заряд, пропорциональный напряжению, подаваемому с выхода усилителя 17 на заряжающий электрод. Проходя электрическое поле отклоняющих электродов 8, создаваемое источником постоянного напряжения 6, заряженные капли 10 отклоняются и попадают на носитель информации 11, а незаряженные капли 7, 9 поступают в улавливатель 13. Таким образом, реализуется вертикальная развертка регистрируемой информации. Горизонтальная развертка реализуется горизонтальным перемещением носителя информации, который располагается на барабанах 12 и 14.

На электроды ПЭП подается переменное напряжение с частотой напряжения задающего генератора 19, которое поступает через усилитель 16 на электроды ПЭП, на счетчик 21, входящий в состав знакогенератора 20, и на генератор сигналов 25. Счетчик 21 считает число колеба-

Рис. 3.26. Автоматическая система коррекции сообщаемого капле заряда с учетом влияния сил аэродинамического сопротивления движению капель в ЭКСРУ ВД



ний сопла 2, но поскольку на каждое колебание сопла образуется одна капля, то содержимое счетчика является информацией о числе капель. В ЭКСРУ ВД используется матрица знака 7×5 , поэтому счетчик 21 отсчитывает 35 капель, запускаясь от управляющего блока 22.

Регистрируемая информация 27 через буферное устройство 28 поступает в регистр 29 и далее на генератор видеосигнала 30, выход которого соединен со входом усилителя 17. Максимальная амплитуда напряжения на выходе 17 составляет 150 В, и, таким образом, модулируется величина заряда на формируемой капле.

В процессе печати капли при своем движении испытывают различное аэродинамическое сопротивление в зависимости от того, движутся ли они вслед предыдущей капле или нет, что может вызывать искажение регистрируемого знака. Для исключения таких искажений в зависимости от характера движения капли корректируется значение напряжения на заряжающем электроде (значение сообщаемого капле заряда). В схеме для этого сигналы с выхода регистра 29 подаются, кроме того, на линию задержки 23 генератора 25, который с помощью устройств 24 и 26 вырабатывает корректирующий сигнал, поступающий на усилитель 17 и изменяющий величину напряжения на заряжающем электроде.

Иногда в процессе функционирования ЭКСРУ ВД необходимо изменять его режимы работы или при настройке устройства целесообразно иметь контуры грубой и точной регулировки скорости капли и, как следствие, необходимо иметь возможность корректировать результирующее отклонение. Для этого (рис. 3.27) [а. с. 1018138 (СССР)] в зависимости от разности фактической и заданной скорости капли грубая корректировка скорости капли осуществляется изменением давления чернил в сопле пишущей головки, а точное регулирование величины отклонения капли производится коррекцией заряда капли изменением напряжения на заряжающем электроде.

В устройстве, показанном на рис. 3.27, также использован для контроля скорости оптический датчик 11, однако в нем два фотоприемника расположены на расстояниях h_1 друг от друга, меньшем чем длина λ_1 вынужденных возмущений струи от ПЭП, т. е. $h_1 < \lambda_1$. Чернила в сопловую головку 5 подаются насосом 3, который управляется электроприводом 2 от схемы управления через электронный усилитель 1.

В зоне образования капель размещен заряжающий электрод 6, напряжение на который поступает с выхода усилителя 10. Скорость всех капель на выходе заряжающего электрода контролируется оптическим датчиком 11, который, в свою очередь, управляет работой счетчика импульсов 14. При этом имеется возможность изменять напряжение на

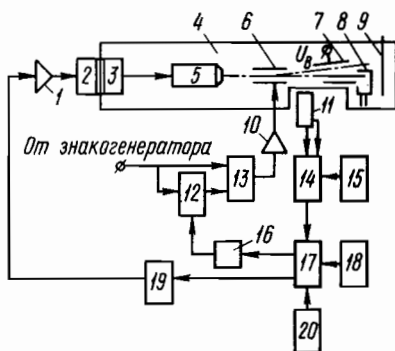


Рис. 3.27. Система управления скоростью и зарядом капель в ЭКСРУ ВД

заряжающем электроде не только с помощью сигналов знаковосинтезирующего блока, но и в зависимости от разности фактической скорости капли и заданной.

Заряженные капли, проходя через отклоняющие электроды 7, отклоняются на величину, определяемую зарядом и скоростью капли, и попадают в требуемую точку носителя информации 9. Незаряженные капли попадают в улавливатель 8. Время пролета капель расстояния между двумя фотоприемниками оптического датчика 6 преобразуется в число импульсов, проходящих от генератора импульсов 15 на вход счетчика 11, и далее счетчиком 11 преобразуется в соответствующий цифровой код. Сигнал первого фотоприемника датчика 11 разрешает прохождение импульсов на счетчик 14 от генератора 15, а сигнал с выхода второго фотоприемника — запрещает их прохождение. Выходной код счетчика 14 поступает на вход арифметического блока 17, где производится его сравнение с кодами, соответствующими заданной (с помощью задатчика 20) скорости движения капель и заданной (с помощью задатчика 18) зоне нечувствительности.

В зависимости от отклонения фактической скорости капель от заданной арифметический блок 17 вырабатывает или сигнал управления только контуром точной регулировки, или одновременно сигналы управления контурами точной и грубой корректировки скорости капель, а при допустимых отклонениях скорости — сигнал отсутствия корректировки.

В первом случае (при точной регулировке) сигнал из блока 17 поступает через цифроаналоговый преобразователь 16 на вход коммутатора 12. Информация от знакогенератора одновременно поступает на сумматор 13 и на другой вход коммутатора 12, выход которого соединен с другим входом сумматора 13. На выходе сумматора 13 получают суммарный сигнал, определяемый сигналом знакогенератора и корректирующим сигналом точной регулировки, образуемой цепью 17, 16, 12. Данный сигнал поступает на вход усилителя 10, и, таким образом, изменяется значение напряжения на заряжающем электроде 6.

Если же скорость капли соответствует заданной (допустимому отклонению), то корректирующий сигнал цепью 17, 16, 12 не вырабатывается и напряжение на заряжающем электроде определяется только сигналами знакогенератора.

В случае же, когда скорость капли существенно отличается от заданной, арифметическим блоком 17 вырабатываются сигналы как точной, так и грубой регулировки. Одновременно с работой контура точной корректировки сигнал грубой регулировки поступает на вход цифроаналогового преобразователя 19 и с его выхода через усилитель 1 управляет электроприводом 2 насоса 3. Насос 3 ступенчато изменяет давление чернил в сопле печатающей головки 4 таким образом, чтобы уменьшить отклонение фактической скорости капель от заданной. Поскольку при этом производится и корректировка заряда капли по цепи 17, 16, 12, 13, 10, то капля попадает в заданную точку носителя информации 9.

Использование двух контуров регулировки улучшает качество регистрации информации и увеличивает быстродействие процесса управления регистрацией.

чатых» электродов. В результате не используемые в процессе печати капли отклоняются в улавливатель 14, по трубке 15 поступают в емкость с чернилами 20, откуда по трубопроводам 19 и 9 насосом 18 подаются в генератор капель 10, содержащий пьезоэлектрический преобразователь 8, возбуждаемый генератором задающей частоты 7. Участвующие в формировании изображения капли не отклоняются и попадают на носитель информации 16.

ЭКСПУ ВД (рис. 3.28) работает следующим образом.

Оптический датчик 12 контролирует прохождение капли и вырабатывает электрический сигнал, который через усилитель 1 запускает триггер Шмитта 2. Сигнал с выхода 2 поступает на входы элемента задержки 3 и одновибратора сдвига 5 и с выхода последнего поступает на стробирующий вход буферного запоминающего узла 21. На другой вход узла 21 поступает сигнал наличия или отсутствия информации.

Предположим, что в буферном запоминающем узле (БЗУ) 21 записана информация, что данная капля должна попасть на носитель информации 16. Тогда с выхода БЗУ считывается сигнал, соответствующий логической «1», и проходит через инвертор 22 на один из входов логической схемы совпадения 17 (на другой вход данной схемы «И» подается сигнал с выхода 5). В результате в регистр 6 записывается логический «0».

Если же в БЗУ 21 записана информация, что данная капля должна быть отклонена в улавливатель, то в регистр 6 записывается логическая «1». В этом случае при поступлении сигнала с одновибратора опроса 4 на входы логических схем «И» откроется один из ключей. При этом высокое напряжение подается на первый отклоняющий электрод узла отклонения 13 и капля смещается в сторону первого отклоняющего электрода, втягиваясь в создаваемое им неоднородное поле. Одновременно записанная в регистр сдвига 6 логическая «1» продвигается по нему, подавая последовательно напряжение на второй, третий и другие электроды узла 13, и капля отклоняется в улавливатель 14.

Таким образом, осуществляется печать незаряженными каплями и информационный узел заряда капель вообще исключается из процесса регистрации.

Может быть и другая реализация идеи устранения из процесса регистрации информации заряженных капель, взаимодействующих друг с другом. В устройстве показанном на рис. 3.29 [а. с. 967864 (СССР)] (в отличие от ЭКСПУ ВД по рис. 3.28), наоборот, неотклоненные капли из генератора капель 16 попадают в улавливатель 21 и далее по трубке 22 — в емкость с чернилами 23. Регистрация же информации осуществляется отклонением капель по вертикали в блоке электродов 12, число которых равно числу точек вертикальной развертки (на рис. 3.29 их семь — соответственно А, В, С, D, E, F, G). При наличии напряжения на электроде капля поляризуется и втягивается в зону большей напряженности поля, отклоняясь в сторону электрода, и попадает на носитель информации 17.

В генераторе капель и узле подачи чернил введены следующие обозначения: 19, 24 — трубопроводы; 18 — насос; 15 — камера с капиллярным

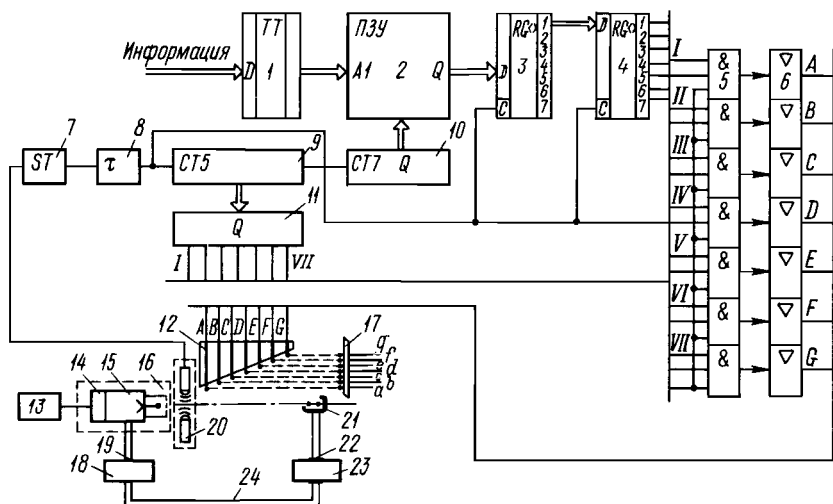


Рис. 3.29. Совмещение во времени процессов сообщения заряда и отклонения капель в ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением и синхронизацией дробления струн

соплом; 14 — пьезоэлектрический преобразователь; 13 — генератор задающей частоты формирования капель.

При работе ЭКСРУ ВД информация в семибитовом параллельном коде поступает на вход буферного регистра 1. В соответствии с принятым кодом и с учетом данных с выхода устройства 10 в блоке памяти 2 выбирается адрес символа и адрес столбца и на выходе Q блока памяти 2 устанавливается информация о первом столбце символа.

Одновременно при прохождении капли через оптический датчик 20 на его выходе возникает импульс напряжения, который запускает триггер Шмитта 7, и через элемент задержки 8 сигнал с выхода триггера 7 поступает на стробирующие входы счетчика строк 9, регистра 3, регистра сдвига 4 и первую группу объединенных входов логических схем «И» 5.

На рис. 3.30, а представлена диаграмма движения информации в регистре преобразования информации 3 и в регистре сдвига 4 для случая написания символа «вертикальная черта». В этом случае на выходах 2—7 регистра 3 устанавливается сигнал, соответствующий логической «1», а на выходе буферного регистра 1 — сигнал, соответствующий логическому «0». И наоборот, на выходах 2—7 регистра 4 устанавливается логический «0», а на выходе 1 — логическая «1».

На выходе 1 (см. рис. 3.29) преобразователя кодов 11 также устанавливается логическая «1». Таким образом, если формируемый символ представляет собой вертикальную черту, то на выходе первой логической схемы 5 появляется сигнал, соответствующий логической «1», который усиливается первым усилителем-формирователем 6, и с его выхода А поступает высокое напряжение на электрод А отклоняющего блока 12. Создается неоднородное поле, и капля чернил, пролетая через него,

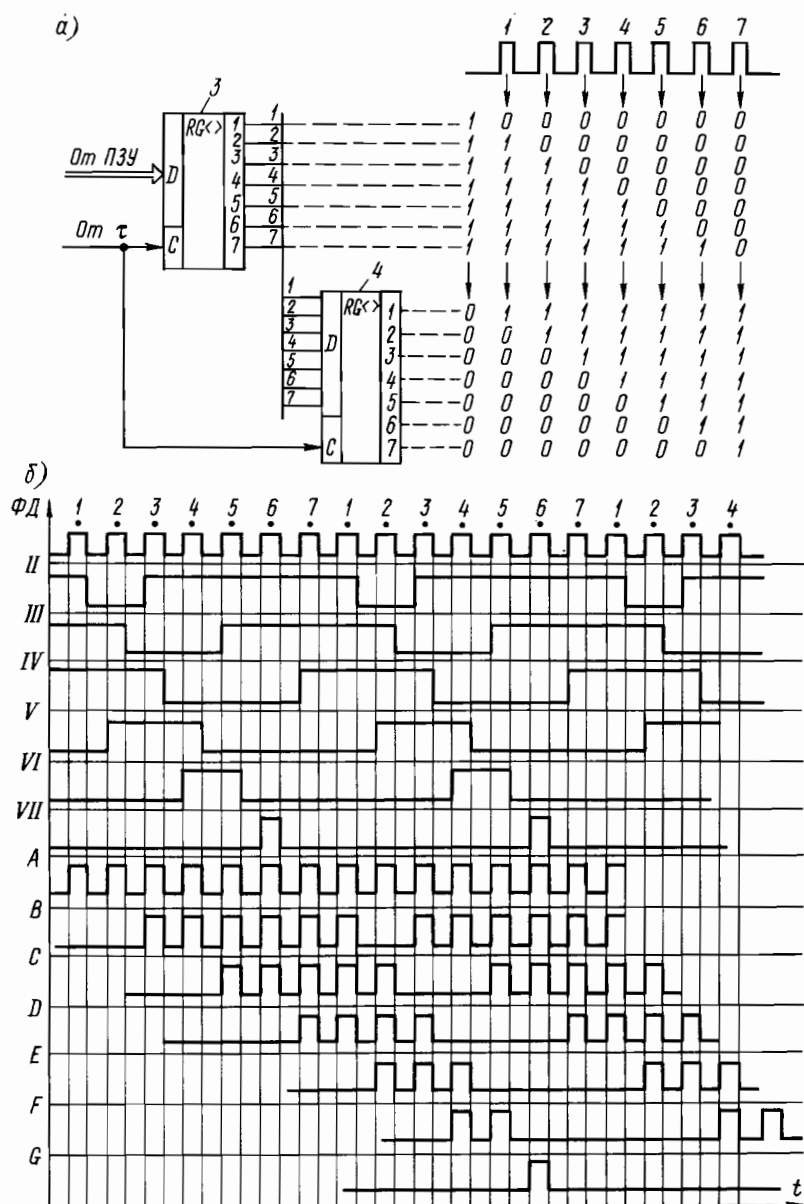


Рис. 3.30. Временные диаграммы формирования символа «вертикальная черта» в ЭКСРУ ВД с совмещением во времени процессов сообщения заряда и отклонения капель

поляризуется, отклоняется к электроду *A* и попадает в зону *a* на носителе информации 17. При этом процессы сообщения заряда капле и ее отклонение происходят одновременно в течение длительности импульса на электроде, что является преимуществом такого ЭКСПУ. Однако необходимо исключить возможность возникновения коронного разряда с поверхности отклоняющего электрода, поскольку в этом случае капля может во внешней области коронного разряда приобрести заряд знака потенциала электрода и отклониться в противоположную от него сторону. Вторая капля отклоняется уже электродами *A* и *B* и попадает в зону *b* на носителе информации 17, и т. д.

На рис. 3.30, б представлена временная диаграмма сигналов на выходе оптического фотодатчика (ФД), на выходах *I—VII* преобразователя кодов 11 и на электродах *A—G* отклоняющего блока 12 (см. рис. 3.29) для случая написания символа «вертикальная черта». Таким образом, если необходимо, чтобы капля попала в точку *a* носителя информации, напряжение подается на электрод *A* блока 12. Аналогично для попадания капли в точку *b* последовательно коммутируются электроды *A, B*; в точку *c* — электроды *ABC*, в точку *d* — электроды *ABCD*; в точку *e* — электроды *ABCDE*; в точку *f* — электроды *ABCDEF* и для попадания капли в точку *g* носителя информации 17 последовательно подаются импульсы напряжения с соответствующих выходов усилителей-формирователей 6 на электроды *ABCDEFG*.

Выше рассмотрены ЭКСПУ ВД, в которых синхронизация дробления струи на капли осуществляется с помощью пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП). Однако вынужденные возмущения в струе чернил можно получить и другими способами, например созданием резко неоднородного электрического поля между электродами типа «игла — компактная струя чернил на выходе из сопла». Причем, игольчатый электрод размещается до заряжающего электрода. На электроды подается гармонический сигнал, при этом струя чернил на водной основе периодически втягивается в зону неоднородности поля (отклоняется к игольчатому электроду) и, таким образом, организуются вынужденные возмущения струи, синхронизирующие ее дробление на капли. По такому принципу выполнено, например, устройство, рассмотренное в пат. 1123587 (США), в котором напряжение на игольчатом электроде имеет амплитуду около 1000—3000 В. Максимальная амплитуда напряжения на зарядном электроде составляет 200—400 В.

Однако высоковольтные усилители на сегодняшний день имеют относительно низкое быстродействие, что затрудняет получение изменения напряжения на их выходе с частотой до 100 кГц и выше. Последнее ограничивает быстродействие ЭКСПУ ВД в целом. Поэтому для синхронизации дробления струи в ЭКСПУ ВД наиболее широко используются пьезоэлектрические преобразователи, работающие на низких уровнях напряжений питания и обладающие хорошим быстродействием. В связи с этим будем и в дальнейшем ориентироваться на синхронизирующие устройства такого типа.

ЭЛЕКТРОКАПЛЕСТРУЙНЫЕ РЕГИСТРИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА С ЭМИССИЕЙ КАПЕЛЬ ИМПУЛЬСНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

4.1. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЭКСРУ С ЭМИССИЕЙ КАПЕЛЬ ИМПУЛЬСНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

Как уже отмечалось выше, особенностью ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением является использование незаряженных неотклоняемых капель в процессе регистрации информации (см. рис. 1.10). Под действием электрического импульса, подаваемого на пьезоэлектрический преобразователь (ПЭП), последний изменяет свои геометрические размеры, создавая импульс давления. При этом благодаря капиллярному действию сопло наполняется чернилами (краской), из него вылетает одна капля, и сопло вновь готовится к дальнейшему приему импульса. Этот процесс достаточно инерционный, что ограничивает частоту каплеобразования в данном типе ЭКСРУ до 10 000 капель/с [65]. Таким образом, капля образуется лишь тогда, когда подается электрический сигнал на вход пишущей головки, т. е. реализуется метод подачи капель по требованию. Изменением амплитуды импульса, подаваемого на ПЭП, меняется и диаметр образуемой капли: более слабый импульс дает маленькую каплю, более сильный — большую. Поскольку капли не заряжены, они не могут отклоняться, а летят прямо к запечатываемой точке носителя информации, то в таких ЭКСРУ используются, как правило, многосопловые пишущие головки. Например, если должна быть напечатана буква *H* (рис. 4.1, *a*), то сначала с соответствующих сопел наносятся точки ряда 1, затем процесс прерывается на время передвижения запечатываемого материала на шаг Δ . Связанный с запечатываемым материалом тактовый генератор подает сигнал, что материал передвинут на шаг Δ , и начинает печататься с соответствующих сопел ряда 2 и т. д.

При струйной печати получается хорошо читаемый шрифт, образцы которого в 15-кратном увеличении показаны на рис. 4.1, *б* [65].

ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением в зарубежных публикациях часто называют *устройствами со строгой дозировкой капель* [47, 50, 59, 74]. В последние годы фирма IBM большое внимание уделяет разработке таких ЭКСРУ, экспериментальному и теоретическому исследо-

Рис. 4.1. Принцип печати электрокаплеустройными устройствами (а) и образцы печати (б)

ванию их узлов и блоков. Ниже приведены основные результаты таких исследований ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением (ЭКСРУ ИД) [47, 50, 59, 74].

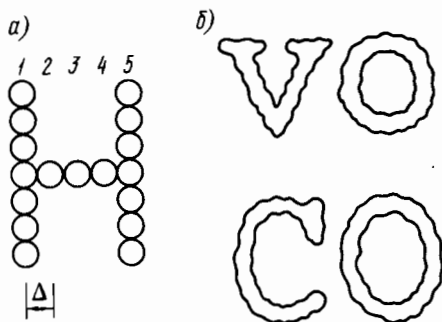
Прежде всего рассмотрим физические процессы каплеобразования в ЭКСРУ ИД и

влияние на них гидродинамических конструктивных и электрических параметров пишущей головки с учетом того, что на каплеобразование в данном типе ЭКСРУ решающим образом влияют характер распространения волн давления в рабочей среде (чернилах, краске), возникающих при резком сжатии (расширении) ПЭП, и гидродинамика заполнения жидкостью полости, окруженной небольшим пьезоэлектрическим преобразователем.

Ряд авторов при этом допускали, что чернила (краску) можно рассматривать как несжимаемую жидкость. Например, Д. Бозли [43] при анализе различных фаз процесса формирования капель использовал понятие эффективных инерционных и вязкостных длин для несжимаемой краски, размещенной в полости с ПЭП. Е. Л. Кайзер и др. [76] при разработке математических моделей емкости с чернилами (краской) ЭКСРУ ИД вводили в рассмотрение эффективные массы пружины и эквивалентные коэффициенты затухания.

Д. Б. Боги и Ф. И. Тальке предложили [47] более совершенную модель, учитывающую эффект сжимаемости чернил (краски) при работе пишущей головки ЭКСРУ ИД, а также эффекты отражения волн на краях емкости с чернилами. Полученные результаты проведенных ими экспериментальных исследований позволили сопоставить теоретические выкладки с экспериментальными данными.

Конструкция пишущей головки, выбранной для экспериментальных исследований процесса каплеобразования в ЭКСРУ ИД, представлена на рис. 42. Она содержит одинаковой длины серийно выпускаемую пьезоэлектрическую трубку 3 типа PZH-5Н и стеклянный капилляр 4, которые опираются с обеих сторон на гибкие прокладки 1. Пьезоэлектрическая трубка 3 коаксиально размещена относительно цилиндрического корпуса 2. Два канала и стенки пьезоэлектрической трубки образуют емкость длиной l , передний край которой заканчивается кремниевой пластинкой 5 толщиной 0,125 мм, в которой имеется отверстие диаметром 50 мкм. Данное отверстие служит выходным соплом пишущей головки. С другого конца данная емкость соединяется трубкой большего диаметра с резервуаром с чернилами (краской). Входные импульсы напряжения подводятся к внутренним и внешним цилиндрическим поверхностям пьезоэлектрической трубки, имеющим никелевое покрытие и являющимся электродами такого ПЭП. Как уже отмечалось выше, каплеобразование в ЭКСРУ ИД зависит как от формы импульса на электродах



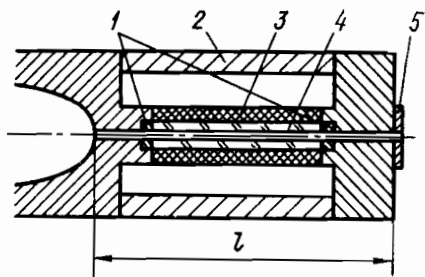


Рис. 4.2. Пишущая головка ЭКСРУ с эмиссией капли импульсным давлением

ПЭП, так и от его длительности и амплитуды. Исследованиями установлено, что для выброса капли из сопла длительность фронта нарастания входного импульса должна быть меньше 3 мкс.

При экспериментальных исследованиях [47] в качестве базовых выбраны прямоугольные импульсы

регулируемой длительности. При подаче входного импульса на электроды ПЭП возникает радиальное смещение трубки 3 и в зависимости от направления поляризации пьезоэлектрической трубки внутренний радиус может расти или уменьшаться с увеличением входного напряжения. При этом в чернилах возникают высокие давления, приводящие к выбросу капли из сопла. Для наблюдения динамики процесса формирования капель при различных варьированных параметрах использовалась стробоскопическая приставка на базе светонизлучающего диода, стробированного по частоте выброса капель. Проведенные исследования показали, что параметры каплеобразования в ЭКСРУ ИД зависят от длины пьезоэлектрической трубки и длительности прямоугольных импульсов на входе ПЭП.

На рис. 4.3, а представлены типичные стробограммы каплеобразования в ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением с временными интервалами 4 мкс, когда в качестве рабочей жидкости был применен этиленгликоль [47]. Анализ стробограмм, показанных на рис. 4.3, а показывает, что имеет место время задержки τ_z начала движения мениска чернил на выходе из сопла пишущей головки относительно момента приложения напряжения к ПЭП. Причем с увеличением длины l емкости с чернилами (см. рис. 4.2) время задержки τ_z увеличивается практически линейно (рис. 4.4), что связано с временем распространения акустической волны давления в рабочей жидкости внутри емкости с чернилами. Для l , равного 12,3; 18,7 и 33,9 мм (кривые 1—3), при использовании в качестве рабочей жидкости этиленгликоля τ_z соответственно равно 12, 20 и 32 мкс (скорость звука a для этиленгликоля в сосуде при комнатной температуре составляет 1658 м/с). На рис. 4.4 аппроксимирующие прямые линии имеют соответственно наклоны $4/a$, $3/2a$, $1/a$, где a — скорость звука в рабочей жидкости ЭКСРУ.

Скорость образующейся капли v_k зависит от амплитуды и длительности импульса τ_n на электродах ПЭП пишущей головки. Если стабилизировать амплитуду импульса на электродах ПЭП, то v_k будет определяться длительностью τ_n при выбранных конструктивных параметрах пьезоэлектрического преобразования и печатающей головки (рис. 4.5, а). Как видно из рисунка, в этом случае кривая $v_k = f(\tau_n)$ имеет максимум (на рис. 4.5, а длина пьезоэлектрической трубки — 27,9 мм, длина емкости с чернилами $l = 33,9$ мм, амплитуда импульса на электродах ПЭП состав-

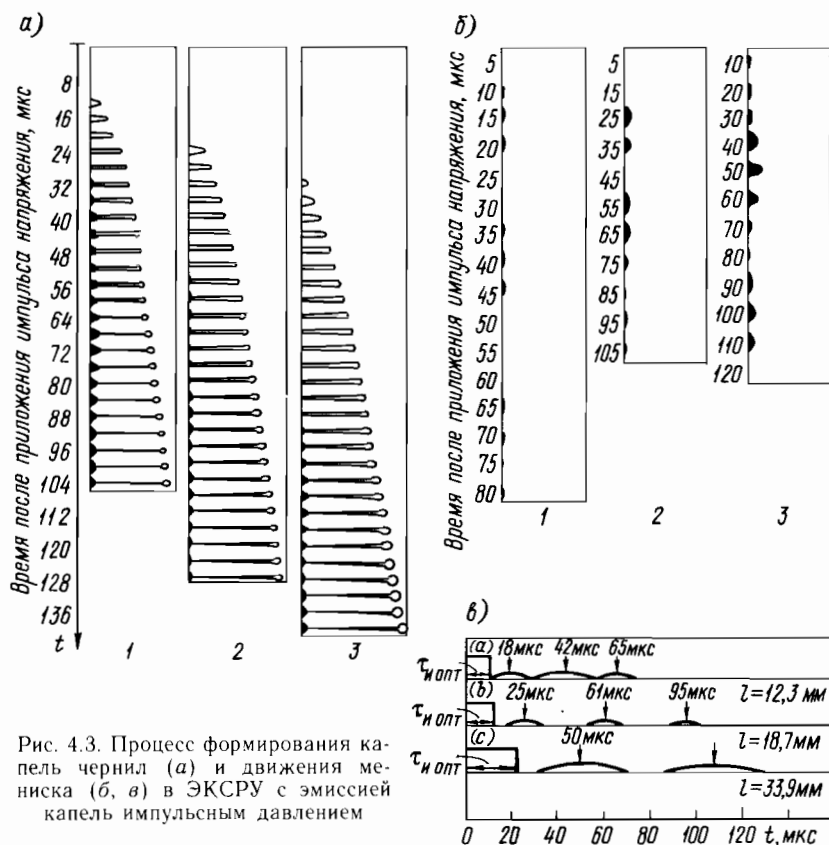
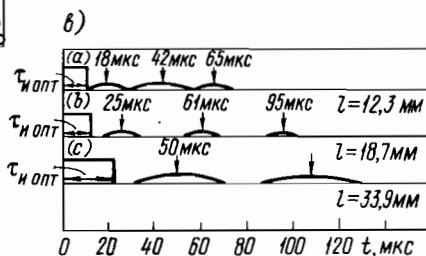


Рис. 4.3. Процесс формирования капель чернил (а) и движения мениска (б, в) в ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением



ляют 4,54 В). Анализ причин появления максимума кривой $v_k = f(\tau_{и})$ будет проведен ниже, при рассмотрении модели каплеобразования в ЭКСРУ ИД.

Таким образом, можно определить оптимальную длительность управляющего электрического импульса $\tau_{и\text{ опт}}$, соответствующую максимальной скорости вылетающей капли с выходного сопла пишущей головки ЭКСРУ. Скорость капли и частота каплеобразования определяют и скорость регистрации информации в данном типе ЭКСРУ. Например, для па-

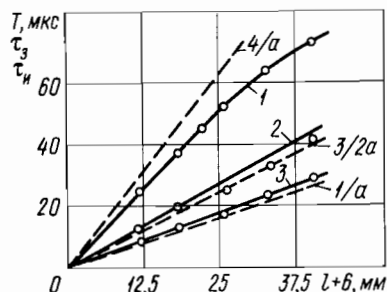


Рис. 4.4. Влияние длины l емкости с чернилами (краской) пишущей головки ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением на период колебания (1), задержку t_3 (2) и оптимальную длительность управляющего импульса напряжения $\tau_{и}$ (3)

параметров пишущей головки, соответствующих рис. 4.5, а, имеем максимальную скорость $v_{k \max} = 3,5$ м/с при $\tau_{и \text{ опт}} = 22,4$ мкс. Кривая 3 на рис. 4.4 показывает зависимость $\tau_{и \text{ опт}} = f(l)$, которая близка к линейной с наклоном прямой $1/a$, где a — скорость звука в рабочей жидкости.

ЭКСПУ ИД, как и в других типах каплеструйных регистрирующих устройств, стремятся увеличить скорость регистрации информации прежде всего за счет увеличения частоты эмиссии капель чернил (краска). Последнее в ЭКСПУ с эмиссией капель импульсным давлением удобнее всего реализовать увеличением частоты импульсов напряжения, подаваемых на электроды ПЭП пишущей головки. Однако при существенном увеличении частоты ω следования импульсов волны давления (сжатия) в чернилах (краске), находящихся в пишущей головке, возникающие от предыдущего импульса, не успевают затухнуть до прихода следующего импульса. Вследствие многократного отражения волн давления может возникнуть субгармонический резонанс и антирезонанс, влияющий на скорости выбрасываемых из сопла пишущей головки капель чернил (краски). Последнее подтверждается экспериментальными исследованиями [47], результаты которых представлены на рис. 4.5, б—г. В данном случае длительность и амплитуда входного электрического импульса ПЭП поддерживались постоянным ($U_{вх} = \text{const}$, $\tau_{и} = \tau_{и \text{ опт}} = \text{const}$) и при выбранных параметрах пишущей головки изменялась частота следования входных импульсов. Кривым на рис. 4.5, б, в, г соответствуют следующие параметры: для рис. 4.5, б длина пьезотрубки $l_{пт} = 6,3$ мм, $l = 12,3$ мм, $U_{вх} = 12,7$ В, $\tau_{и \text{ опт}} = 8,2$ мкс; для в $l_{пт} = 12,7$ мм, $l = 18,7$ мм, $\tau_{и \text{ опт}} = 11,8$ мкс; для г $l_{пт} = 27,9$ мм, $l = 33,9$ мм, $U_{вх} = 4,5$ В, $\tau_{и \text{ опт}} = 22,4$ мкс.

Как следует из рис. 4.5, б — г, при низкой частоте импульсов скорость v_k капли практически не зависит от частоты, вследствие того что при срабатывании ПЭП импульсы давления (сжатия) в чернилах успевают затухать до прихода очередного импульса и нет корреляции между волнами давления от следующих друг за другом импульсов. Однако при $1/\omega < 200$ мкс и выбранных параметрах пишущей головки имеет место

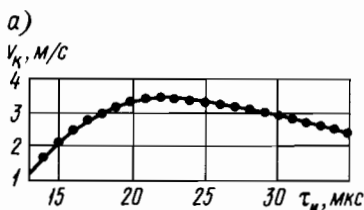
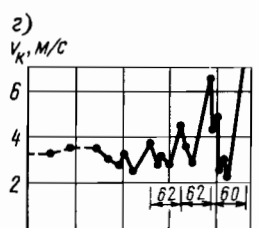
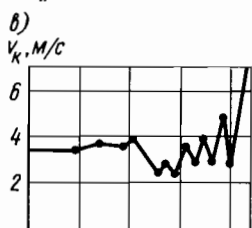
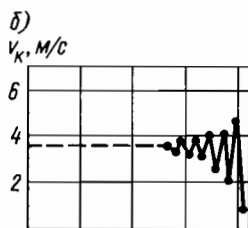


Рис. 4.5. Влияние на скорость капли длительности управляющего импульса напряжения (а) и частоты каплеобразования (б — г)



явление субгармонического резонанса волн сжатия, распространяемых в чернилах (краске) ЭКСРУ ИД, и наблюдаются изменения скорости выбрасываемых капель чернил. Причем периоды между соседними максимальными значениями v_k зависят от длины l емкости с чернилами.

Для уточнения математической модели процесса каплеобразования в ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением проведены исследования зависимости формы мениска чернил от длины l емкости с чернилами при выбранном ПЭП [47]. Для этого амплитуда импульса на электродах пьезоэлектрического преобразователя выбиралась такой, чтобы при поступлении входного импульса капля не выбрасывалась из сопла, а только появлялся мениск жидкости на выходе сопла. Таким образом, уточнялось взаимодействие акустических волн давления, создаваемых в чернилах ПЭП, с мениском чернил. На рис. 4.3, б, в представлены результаты такого исследования. На стробограммах рис. 4.3, б показано изменение формы мениска жидкости в разные интервалы времени после приложения импульса напряжения к электродам ПЭП для длины емкостей l , равной 12,3; 18,7 и 33,9 мм с приращением времени 5, 10 и 10 мкс. Обработанные результаты рис. 4.3, б представлены на рис. 4.3, в, где показано изменение выступа мениска в зависимости от времени после приложения прямоугольного импульса к электродам пьезоэлектрического преобразователя (пьезотрубки). Там же показаны оптимальные длительности входного прямоугольного электрического импульса $\tau_{и\text{ опт}}$ для различных l .

Экспериментальные результаты, представленные на рис. 4.2 — 4.5, говорят о том, что усиление распространяющихся волн давления в чернилах пишущей головки ЭКСРУ может быть определяющим механизмом каплеобразования на частотах 1—15 кГц в ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением. С учетом этого положения разработана [47] одномерная модель эмиссии капель с использованием ПЭП, основанная на анализе распространения в ограниченной емкости волн давления в сжимаемой жидкости и их отражения на краях емкости. При этом предполагается, что канал пишущей головки с чернилами открыт со стороны резервуара с чернилами и закрыт со стороны выходного сопла (малый диаметр, равный 50 мкм, в первом приближении делает правомерным такое допущение). Кроме того, считают, что сжатие или расширение внутреннего канала пьезотрубки ПЭП в результате приложенного электрического импульса напряжения вызывает мгновенное изменение давления внутри трубки, которое в дальнейшем принимается как начальное условие при анализе распространения волн давления в чернилах пишущей головки. Распространение волны давления p по оси x во времени t в трубке бесконечной длины рассматривалось в виде [47]

$$p = (x, t) = f(x - at) + g(x + at),$$

где a — скорость звука в чернилах (краске).

Следовательно, волна давления представляется в виде суммы двух профилей распределения давлений: профиля f , который распространяется в положительном направлении x (вправо), и профиля g , который распространяется в отрицательном направлении x (влево) со скоростью звука a . Тогда, предполагая в начальный момент времени скорость сжатия

равной нулю, для волн в трубке бесконечной длины можно записать

$$p(x, t) = 0,5 [\Phi(x - at) + \Phi(x + at)], \quad (4.1)$$

где $\Phi(x)$ — функция, определяемая начальными условиями,

$$\Phi(x) = p(x, 0) = f(x) + g(x).$$

Когда встречается препятствие на каком-либо участке канала пищевой головки, часть волн давления проходит, а другая часть отражается, причем амплитуды и фазы пропускаемых и отраженных волн характеризуются соответствующими коэффициентами пропускания и отражения, зависящими от характера и параметров препятствий. В качестве таких препятствий для простоты рассматривается, как уже отмечалось, закрытый конец канала (со стороны сопла) и открытый (со стороны резервуара с чернилами). Для открытого конца канала пищевой головки начальным условием является равенство нулю давления, а для закрытого конца — равенство нулю скорости.

С учетом данных положений и результатов экспериментальных исследований, приведенных выше, для трубки с чернилами с предельной длиной l и открытым и закрытым концами на рис. 4.6 представлена последовательность ожидаемых прямых и отраженных импульсов давления [47]. При этом предполагалось, что на электроды ПЭП поступает положительный прямоугольный импульс напряжения, вызывающий увеличение внутреннего радиуса пьезоэлектрической трубки. В свою очередь, отрицательный импульс входного напряжения вызывает уменьшение внутреннего радиуса пьезоэлектрической трубки.

На рис. 4.6, а показано исходное расширение от ступени положительного напряжения на входе ПЭП. Образующиеся импульсы половины амплитуды распространяются в противоположных направлениях (рис. 4.6, б) и после отражения от открытых (левых) и закрытых (правых) концов имеют вид, показанный на рис. 4.6, в. После времени $t = l/a$ от ступени отрицательного напряжения на ПЭП аннигилируется волна отрицательного давления и удваивается волна положительного давления (рис. 4.6, г). Далее волна положительного давления отражается от фиксированного конца (рис. 4.6, е) с максимальной амплитудой.

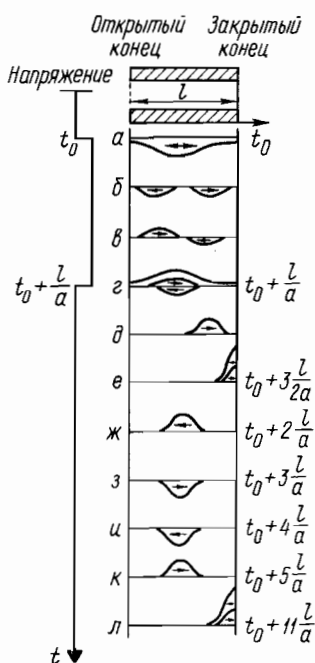


Рис. 4.6. Распространение и отражение исходных импульсов в канале с открытым с одной стороны концом при эмиссии капель импульсным давлением

литудой при $t = t_0 + 3l/(2a)$. В это время выбрасывается капля. Следующая максимальная амплитуда волны давления на конце с соплом получается в момент времени $t = t_0 + 11l/a$ (рис. 4.6, *л*).

Положительный прямоугольный импульс напряжения подается на электроды ПЭП в момент времени t_0 (рис. 4.6, *а*). Происходит резкое расширение пьезоэлектрической трубки, и возникает разрежение во внутреннем канале ПЭП. Возникает волна отрицательного давления, амплитуда которой убывает практически до нуля по направлению к открытому каналу пишущей головки, а также убывает и по направлению к закрытому концу с соплом (хотя в последнем случае имеет место прогиб мениска чернил на выходе сопла вследствие созданного вакуума). В последующий момент времени (рис. 4.6, *б*) волна давления расщепляется на две половинки, распространяющиеся в соответствии с формулой (4.1) в противоположных направлениях. Можно показать [47], что при отражении волны давления от открытого конца канала пишущей головки она меняет знак. На рис. 4.6, *в* изображены волны давления после первого отражения от открытого и закрытого концов канала пишущей головки. Двигаясь навстречу друг другу после того, как каждая из них прошла расстояние l , в момент времени $t_0 + l/a$, суммируясь, эти волны должны дать нулевое давление (сжатие) — рис. 4.6, *г*. Однако при этом распространение волн в чернилах (краске) не прерывается. Если же в этот момент времени $t_0 + l/a$ снять напряжение с электродов ПЭП, внутренний канал пьезоэлектрической трубки резко сужается и таким образом создается новая волна давления (сжатия), знак которой противоположен исходной в момент времени t_0 (рис. 4.6, *а*). Эта волна добавляется к первоначальному распределению исходного давления (сжатия), в результате чего левая отрицательная волна должна аннигилироваться, а правая распространяющаяся волна положительного давления должна удваиваться (рис. 4.6, *д*).

Таким образом, длительность импульса, подаваемого на электроды ПЭП в ЭКСРУ ИД, должна быть вполне определенной в зависимости от длины l канала с чернилами. Данный импульс должен заканчиваться в момент времени $t_0 + l/a$, и тогда амплитуда волны давления, распространяющаяся к соплу, увеличивается в два раза по сравнению с первоначальной.

На рис. 4.6, *е* показана середина такой волны давления в момент второго отражения от конца канала с соплом. Аналогично одна половина волны продолжает распространяться вправо, другая — влево. В момент времени $t_0 + 3l/a$ давление в сопле должно быть в четыре раза выше первоначальной амплитуды волны давления. Логично предположить, что при таком давлении и происходит выброс капли чернил из сопла.

Таким образом, оптимальная длительность прямоугольного импульса, подаваемого на электроды ПЭП пишущей головки ЭКСРУ ИД, должна выбираться из соотношения

$$\tau_{\text{и опт}} = l/a.$$

В свою очередь, время чистого запаздывания до начала процесса выброса капли чернил из сопла (начала движения мениска чернил) после приложения напряжения к электродам ПЭП составляет

$$\tau_3 \approx 3l/(2a),$$

что хорошо согласуется с результатами эксперимента (см. рис. 4.4).

Если на электроды ПЭП не поступает очередной прямоугольный импульс напряжения, то при отсутствии затухания последующий характер распространения волн давления показан на рис. 4.6, ж—л. Из этих рисунков следует, что следующая большая волна давления возле конца канала с соплом, приводящая к началу движения (увеличения) мениска чернил с последующим вероятным выбросом капли, будет наблюдаться в момент времени $t_0 + (11l/a)$, что составляет $4l/a$ после выброса капли.

Следовательно, период колебаний мениска (каплеобразование) в соответствии с данной моделью должен быть

$$T = 4l/a.$$

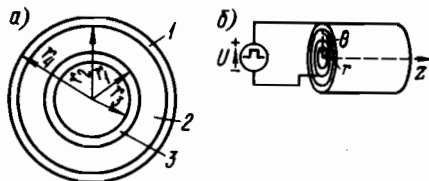
Однако в реальных конструкциях пишущих головок ЭКСРУ ИД вязкостные эффекты уменьшают амплитуду волны давления, а коэффициенты отражения волн от концов канала меньше единицы. Все это приводит к тому, что амплитуда колебаний мениска после выброса капли будет уменьшаться во времени, что влияет на параметры волны остаточного давления и, как следствие, на момент выброса последующей капли при подаче импульса напряжения на электроды ПЭП. В свою очередь, экспериментально установлено [47], что время формирования очередной капли, как правило, больше, чем $4l/a$. Следовательно, за период каплеобразования к соплу поступает больше одной волны максимального давления. Поэтому, если очередной импульс напряжения поступает на ПЭП слишком быстро после предыдущего, то вторая капля может начать выбрасываться до отделения первой и две капли могут слиться, что ухудшит качество печати.

Возникает проблема синхронизации поступления очередного импульса напряжения на вход пишущей головки ЭКСРУ ИД с одной из волн положительного давления в чернилах (краске), возникающей в интервале $4l/a$. Для этого на электроды ПЭП нужно подать прямоугольный положительный импульс напряжения в интервале $3l/(2a)$ до прихода волны положительного давления к соплу. В момент $2l/a$ после поступления волны сжатия образуется волна разряжения (отрицательного давления). Не рекомендуется подавать прямоугольный положительный импульс напряжения в момент $3l/(2a)$ до поступления импульса отрицательного давления.

4.2. СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОТЫ ПИШУЩЕЙ ГОЛОВКИ ЭКСРУ С ЭМИССИЕЙ КАПЕЛЬ ИМПУЛЬСНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

В рассмотренной выше модели в качестве исходной предпосылки предполагалось, что пьезоэлектрическая трубка резко изменяет свои размеры при подаче импульса напряжения и таким образом создает волну давления в чернилах (краске) ЭКСРУ. Для инженерного использования этой модели необходимо иметь данные о влиянии конструктивных параметров такого пьезоэлектрического преобразования (ПЭП) на измене-

Рис. 4.7. Пьезоэлектрический эмиттер капле (а) и его расчетная схема (б) при эмиссии капле импульсным давлением



ние размеров ПЭП и, как следствие, на процессы каплеобразования при эмиссии капле импульсным давлением.

Конструкция ПЭП (рис. 4.7, а) содержит поляризованную в радиальном направлении пьезоэлектрическую керамическую цилиндрическую трубку 2 (кольцо), внешняя и внутренняя стенки которой металлизированы и служат в качестве электродов 1, 3, к которым подводится входное напряжение. При работе печатающей головки ЭКСРУ ИД внутреннее концентрическое отверстие в трубке заполняется рабочими чернилами (краской). При подаче импульса напряжения на электроды 1, 3 выброс капли происходит в результате взаимодействия волн давления (сжатия) со свободной поверхностью мениска, вызываемых радиальным движением цилиндра.

Таким образом, при анализе работы ПЭП в структуре пишущей головки ЭКСРУ ИД в дальнейшем нас прежде всего будет интересовать радиальное движение пьезоэлектрического цилиндра в зависимости от электрических и конструктивных параметров.

Рассмотрим случай гармонических радиальных колебаний, когда в качестве ПЭП используются короткие толстостенные пьезоэлектрические керамические цилиндры (кольца) с радиальной поляризацией. Такой режим работы ПЭП возможен, в частности, в ЭКСРУ с эмиссией капле высоким давлением и с синхронизацией дробления струи на капли. Тогда колебания короткого пьезоэлектрического кольца характеризуются следующими уравнениями [20]: в координатах r, θ, z :

$$\frac{\partial T_r}{\partial r} + \frac{T_r - T_\theta}{r} = -\rho \omega^2 u_r; \quad (4.2)$$

$$S_r = s_{13} T_\theta + s_{33} T_r + g_{33} D_r; \quad (4.3)$$

$$S_\theta = s_{11} T_\theta + s_{13} T_r + g_{31} D_r; \quad (4.4)$$

$$E_r = -g_{31} T_\theta - g_{33} T_r + \beta_{33} D_r, \quad (4.5)$$

где T_r, T_θ — компоненты матрицы механических напряжений по координатам r и θ (для короткого кольца $T_z = 0$); ρ — плотность пьезоэлектрики; ω — угловая частота гармонических радиальных вибраций кольца; u_r — радиальная компонента смещения; D_r — радиальная составляющая индукции, равная для кольца с радиальной поляризацией $D_r = D_0/r$; D_0 — постоянная величина; E_r — радиальная составляющая напряженности электрического поля, связанная с напряжением U на электродах керамического кольца с радиальной поляризацией соотношением $U =$

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ПЭП

Тип пьезо- керамики	$s_{ij} \cdot 10^{12}, \text{ м}^2/\text{Н}$			$g_{ik} \cdot 10^3, \text{ м/Н}$		$\frac{T}{E_{33}}$ F_0	K_{31}	K_{33}
	s_{11}	s_{33}	$-s_{13}$	$-g_{31}$	g_{33}			
ТБКС	8,25	7,22	1,77	6,0	19,0	400	0,117	0,398
НБС-1	11,0	9,06	2,3	6,67	17,9	1350	0,214	0,544
ЦТС-19	14,2	10,2	3,16	8,73	20,7	1540	0,262	0,605
PZT-5	14,4	9,46	2,98	11,4	24,8	1700	(-) 0,344	0,705

$= \int E_r dr$; s_{11} , s_{13} , s_{33} , g_{31} , g_{33} ; β_{33} — пьезоэлектрические постоянные, характеризующие составом пьезоэлектрической керамики, численные значения которых для пьезокерамики типа ТБКС, НБС-1, ЦТС-19, PZT-5 приведены в табл. 4.1 (обозначения приняты в соответствии с работой [38]).

Уравнение (4.2) представляет собой уравнение движения точек кольца, а уравнения (4.3) — (4.5) — электромеханические уравнения состояния поляризованной пьезокерамики. Совместное решение уравнений (4.2) — (4.5) с учетом уравнений Максвелла при допущении, что поляризация всех элементов кольца максимальна (т. е. в предположении, что пьезоэлектрические постоянные материала кольца неизменны по всему объему кольца), дает следующее уравнение для радиального смещения [20]:

$$\frac{d^2 u_r}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du_r}{dr} + (k^2 r^2 - \nu^2) \frac{u_r}{r^2} = \frac{A}{r^2}, \quad (4.6)$$

где приняты следующие обозначения: $k = \omega \sqrt{\rho S_{\Phi\Phi}}$; $S_{\Phi\Phi} = s_{33} \left(1 - \frac{s_{13}^2}{s_{11}s_{33}} \right)$; $\nu^2 = \frac{s_{33}}{s_{11}}$; $A = \left(g_{33} \frac{s_{13}}{s_{11}} - g_{31} \frac{s_{33}}{s_{11}} \right) D_0$.

Последнее выражение позволяет определить радиальные смещения внутренних и внешних поверхностей радиусов r_1 и r_2 пьезокерамического кольца.

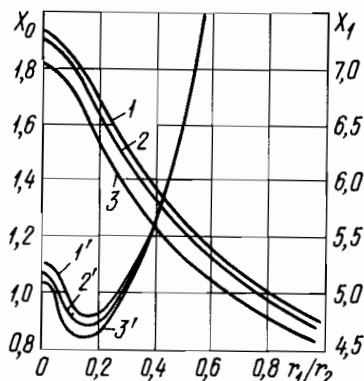
При отсутствии пьезоэффекта ($g_{ik} = 0$) и анизотропии ($\nu = 1$) в работе [20] показано, что для частот f_n механического резонанса кольца справедливо выражение

$$f_n = -\frac{X_n}{2\pi r_2 \sqrt{\rho S_{\Phi\Phi}}}, \quad (4.7)$$

где X_n — корни частотного уравнения, получаемого на основании (4.6) при $A = 0$. Корень X_0 соответствует резонансу по окружности, а корни X_n при $n = 1, 2, 3, \dots$ соответствуют резонансу толщинного типа.

Рис. 4.8. К определению частоты механического резонанса в пьезоэлектрических преобразователях ЭКСРУ:

1 (1') — ТБКС; 2 (2') — НБС-1;
3 (3') — ЦТС-19; 1, 2, 3 — $X_0 =$
 $= j(r_1/r_2)$; 1', 2', 3' — $X_1 = j(r_1/r_2)$



На рис. 4.8 представлены зависимости X_0 и X_1 от соотношения радиусов r_1/r_2 внутренней и наружной поверхностей кольца [20]. При $r_1/r_2 > 0,6$ с точностью до 1,65 % справедливо выражение $X_1 = \pi / (1 - r_1/r_2)$.

В свою очередь, из (4.3) — (4.5) с учетом $U = - \int_{r_1}^{r_2} E_r dr$ следует [20]

$$U = \frac{1}{\Delta_{\text{эф}}} (\sigma_{13} g_{31} - g_{33}) (u_2 - u_1) + \frac{1}{\Delta_{\text{эф}}} (v^2 g_{31} + \sigma_{13} g_{33}) \int_{r_1}^{r_2} \frac{u_2}{r} dr - \\ - \beta_{33} D_0 \left[1 + \frac{1}{\Delta_{\text{эф}} \beta_{33}} (g_{33}^2 - 2\sigma_{13} g_{31} g_{33} + v^2 g_{31}^2) \right] \ln \frac{r_2}{r_1}, \quad (4.8)$$

где U — напряжение на электродах кольца; $\sigma_{13} = -s_{13}/s_{11}$ — эффективный коэффициент Пуассона; u_2 и u_1 — смещение поверхностей радиуса r_2 и r_1 .

Электрический антирезонанс такого ПЭП совпадает с механическим резонансом.

На рис. 4.9 в качестве примера при наружном радиусе кольца, равном 2 см, приведены расчетные законы распределения смещений [20] для внутреннего (рис. 4.9, а) и основного резонанса (рис. 4.9, б). Как видно из рис. 4.9, у колец большой толщины поверхность максимального смещения не совпадает с внутренней поверхностью радиуса r_1 , что необходимо учитывать при выборе конструктивных параметров ПЭП электрокаплеструйных регистрирующих устройств. При увеличении толщины кольца растет асимметрия законов смещений относительно среднего радиуса кольца.

ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением работают, как правило, в относительно низком частотном диапазоне (в принципе между импульсами, поступающими на электроды ПЭП ЭКСРУ ИД, может быть относительно большой промежуток времени). Поэтому целесообразно проанализировать квазистатический случай работы ПЭП на частотах, существенно меньших, чем аксиальная резонансная частота. В зарубежной практике в ЭКСРУ ИД для эмиссии капель широко используются

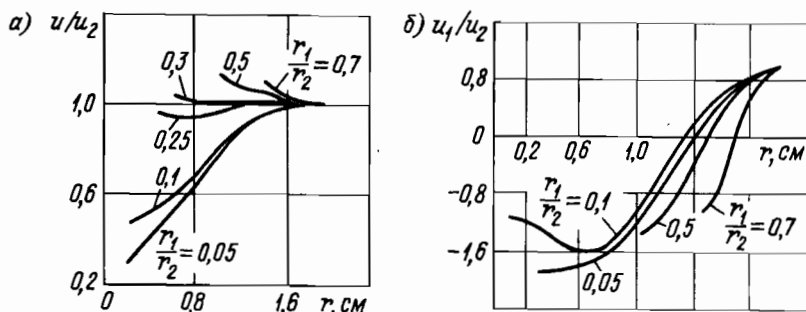


Рис. 4.9. Распределение смещений при изменении размеров пьезоэлектрического кольца ПЭП

коаксиальные пьезоэлектрические цилиндры (см. рис. 4.7), в частности цилиндры типа PZT-5Н.

Для пьезоэлектрического цилиндра PZT-5Н длиной $l=25$ мм самая низкая собственная частота вибрации в аксиальном направлении z (см. рис. 4.7, б) равна 81 кГц [50]. Поэтому в дальнейшем будем предполагать, что эмиттер капле работает с частотой, гораздо меньшей чем 81 кГц.

Для квазистатического режима работы ПЭП полагаем в выражении (4.2) $\omega=0$. Рассматривая пьезоэлектрический цилиндр (см. рис. 4.7, б), можем сделать предположение [50], что обычное механическое напряжение в аксиальном направлении z равно нулю (т. е. анализируется случай двумерного плоского напряженного состояния). Тогда уравнения (4.2) — (4.5) можно переписать в виде:

$$\frac{\partial T_r}{\partial r} + \frac{T_r - T_\theta}{r} = 0;$$

$$\left. \begin{aligned} S_r &= s_{13}T_\theta + s_{33}T_r + g_{33}D_r; \\ S_\theta &= s_{11}T_\theta + s_{13}T_r + g_{31}D_r; \\ S_z &= s_{12}T_\theta + s_{13}T_r + g_{31}D_r; \\ E_r &= -g_{31}T_\theta - g_{33}T_r + \beta_{33}D_r, \end{aligned} \right\} \quad (4.9)$$

где s_{12} — соответствующая пьезоэлектрическая постоянная [38], равная для пьезокерамического цилиндра PZT-5Н

$$s_{12} = -7,71 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{Н}.$$

В свою очередь, при $\omega=0$ из формулы (4.6) имеем уравнение радиального смещения

$$\frac{d^2 u_r}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du_r}{dr} - \frac{v^2}{r^2} u_r = \frac{A}{r^2}. \quad (4.10)$$

При этом предполагается, что радиальное смещение u_r и скалярный электрический потенциал не зависят от аксиальной координаты z , а

аксиальное смещение u_z (см. рис. 4.7, б) не зависит от радиальной координаты r .

Решение уравнения (4.10) запишется в виде

$$U_r = c_1 r^\nu + c_2 r^{-\nu} - A \nu^{-2}, \quad (4.11)$$

где c_1, c_2 определяются на основе механических граничных условий:

$$\begin{aligned} c_1 (\nu + \sigma_{13}) r_1^\nu - c_2 (\nu - \sigma_{13}) r_1^{-\nu} - D_0 S_{\Phi} \frac{g_{33}}{S_{33}} &= \frac{(s_{11} s_{33} - s_{13}^2) p_1 r_1}{s_{11}}; \\ c_1 (\nu + \sigma_{13}) r_2^\nu - c_2 (\nu - \sigma_{13}) r_2^{-\nu} - D_0 S_{\Phi} \frac{g_{33}}{S_{33}} &= \frac{(s_{11} s_{33} - s_{13}^2) p_2 r_2}{s_{11}}, \end{aligned} \quad (4.12)$$

а также из уравнения напряжения U задающей схемы, получаемого с учетом (4.9) аналогично (4.8):

$$\begin{aligned} U = c_1 (r_2^\nu - r_1^\nu) (d_1 + d_2/\nu) + c_2 (r_2^{-\nu} - r_1^{-\nu}) (d_1 - d_2/\nu) + \\ + D_0 \left(d_3 + d_2^2 \frac{s_{11} s_{33} - s_{13}^2}{S_{33}} \right) \ln \frac{r_2}{r_1}. \end{aligned} \quad (4.13)$$

Здесь p_1, p_2 — давление рабочей среды на внутренних и внешних поверхностях пьезоэлектрического цилиндра;

$$\begin{aligned} d_1 &= \frac{g_{33} s_{11} - g_{31} s_{13}}{s_{11} s_{33} - s_{13}^2}; \quad d_2 = \frac{s_{33} g_{31} - s_{13} g_{33}}{s_{11} s_{33} - s_{13}^2}; \\ d_3 &= \frac{2 s_{13} g_{33} g_{31} - g_{31}^2 s_{33} - g_{33}^2 s_{11}}{s_{11} s_{33} - s_{13}^2} - \beta_{33}. \end{aligned}$$

Из формул (4.12) и (4.13) определяются c_1, c_2, D_0 и на основании (4.11) находится радиальное смещение u_r интересующих нас точек пьезоэлектрического цилиндра.

Конечно, при анализе работы ЭКСРУ разработчика пишущей головки ЭКСРУ ИД интересуется прежде всего радиальное смещение внутренних и внешних поверхностей цилиндра. Для этого случая получены следующие функции смещения на r_1 и r_2 :

$$\left. \begin{aligned} u_r(r_1) &= \alpha_1 r_1 p_1 + \beta_1 r_2 p_2 + \gamma_1 U; \\ u_r(r_2) &= \alpha_2 r_1 p_1 + \beta_2 r_2 p_2 + \gamma_2 U, \end{aligned} \right\} \quad (4.14)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2$ зависят от соотношения внутреннего и наружного радиусов пьезоэлектрического цилиндра $r_1/r_2 = b$:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_1 &= (s_4 b^{-\nu} \ln b + s_5 b^\nu \ln b + \Gamma_1 b^\nu + \Gamma_2 b^{-\nu} + \Psi) / \Phi(b); \\ \alpha_2 &= (-s_6 \ln b + \Omega_1 b^\nu + \Omega_2 b^{-\nu}) / \Phi(b); \\ \beta_1 &= (s_6 \ln b + \Omega_2 b^\nu + \Omega_1 b^{-\nu}) / \Phi(b); \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \beta_2 &= (-s_4 x^v \ln b - s_5 b^{-v} \ln b + \Gamma_2 b^v + \Gamma_1 b^{-v} + \Psi) / \Phi(b); \\ \gamma_1 &= (A_1 b^v - A_2 b^{-v} + A_3) / \Phi(b); \\ \gamma_2 &= (A_2 b^v - A_1 b^{-v} - A_3) / \Phi(b). \end{aligned} \right\} \quad (4.15)$$

$$\begin{aligned} \text{Здесь } \Phi(b) &= \sigma_1 \sigma_2 d_4 (b^v - b^{-v}) \ln b + \frac{2g_{33}^2 S_{\Phi} (b^v + b^{-v} - 2)}{v S_{11} S_{33}}; \quad s_4 = \\ &= -S_{\Phi} d_4 \sigma_1; \quad s_5 = S_{\Phi} d_4 \sigma_2; \quad s_6 = 2v S_{\Phi} d_4; \quad \Psi = -4g_{33} S_{\Phi}^2 d_2 / (v S_{33}); \quad A_1 = \\ &= -S_{\Phi} \sigma_2 (g_{33} + \sigma_1 d_2 S_{11}) / S_{33}; \quad A_2 = S_{\Phi} \sigma_1 (g_{33} - \sigma_2 d_2 S_{11}) / S_{33}; \quad A_3 = 2S_{\Phi} g_{33} / \\ &/ (v S_{33}); \quad \sigma_1 = v + \sigma_{13}; \quad \sigma_2 = v - \sigma_{13}; \quad d_4 = d_3 + d_2^2 (S_{11} S_{33} - s_{13}^2) / S_{33}; \quad \Omega_1 = \\ &= -S_{\Phi}^2 (v d_1 + d_2) [g_{33} - d_2 (s_{13} - v S_{11})] / (v S_{33}); \quad \Omega_2 = S_{\Phi}^2 (v d_1 - d_2) [g_{33} - d_2 \times \\ &\times (s_{13} - v S_{11})] / (v S_{33}); \quad \Gamma_1 = -S_{\Phi}^2 [g_{33} (v d_1 - d_2) - d_2 (v d_1 + d_2) (s_{13} + v S_{11})] / \\ &/ (v S_{33}); \quad \Gamma_2 = -S_{\Phi}^2 [-g_{22} (v d_1 + d_2) + d_2 (v d_1 - d_2) (s_{13} - v S_{11})] / (v S_{33}). \end{aligned}$$

Соотношение (4.14) справедливо для пьезоэлектрических преобразователей ЭКСРУ, в которых используется пьезокерамика с гексагональной симметрией класса C_{6v} .

Таким образом, в предположении, что пьезоэлектрические константы остаются постоянными во всем объеме пьезокерамики ПЭП, зная данные параметры [38], можно на основании выражений (4.14) вычислить для выбранных материала и начальных давлений перемещение внутренней и внешней поверхностей под действием напряжения U на электродах пьезоэлектрического преобразователя ЭКСРУ.

Допущение о постоянстве пьезоэлектрических констант правомерно в том случае, если поляризация всех участков пьезокерамики ПЭП достигла насыщения. Например, для пьезоэлектрического цилиндра PZT-5Н с $r_1 = 0,38$ мм и $r_2 = 0,62$ мм, используемого для эмиссии капель импульсным давлением в ЭКСРУ ИД, коэффициенты, входящие в (4.14), имеют значения [50]:

$$\begin{aligned} \alpha_1 r_1 &= 0,166 \cdot 10^{-7} \text{ м/МПа}; \quad \alpha_2 r_1 = 0,115 \cdot 10^{-7} \text{ м/МПа}; \quad \beta_1 r_2 = -0,191 \times \\ &\times 10^{-7} \text{ м/МПа}; \quad \beta_2 r_2 = -0,171 \cdot 10^{-7} \text{ м/МПа}; \quad \gamma_1 = 0,815 \cdot 10^{-9} \text{ м/В}; \quad \gamma_2 = \\ &= 0,24 \cdot 10^{-9} \text{ м/В}. \end{aligned}$$

На рис. 4.10 показан профиль распределения радиального смещения u , по толщине пьезоэлектрического цилиндра

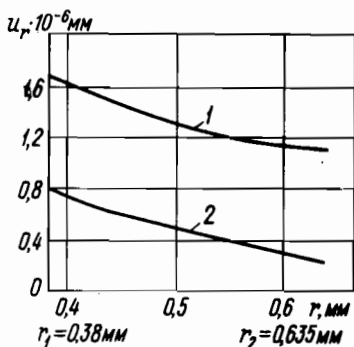


Рис. 4.10. Профиль распределения радиального смещения по толщине пьезоэлектрического цилиндра PZT-5Н в пьезоэлектрическом преобразователе импульсной головкой ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением:

1 — $p_1 = 0,1$ МПа, $U = 0$; 2 — $p_1 = 0$, $U = 1$ В,
 $r_1/r_2 = 0,6$

PZT-5Н с внутренним диаметром 0,75 мм и наружным 1,27 мм при изменении напряжения U на электродах ПЭП и давления чернил внутри цилиндра.

При проектировании пишущей головки ЭКСРУ ИД необходимо знать величину создаваемого в рабочих чернилах (краске) давления от смещения стенок ПЭП при поступлении входного напряжения на электроды пьезоэлектрического преобразователя. Изменение объема камеры с чернилами (краской) dV вызывает и изменение давления dp в рабочей жидкости, которые связаны соотношением

$$-dV/V = dp/B, \quad (4.16)$$

где V — объем цилиндрической полости, заполненной чернилами (краской); B — модуль массы жидкости, характеризующей ее сжимаемость. Применительно к рис. 4.2 нас интересует изменение объема полости с чернилами при смещении внутренней поверхности радиуса r_1 пьезоэлектрического цилиндра. Интегрируя (4.16) с учетом того, что $u_r(r_1)/r_1 \ll 1$, можно получить [50]

$$p = -2B u_r(r_1)/r_1. \quad (4.17)$$

В свою очередь, при отсутствии избыточного давления на внешних стенках цилиндра ($p_2=0$) из первого уравнения системы (4.14) следует

$$u_r(r_1) = \alpha_1 r_1 p + \gamma_1 U, \quad (4.18)$$

где $p = p_1$. Из формул (4.17) и (4.18) находим величину давления, создаваемого в чернилах, на единицу приложенного напряжения к электродам ПЭП

$$\frac{p}{U} = -\frac{2B\gamma_1}{r_1(1+2\alpha_1 B)} = -\frac{2B\gamma_1}{r_2(b+2Bb\alpha_1)}, \quad (4.19)$$

где $b = r_1/r_2$.

В качестве примера в соответствии с формулой (4.19) для $B = 2,23 \times 10^3$ МПа на рис. 4.11, а представлена зависимость $p/U = f(r_1/\bar{r}_2)$ для различных наружных радиусов r_2 пьезокерамического цилиндра, используемых [50] при реализации ЭКСРУ ИД. Из формулы (4.18), а также из рис. 4.11, а следует, что при $r_1/r_2 = \text{const}$ с уменьшением r_2 величина p/U увеличивается. Увеличение p/U имеет место при $r_1/r_2 \rightarrow 0$ и $r_1/r_2 \rightarrow 1$, однако для практической реализации пишущих головок ЭКСРУ ИД оба этих предельных случая нереальны.

Действительно, если r_1 слишком мал, то объем чернил в камере пишущей головки недостаточен для формирования капель. В другом случае ($r_1/r_2 \rightarrow 1$), когда выбирается очень тонкий пьезоэлектрический цилиндр, будет превышена критическая сила электрического поля деполяризации пьезокерамической трубки. Но в любом случае при реализации ЭКСРУ ИД для увеличения чувствительности пишущей головки целесообразно выбирать пьезоэлектрический цилиндр ПЭП с минимально возможным внутренним радиусом с учетом возможности нанесения на него металлического гальванического покрытия (для подведения напряжения со схемы управления ЭКСРУ). Причем в выпускаемых промышленностью пьезо-

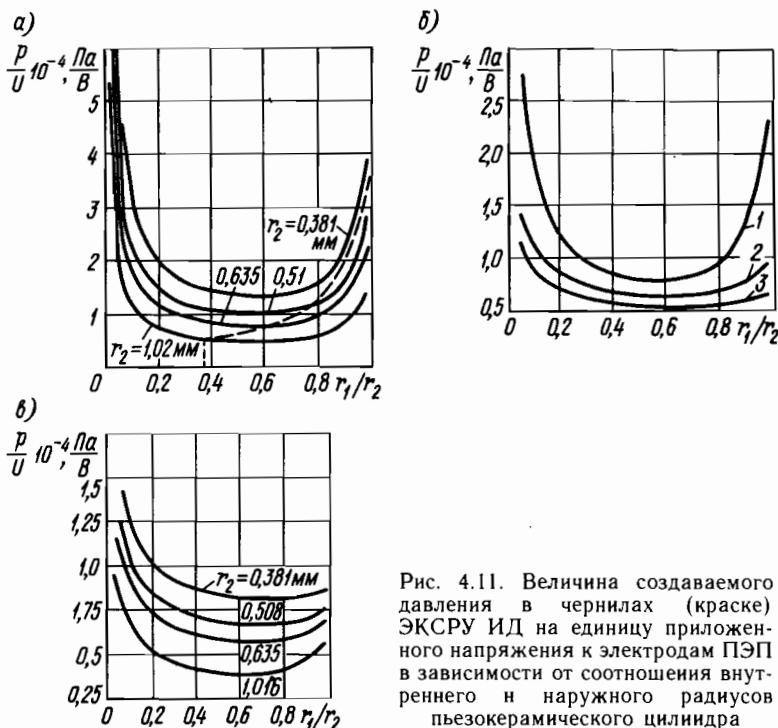


Рис. 4.11. Величина создаваемого давления в чернилах (краске) ЭКСРУ ИД на единицу приложенного напряжения к электродам ПЭП в зависимости от соотношения внутреннего и наружного радиусов пьезокерамического цилиндра

электрических цилиндрах при минимальном внутреннем радиусе могут варьироваться наружные радиусы r_2 . На рис. 4.11, а штриховой линией показана зависимость $p/U = f(r_1/r_2)$ для пьезоэлектрических цилиндров с $r_1 = 0,381$ мм. В случае, если $r_1 > 0,381$ ($r_1 = \text{const}$), штриховая кривая смещается вправо и вниз. Кривые на рис. 4.11, а получены без учета влияния чернил и механического воздействия электродов.

Практически для увеличения чувствительности пишущей головки ЭКСРУ ИД к управляющему напряжению (для достижения максимальной величины p/U) при минимальном r_1 экспериментально подбирают минимально возможный наружный радиус r_2 пьезокерамического цилиндра таким образом, чтобы не превысить критического значения напряженности электрического поля. Однако при этом необходимо учитывать, что уменьшение внутреннего радиуса r_1 вызывает увеличение гидравлического сопротивления канала печатающей головки движению чернил (краски), а также увеличивает вероятность засорения канала, что ухудшает условия каплеобразования.

В ряде случаев при реализации ЭКСРУ ИД возникает необходимость исключения перемещения наружной поверхности пьезоэлектрического цилиндра. Формально этот случай возможен при $\alpha_2 = 0$, $\beta_2 = 0$, $\gamma_2 = 0$ в выражениях (4.14), что невозможно выполнить в реально выбранном цилиндре, т. е. при $r_1/r_2 = \text{const}$ [см. формулу (4.15)]. Однако при посто-

янном давлении рабочей среды на внутренних и внешних стенках пьезоэлектрического цилиндра ($p_1 = \text{const}$, $p_2 = \text{const}$) для исключения перемещения наружной поверхности под действием приложенного к электродам напряжения U необходимо выполнить только одно условие [см. формулы (4.14) — (4.15)]

$$\gamma_2 = \frac{A_2 b^v - A_1 b^{-v} - A_3}{\Phi(b)} = 0. \quad (4.20)$$

Конечно, при работе ПЭП условие $p_1 = \text{const}$, как правило, не выполняется. Поэтому данное допущение является достаточно грубым приближением к реальным условиям функционирования ЭКСПУ ИД. Из уравнения (4.20) следует

$$b = \frac{r_1}{r_2} = \left(\frac{g_{33} + g_{31}^v}{g_{33} - g_{31}^v} \right)^{1/v}. \quad (4.21)$$

Например, для пьезоэлектрических цилиндров PZT-5Н [50] условие (4.21) дает $r_1/r_2 = 0,38$. Следовательно, при $r_1/r_2 = 0,38$ для цилиндров PZT-5Н можно ожидать минимальных перемещений наружной поверхности во всем диапазоне изменения напряжения на электродах.

Как уже отмечалось, на внутренние и наружные поверхности пьезоэлектрического цилиндра ПЭП (см. рис. 4.7) гальваническим способом наносятся металлические электроды. В результате радиусы внутренней и наружной поверхности изменяются (см. r_3 , r_4 на рис. 4.7, а). Последнее обстоятельство сказывается на величине перемещения поверхностей при $U = \text{var}$ и как следствие, на величине давления, создаваемого в чернилах. Выше механическое влияние электродов не учитывалось при анализе чувствительности ПЭП.

Для того чтобы учесть влияние электродов на чувствительность ПЭП, необходимо дополнительно рассмотреть упругостатическую деформацию металлических цилиндров, образованных электродами ПЭП. В этом случае при приложении напряжения к электродам требуется принимать во внимание как перемещение поверхностей радиусов r_1 , r_2 , r_3 , r_4 , так и давления p_1 , p_2 , p_3 , p_4 на этих поверхностях (см. рис. 4.7). С учетом последнего в работе [50] получена (при $p_4 = 0$) дополнительно к (4.14) система уравнений для нахождения этих неизвестных:

$$\left. \begin{aligned} u_r(r_3) &= H(r_3; r_3; r_1)p_3 + H(r_3; r_1; r_3)p_1; \\ u_r(r_1) &= H(r_1; r_3; r_1)p_3 + H(r_1; r_1; r_3)p_1; \\ u_r(r_2) &= H(r_2; r_2; r_4)p_2 + H(r_2; r_4; r_2)p_4; \\ u_r(r_4) &= H(r_4; r_2; r_4)p_2 + H(r_4; r_4; r_2)p_4; \\ p_3 &= -2Bu_r(r_3)/r_3, \end{aligned} \right\} \quad (4.22)$$

где

$$H(r_i, r_k, r_j) = \frac{r_k^2 [(1 + \sigma)r_i + (1 + \sigma)r_j^2/r_i]}{K(r_j^2 - r_k^2)};$$

i, k, j принимают одно из значений — 1, 2, 3, 4 — в соответствии с обозначениями в функциях H ; K , σ — соответственно модуль Юнга и отношение Пуассона для материала электродов (например, для чистого никеля $H = 21,6 \cdot 10^4$ МПа, $\sigma = 0,31$).

Вычисленные на основании соотношений (4.14), (4.22) величины u_r, p показывают, что электроды существенно снижают значение создаваемого в чернилах давления p при поступлении напряжения U (рис. 4.11, б). Причем это снижение тем больше, чем толще электрод. (На рис. 4.11, б кривая 1 получена без учета влияния чернил и механического воздействия электродов, 2, 3 — при толщине электродов 0,0127 и 0,0254 мм для $r_2 = 0,635$ мм.) Зависимости на рис. 4.11, в построены при учете наличия чернил в ПЭП и никелевых электродов толщиной 0,025 мм на поверхностях пьезоэлектрического цилиндра PZT-5Н.

Анализ результатов показывает, что при подаче напряжения на электроды ПЭП смещение внутренней поверхности пьезокерамического цилиндра в несколько раз больше, чем наружной (для PZT-5Н в три раза). Поэтому при разработке конструкции пишущей головки ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением целесообразно ориентироваться на выдавливание чернил внутренней поверхностью, поскольку последнее позволяет увеличить чувствительность головки к управляющему напряжению. Благоприятной предпосылкой для уменьшения габаритных размеров пишущей головки является и то, что с уменьшением габаритных размеров пьезокерамического цилиндра и его толщины увеличивается величина импульса давления в чернилах при одной и той же амплитуде импульса напряжения на электродах ПЭП. Последнее обстоятельство позволяет конструировать многосопловые головки при малых габаритных размерах и тем самым существенно повышать быстродействие ЭКСРУ ИД.

Таким образом, при подаче на электроды ПЭП прямоугольного импульса напряжения имеет место перемещение поверхностей пьезокерамического цилиндра, в рабочих чернилах (краске) возникает импульс давления, под действием которого из сопла пишущей головки выбрасывается капля. Естественно, все эти физические процессы инерционны и в конечном итоге определяют динамику работы ЭКСРУ ИД.

Для оценки динамики работы собственно процесса каплеобразования предположим, что в рабочих чернилах (краске) имеет место прямоугольный импульс давления. И нас в дальнейшем будут интересовать динамика образования на выходе сопла одиночной капли и влияние на нее прежде всего параметров чернил и конструктивных параметров.

Математическая модель процесса каплеобразования при этом характеризуется уравнением Навье — Стокса движения чернил внутри канала пишущей головки с учетом всех соответствующих состояний поверхностных натяжений при деформации поверхности раздела чернила — газ (воздух) в условиях каплеобразования. Она должна учитывать движение рабочей жидкости и вне сопла. При этом в общем случае необходимо иметь в виду сжимаемость рабочей жидкости и акустические отражения волн давления от концов канала головки и внутри камеры, а также явление смачиваемости чернилами выходного торца сопловой головки. Учет всех этих факторов при разработке математической модели каплеобразования

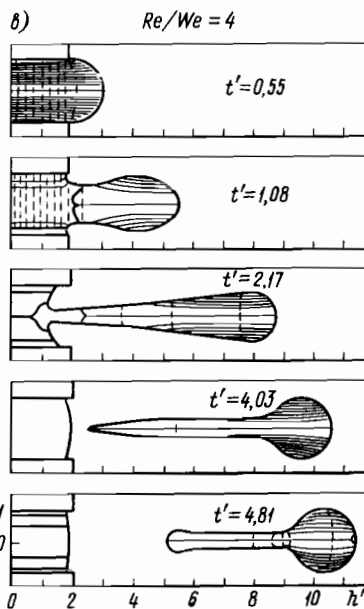
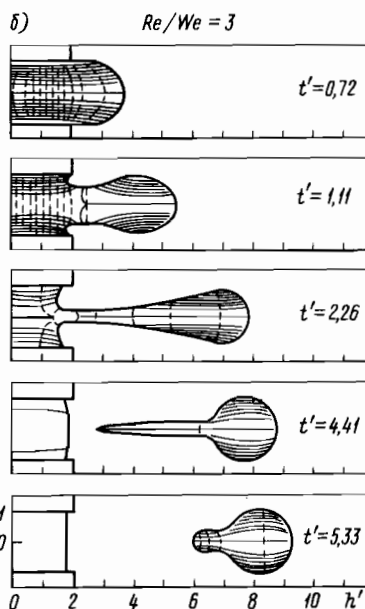
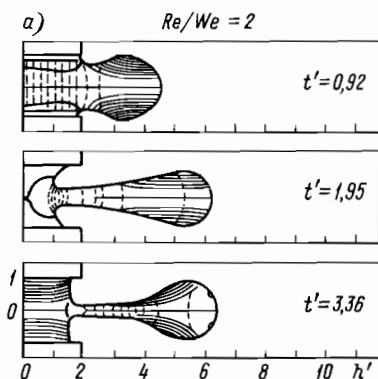


Рис. 4.12. Динамика образования капли в ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением

связан с большими математическими трудностями. Поэтому динамику процесса каплеобразования в ЭКСРУ и влияние на нее гидродинамических, конструктивных и электрических параметров исследуют как правило, эмпирически, а при теоретическом описании вводят ряд допущений для упрощения математической модели.

На рис. 4.12 и 4.13 в качестве примера представлены результаты численного расчета на ЭВМ динамики образования одиночной капли в ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением [59] в зависимости от физико-химических параметров чернил и частично от конструктивных параметров.

Параметры чернил в этом случае характеризовались отношением безразмерных чисел Рейнольдса (Re) и Вебера (We)

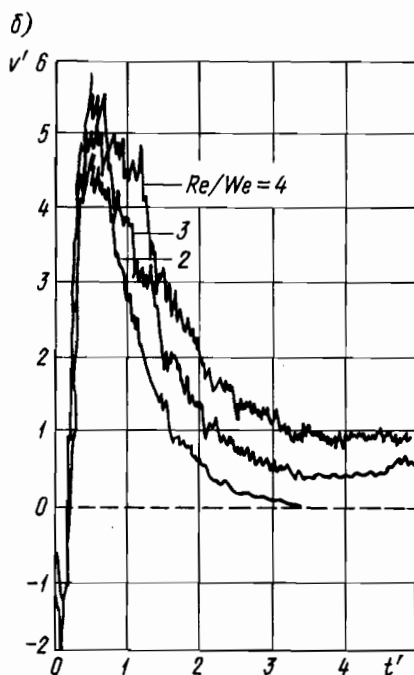
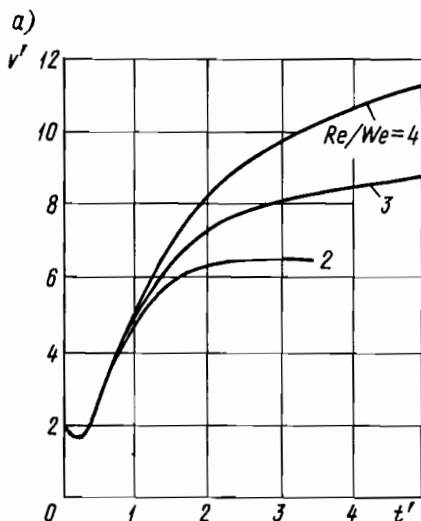


Рис. 4.13. Динамика изменения скорости ведущего фронта капли в ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением

$$\frac{Re}{We} = \sqrt{\alpha r / (\rho v^2)}, \quad (4.23)$$

где α , ρ , v — коэффициент поверхностного натяжения, плотность и кинематический коэффициент вязкости чернил; r — текущий радиус потока чернил в сопле при создании прямоугольного импульса давления; $r_0 = r$ — радиус сопла. Результаты, приведенные на рис. 4.12 и 4.13, получены в предположении несжимаемости чернил без учета акустического отражения волн давления внутри камеры и смачиваемости наружной торцевой поверхности сопла. На рис. 4.12 и 4.13 все параметры даны в безразмерных единицах; $t' = \frac{t}{t_0} = \frac{t}{\sqrt{\rho r^3 / \alpha}}$ — безразмерное время; t — текущее время;

$t_0 = \sqrt{\rho r^3 / \alpha}$ — базовое время; $v' = \frac{v}{v_0} = \frac{v}{\sqrt{\alpha / (\rho r)}}$ — безразмерная

скорость (v — текущая скорость); $v_0 = \sqrt{\alpha / (\rho r)}$ — базовая скорость; $r' = r / r_0$ — безразмерный радиус (r — текущий радиус); r_0 — радиус сопла; $h' = h / r_0$ — безразмерное расстояние (h — текущее расстояние капли от входного края сопла длиной $l = 2r_0$).

Таким образом (рис. 4.13), с увеличением отношения $Re/We = \sqrt{\alpha r / (\rho v^2)}$ при одном и том же создаваемом импульсе давления в чернилах получаются более высокие скорости капли. В случае $\alpha r / (\rho v^2) = 3$

отрыв капли происходит при $t' = 4,15$, а при $\alpha r_0 / (\rho v^2) = 4$ это время уменьшается до $t' = 3,95$.

С увеличением амплитуды импульса давления увеличивается и скорость движения ведущего фронта капли. Следует отметить, что если перейти к размерному времени t , то диапазон рассматриваемых величин t находится в пределах 100 мкс.

На рис. 4.12 сплошными линиями обозначены линии потока, а штриховыми — изобары давления.

4.3. РЕАЛИЗАЦИЯ ЭКСРУ С ЭМИССИЕЙ КАПЕЛЬ ИМПУЛЬСНЫМ ДАВЛЕНИЕМ. ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕГИСТРАЦИИ ИНФОРМАЦИИ

Полученные выше соотношения (4.13) и (4.19) связывают основные параметры пьезоэлектрического преобразователя и напряжение на его электродах с величиной создаваемого импульсного давления в рабочей жидкости ЭКСРУ. При проектировании пишущей головки (ПГ) принимаем во внимание, что эмпирически установленное соотношение между изменением объема камеры ПГ и объемом образуемой капли в первом приближении имеет вид $\Delta V \geq 3V_k$, где ΔV — изменение объема камеры ПГ в результате смещения стенок пьезоэлектрического преобразователя под действием входного электрического импульса; $V_k = \pi d_k^3/6$, где d_k — диаметр капли. В результате резкого расширения стенок канала ПГ в рабочей жидкости ЭКСРУ возникают явления типа гидродинамического удара. Образующая акустическая волна взаимодействует со свободной поверхностью мениска чернил, и из сопла в соответствии с ранее сказанным вылетает капля рабочей жидкости.

Выше уже были рассмотрены различные варианты конструкций пишущих головок ЭКСРУ ИД (см. рис. 1.10). На рис. 4.14 показаны базовые конструктивные исполнения [77] односопловых пишущих головок как с плоскими (рис. 4.14, а), так и с цилиндрическими (рис. 4.14, б) пьезоэлектрическими преобразователями. При работе таких ПГ возможно образование пузырьков воздуха в рабочей жидкости вследствие относительно большого объема чернил (рабочей жидкости) внутри камеры пишущей головки. Последнее снижает быстродействие и надежность работы ПГ, поэтому при разработке конструкции пишущей головки ЭКСРУ ИД стремятся снизить объем рабочей жидкости внутри нее и уменьшить объем выделяющихся микропузырьков воздуха. Для этого чернилами 6 заполняют эластичную трубку 5 относительно малого диаметра (рис. 4.15, а), с одной стороны соединенную посредством патрубков 7, 8 с резервуаром с чернилами, а с другой — с формирующим соплом 4. Трубку 5 размещают в дегазированной жидкости 2 [а. с. 903704 (СССР)], которая заливается в пространство, образованное поверхностями биморфных пьезокерамических пластин 1, наружной поверхностью эластичной трубки 5 с чернилами и диэлектрическим корпусом 3, и служит для передачи импульса давления. В исходном положении (рис. 4.15, а) внутренний объем эластичной трубки 5 и канал, заканчивающийся выходным соплом 4, заполнен чернилами (краской или другой рабочей жидкостью).

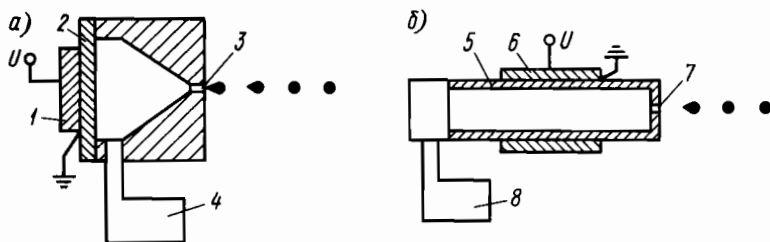


Рис. 4.14. Конструкции односопловых пишущих головок электрокаплевоструйных регистрирующих устройств с эмиссией капель импульсным давлением:

1 — пьезоэлектрический преобразователь; 2 — мембрана; 3 — сопло; 4 — резервуар с чернилами (рабочей жидкостью); 5 — трубка; 6 — цилиндрический пьезоэлектрический преобразователь; 7 — сопло; 8 — резервуар с чернилами

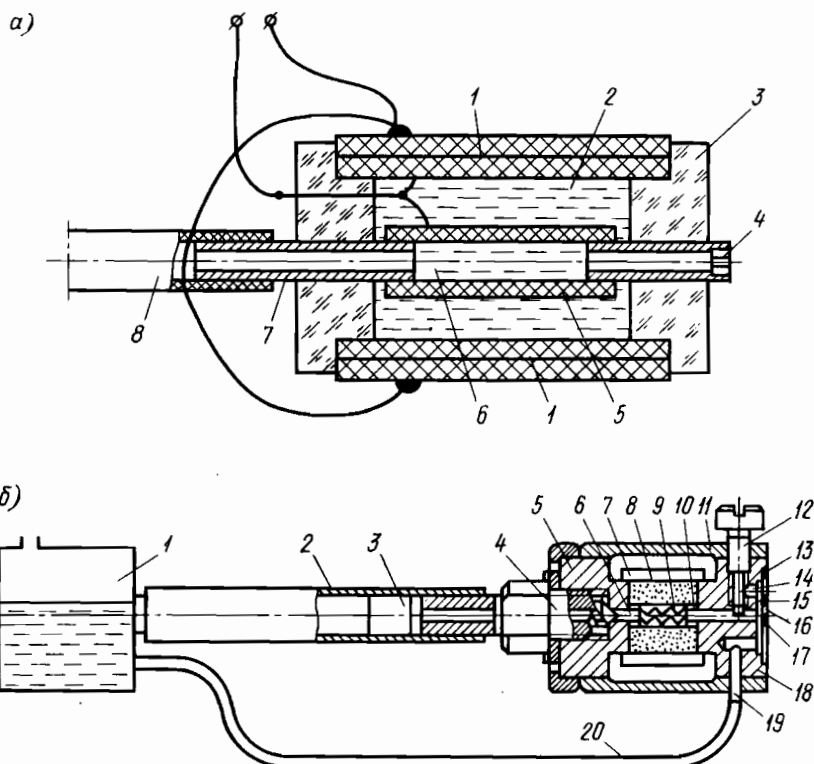


Рис. 4.15. Конструктивные способы увеличения надежности работы пишущих головок с эмиссией капель импульсным давлением

При приложении входного электрического сигнала (напряжения) на биморфные пьезокерамические пластины 1 последние изгибаются и возникающее при этом давление передается через дегазированную жидкость 2 к эластичной трубке 5 с чернилами 6. Трубка 5 деформируется (сжимается) и вследствие разных акустических сопротивлений между входным патрубком 7 и выходным патрубком с капиллярным соплом 4 происходит выброс капли чернил из сопла. Снятие входного импульса напряжения вызывает возврат биморфных пластин 1 и поверхности трубки 5 в исходное положение. Вследствие капиллярных сил при этом рабочий канал трубки 5 и канал с соплом 4 вновь заполняются чернилами, поступающими из резервуара (на рис. 4.15, а не показанного). Пишущая головка готова к приему очередного входного импульса напряжения.

Однако при повышении температуры окружающей среды вследствие расширения дегазированной жидкости 2 и температурных деформаций других элементов конструкции может произойти уменьшение внутреннего сечения эластичной трубки 5 вплоть до перекрытия ее внутреннего канала, что может нарушить работу ПГ. Кроме того, при длительном времени простоя ЭКСРУ ИД чернила в трубке 5 могут засохнуть и тогда для проведения профилактических работ необходимо разбирать пишущую головку.

В конструкции, показанной на рис. 4.15, а, затруднена заправка пишущей головки без пузырьков воздуха при первоначальной заливке дегазированной жидкости. Все это является недостатком конструкции.

Для увеличения надежности работы пишущей головки при повышении температуры и улучшения ремонтпригодности во внутреннем диаметре эластичной трубки располагают проволочную спираль 9, армирующую внутренний канал, в структуру ПГ вводят ручной микронасос, а также запорный клапан (рис. 4.15, б) [а. с. 1086344 (СССР)]. Дополнительная дегазированная жидкость вообще не применяется. Эластичная трубка 8 контактирует своей внутренней поверхностью с цилиндрическим пьезоэлементом 7. Пишущая головка содержит также (рис. 4.15, б) переднюю стенку 18 с центральным сквозным каналом 10, капилляром 17 и запорным клапаном 12, заднюю стенку 5 с центральным сквозным каналом 6 и запорным клапаном 4, рубашку 11, трубопровод 2 с ручным насосом 3.

Пластина 13 с капилляром 16 образует с передней стенкой щелевидную полость 15, которая через дополнительный канал 14 соединяется с каналом 10. В канале 14 установлен запорный клапан 12. Входной канал 19 через трубопровод 20 соединяется с резервуаром с чернилами 1. Для подготовки пишущей головки к работе открывают запорные клапаны 12 и 4, при помощи насоса 3 вручную первоначально заполняют чернилами ПГ через трубопровод 2, отверстие для прокачки запорного клапана 4, эластичную трубку 8 и дополнительный канал, соединяющий внутренний канал эластичной трубки 8 с полостью 15. Такая последовательность операций исключает возможность появления пузырьков воздуха в чернилах.

После первоначального заполнения пишущей головки чернилами закрывают запорные клапаны 12, 4 и ПГ, таким образом, подготовлена к работе. При этом объем внутренней инжектирующей камеры образуется

внутренним каналом эластичной трубки 8, ограниченный запорными клапанами 6 и 4. Внешняя же инжектирующая камера образуется щелевидной полостью 15 с поступившими в нее чернилами (за счет капиллярных сил) из резервуара 1 через трубопровод 20.

При поступлении входного импульса напряжения на электроды пьезоэлектрического преобразователя 7 объем внутреннего канала эластичной трубки 8 уменьшается (вследствие причин, рассмотренных выше), и происходит выброс капли чернил из внутренней инжектирующей камеры через капилляр 17, полость 15, капилляр 16 пластины 13. При снятии импульса напряжения с электродов ПЭП поверхность пьезоэлемента 7 занимает исходное положение, в полости 15 внешней камеры инжектора образуется разрежение и через трубопровод 20 под действием капиллярных сил происходит заполнение головки чернилами.

Такая конструкция пишущей головки (рис. 4.15, б) удобна в эксплуатации, поскольку легко реализуется промывка канала ПГ без разборки при засыхании чернил после длительных остановок в работе. Кроме того, исключается возможность перекрытия внутреннего канала эластичной трубки при повышении температуры окружающей среды за счет армирования внутреннего канала трубки проволоочной спиралью и отсутствия дополнительной дегазированной жидкости.

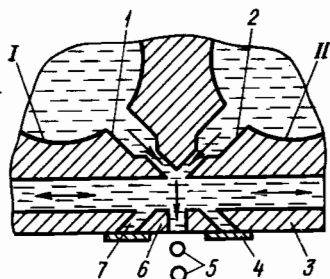
Пишущая головка с эмиссией капель импульсным давлением позволяет получать полутоновые изображения, поскольку диаметр капель зависит от амплитуды импульса напряжения на электродах ПЭП.

Для увеличения частоты каплеобразования (увеличения скорости печати) при конструировании ЭКСРУ ИД стремятся прежде всего уменьшить инерционность всех динамических звеньев, входящих в структуру пишущей головки. Так, например, для увеличения полосы пропускания частот пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) в качестве ПЭП используют пьезоэлектрическую диафрагму, выполненную из тонкой пленки флуорида поливинилидола $[(\text{CH}_2-\text{CF}_2)_n-]$ и расположенную против жесткой стенки камеры с чернилами, имеющей прямоугольную, цилиндрическую или сферическую форму [пат. 4282532 (США)]. Импульсы напряжения подают на пьезоэлектрическую пленку. Для скорейшего затухания акустических волн в чернилах в каналах устанавливают никелевую сетку, изготовленную с помощью электрогальваники [пат. 4233610 (США)], с диаметром отверстий от 1 до 50 мкм. Например, при диаметре подводящего канала 0,75 мм и диаметре сопла 50 мкм применена сетка с квадратными ячейками 7×7 мкм толщиной 10 мкм.

Для упрощения математической модели форма входных импульсов напряжения выше принималась прямоугольной. Однако при реализации ЭКСРУ ИД она, как правило, отличается от прямоугольной, например имеет клинообразный характер или состоит из серии таких импульсов различной амплитуды и длительности, что определяется конструктивными параметрами пишущей головки и параметрами рабочей жидкости.

При регистрации полутоновых изображений с помощью ЭКСРУ ИД возникает необходимость расширения диапазона изменения величины создаваемого в чернилах (краске) импульса давления. Для этого используют два пьезоэлектрических преобразователя с расположенными под

Рис. 4.16. Расширение диапазона создаваемого давления в ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением



углом соплами формирования потока чернил таким образом, чтобы при соударении этих потоков на выходе сопла пишущей головки (рис. 4.16) образовалась капля чернил [пат. 4201995 (США)]. Один ПЭП расположен в камере I, другой — в камере II таким образом, что создаваемые ими импульсы давления передаются через каналы 1 и 2, выполненные под углом друг к другу. При приложении напряжения к электродам пьезоэлектрических преобразователей из выходного сопла 6 выбрасывается капля 5 чернил. В торцевой пластине 3 пишущей головки выполнены камеры 4 и 7, расположенные против каналов 1 и 2 (соосно с ними) и закрытые тонкими эластичными мембранами толщиной 0,025—0,05 мм, сделанными, например, из синтетического материала милар.

Камеры 4 и 7 служат для поглощения импульсов давления, возникающих в рабочей жидкости (чернилах) при несогласованной работе ПЭП в камерах I и II или работе одного пьезоэлектрического преобразователя. При согласованной работе ПЭП результирующий импульс давления направлен по оси выходного сопла 6, и в результате образуется капля чернил, диаметр которой зависит от величины результирующего давления. Благодаря наличию камер 4 и 7 значение создаваемого давления можно изменять более чем в пять раз, что расширяет функциональные возможности ЭКСРУ ИД.

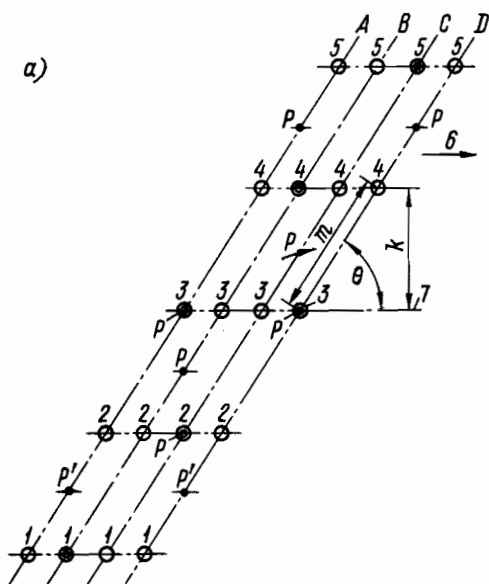
В ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением отсутствуют заряжающие, ускоряющие и отклоняющие электроды, что существенно упрощает конструкцию ПГ и позволяет осуществить миниатюризацию пишущей головки. Вследствие этого очень широко используются многосопловые ЭКСРУ ИД, что является одним из средств существенного увеличения быстродействия электрокаплевых регистрирующих устройств. Многосопловая пишущая головка может быть реализована на базе конструктивных принципов, показанных на рис. 4.16.

Одной из тенденций при реализации многосопловых ЭКСРУ ИД является повышение разрешающей способности за счет уменьшения расстояний между соплами. Как известно, от числа сопел и расстояния между ними зависит скорость регистрации информации и разрешающая способность. Однако при слишком малом расстоянии между соплами начинает сказываться влияние друг на друга пьезоэлектрических преобразователей при их одновременной работе, что вызывает изменение величины результирующего давления за счет интерференции звуковых волн в чернилах, и, как следствие, скорости капли на выходе и параметров каплеобразования. Например, из экспериментальных данных известно, что одновременное включение двух сопел, расположенных на расстоянии 1,25 мм друг от друга, вызывает увеличение скорости выпускаемых капель на 10 %, а однове-

менное включение трех сопел — на 20 %. Последнее обстоятельство снижает качество печати, особенно при регистрации цветных изображений, когда необходимо обеспечить одновременное достижение несколькими каплями (основных или дополнительных цветов) запечатываемой точки поверхности.

Поэтому при разработке многосопловых ЭКСРУ ИД стремятся уменьшить влияние преобразователей друг на друга как конструктивными, так и схемными средствами. Так, например, схемными средствами исключают возможность одновременного включения смежных ПЭП и таким образом устраняется влияние их друг на друга. На рис. 4.17, а иллюстрируется принцип построения ЭКСРУ ИД с таким способом улучшения качества регистрации информации (пат. 4395720 (США)). ЭКСРУ содержит

пишущую головку, сканирующую вдоль стрелки 6 перпендикулярно к направлению движения носителя информации. Пишущая головка имеет пять расположенных в ряд на расстоянии m друг от друга сопел 1—5, наклоненных относительно направления сканирования на угол θ . Причем $m \sin \theta = k$, где k — расстояние между соплами по вертикали. При сканировании слева направо ряд сопел последовательно переходит из положения А в положения В, С, D; в каждом положении системой управления включаются определенные сопла. Так, например, в по-



б)

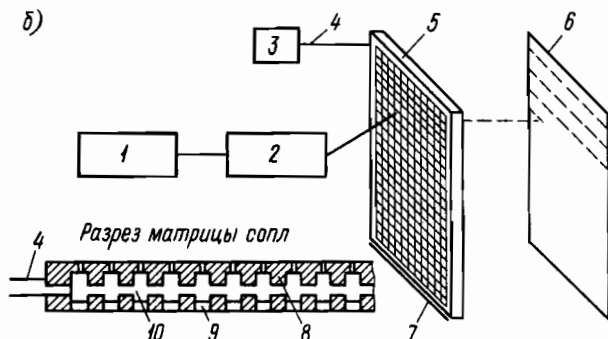


Рис. 4.17. Принципы построения многосопловых электрокаплевых регистрирующих устройств с эмиссией капель импульсным давлением

ложении *A* включается сопло 3, в положении *B* — сопла 1 и 4, в положении *C* — 2 и 5, в положении *D* — снова сопло 3 и т. д. Таким образом, исключается возможность одновременного включения двух смежных сопел, что в несколько раз увеличивает расстояние между одновременно работающими соплами и резко снижает взаимодействие между ними.

В настоящее время в ЭКСРУ ИД для создания импульса давления в рабочей жидкости применяют, как правило, пьезоэлектрические преобразователи. Однако последнее не исключает и других способов создания импульса давления в чернилах под действием управляющего сигнала с целью получения капли на каждый импульс. Тем более, что использование ПЭП накладывает и чисто конструктивные ограничения на предельно достижимые разрешающую способность и быстродействие многосопловых ЭКСРУ ИД. Для увеличения быстродействия и разрешающей способности перспективен способ эмиссии капель с использованием импульсных лазеров, при котором энергия луча лазера непосредственно (без использования подвижных электромеханических и механических элементов) преобразуется в энергию вылетевшей капли чернил (краски, рабочей жидкости). При этом при малых расстояниях между соплами можно существенно упростить конструкцию пишущей головки. На рис. 4.17, б показан принцип реализации такого устройства [а. с. 987647 (СССР)], которое содержит блок управления печатью, состоящий из импульсного лазера 1 с устройством управления 2 отклонением луча лазера. Рабочая жидкость (чернила) устройством 3 через патрубок 4 подается в матрицу 7 из нескольких рядов камер 10 с выходными капиллярными соплами 8, размещенными в корпусе 5. Противоположная каждому соплу 8 стенка 9 камеры 10 выполнена из прозрачного для луча лазера материала. Рабочая жидкость (чернила) в камере 10 находится под давлением, недостаточным для преодоления сил поверхностного натяжения чернил на выходе сопел 8.

При работе устройства, приведенного на рис. 4.17, б, луч импульсного лазера с помощью отклоняющей системы 2 через прозрачную стенку 9 одной из камер 10 матрицы 7 попадает в чернила. Вследствие светогидравлического эффекта в чернилах (рабочей жидкости) возникает импульс давления, приводящий к выбросу капли на запечатываемую поверхность 6. Достоинством такого ЭКСРУ ИД помимо вышеназванных является отсутствие подвижных электромеханических и механических элементов, что повышает надежность функционирования таких электрокапельструйных регистрирующих устройств.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОКАПЛЕСТРУЙНЫХ РЕГИСТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

5.1. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ (ЧЕРНИЛ, КРАСКИ) И МАТЕРИАЛОВ В ЭКСРУ

К рабочим жидкостям (чернилам, краске), используемым в ЭКСРУ, предъявляются многочисленные, и в ряде случаев противоречивые, требования. Эти требования зависят и от используемого в ЭКСРУ способа эмиссии капель. Однако для всех типов ЭКСРУ можно выделить и ряд общих требований. Это прежде всего способность чернил (краски) не засыхать в сопловой головке при длительной остановке ЭКСРУ и в то же время быстро сохнуть на носителе информации. Чернила должны обладать малой вязкостью, легко дробиться на капли, причем желательно без сателлитов, или образовывать быстрые сателлиты, сливающиеся в полете с основными каплями, они должны быть нетоксичными. Кроме того, при регистрации цветных изображений чернила должны удовлетворять определенным колориметрическим и оптическим характеристикам, для того чтобы достоверно передавать различные цветовые оттенки.

Физические принципы каплеобразования и сообщения зарядов каплям, положенные в основу работы ЭКСРУ с эмиссией капель электростатическим полем и высоким давлением, определяют требование обеспечения высокой проводимости чернил (краски), а в ЭКСРУ с эмиссией капель электростатическим полем и высоким давлением, определяют требование обеспечения высокой проводимости чернил (краски), а в ЭКСРУ с эмиссией капель электростатическим полем — и большого коэффициента поверхностного натяжения. В этих типах ЭКСРУ используются, как правило, рабочие жидкости на водной основе. В ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением обеспечение высокой проводимости чернил (краски) необязательно, поскольку регистрация информации осуществляется без сообщения заряда каплям и без их отклонения в электрическом поле.

Во всех рассмотренных типах ЭКСРУ необходимо при их разработке максимальным образом исключить попадание чернил на близлежащие элементы конструкции, но, коль скоро полностью это сделать невозможно, следует выбрать такие чернила и материалы элементов конструкции, которые бы не вступали в химические взаимодействия между собой.

Общим требованием для всех типов ЭКСРУ является и обеспечение тщательной фильтрации используемых в них рабочих жидкостей (чернил, краски), чтобы исключить засорение малых отверстий (диаметром в несколько десятков микрометров) сопл. Кроме того, необходимо предусмотреть возврат и фильтрацию капель чернил, попадающих в улавливатель, обратно в резервуар с чернилами.

На рис. 5.1, а в качестве примера показана гидравлическая схема циркуляции чернил (краски) в ЭКСРУ ВД, разработанная фирмой IBM [44].

Из сменного резервуара 1 чернила через пузырьковую камеру 21, в которой пузырьки газа отделяются от чернил и отводятся через клапан 22; фильтр 20 и пузырьковую камеру 2 поступают к насосу 3. С выхода насоса чернила далее подаются через фильтр 4, трубку 5, клапан 6, фильтр тонкой очистки 7 в генератор капель 8. На выходе сопла струя чернил дробится на капли, и в соответствии с сигналами схемы управления ЭКСРУ заряжающий электрод 9 сообщает необходимый заряд соответствующим каплям. Проходя поле отклоняющих электродов 10, отклоненные капли попадают на носитель информации 11, а неотклоненные — в улавливатель 13. Фильтр тонкой очистки 7 конструктивно расположен непосредственно в генераторе капель.

Попавшие в улавливатель 13 капли накапливаются в отстойниках 14, 15 и насосом всасываются через сетку 17 по возвратному каналу 18 обратно в резервуар. При этом в случае наличия отсечного клапана 19 они проходят через него. В верхней части отстойника 14 имеется воздушный канал 12.

Поскольку время цикла насоса определяется частотой его напряжения питания, то гидравлический фильтр 4 служит, в частности, для устранения пульсаций давления в канале подачи чернил к генератору капель. Клапан 6 потока служит для поворота генератора капель таким образом, чтобы капли при включении и отключении насоса попадали в ловушку и при этом не попадали на ближайшие поверхности элементов конструкции ЭКСРУ и не загрязняли их. Для этих же целей используется экран 16, предохраняющий попадание мелких брызг, которые могут образоваться при соударении капли с запечатываемой поверхностью. Конструктивно клапан 6 потока размещается в непосредственной близости от генератора капель.

Сменный резервуар с чернилами 1 снабжен самозапечатающимися резиновыми пробками, что обеспечивает его быструю замену (резервуар 1 содержит около 170 г чернил). При смене резервуара две медицинские иглы протыкают эти резиновые пробки, при этом через одну из игл обеспечивается поступление чернил к насосу, а через другую — возврат чернил из улавливателя обратно в резервуар 1. Для исключения попадания газа и других посторонних включений в канал подачи чернил резервуар 1 заменяется до того, как все чернила в нем будут использованы. Следует подчеркнуть, что состав чернил должен быть таким, чтобы в нем отсутствовали всякого рода грибковые и бактериологические развития, которые могут привести к закупорке канала сопла.

Для увеличения надежности работы канала возврата чернил обратно в резервуар трубка 3 (рис. 5.1, б) системы рециркуляции чернил выполнена

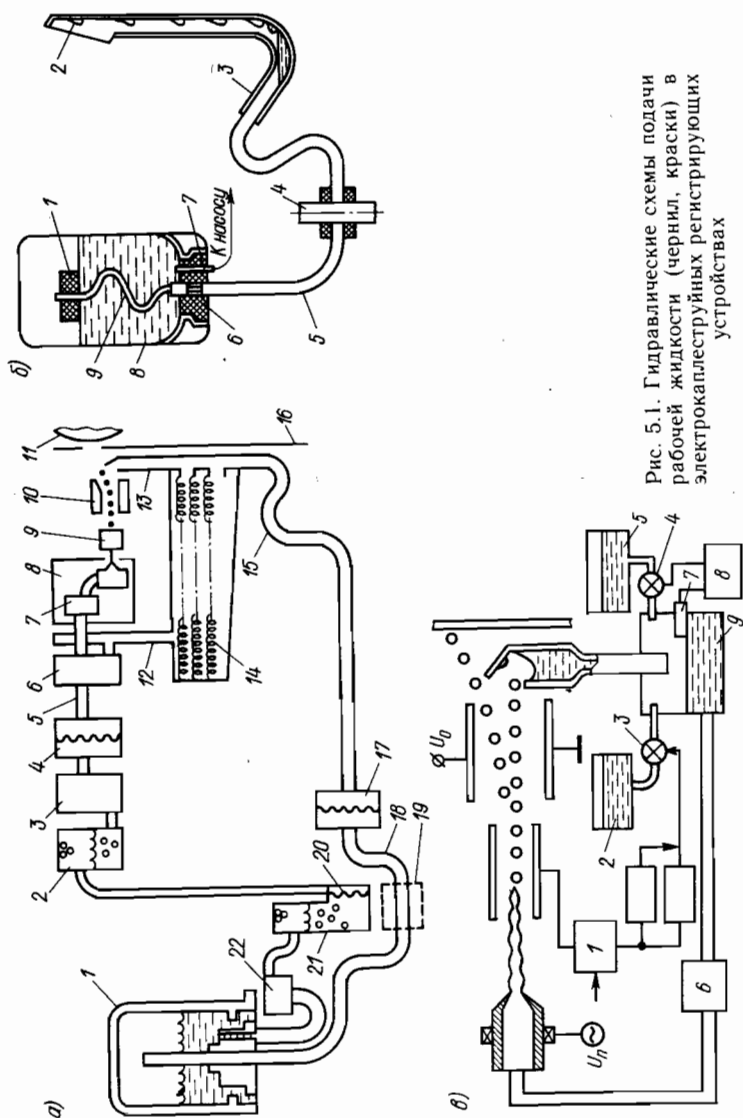


Рис. 5.1. Гидравлические схемы подачи рабочей жидкости (чернил, краски) в электрокаплевых регистрирующих устройствах

из эластичного материала [а. с. 1046125 (СССР)] и соединена своим верхним свободным концом с пенопластовым поплавком 1, а нижним — подсоединена к донному отверстию 6 резервуара 8 с чернилами. Попадающие в улавливатель 2 капли чернил стекают вниз и по заполнении колена 3 по трубке через фильтр 4 и трубопровод 5 поступают в трубку 9. При работе насоса через отверстие 7 чернила откачиваются из резервуара 8 и подаются через систему фильтров и воздухоотделителей к генератору капель. При этом в верхней части резервуара 8 создается разрежение и чернила из улавливателя всасываются в резервуар.

На качество отображения информации ЭКСПУ сильно влияет концентрация чернил, поэтому используют соответствующие датчики, основанные на контроле их вязкости или электрического сопротивления чернил. Однако выходной сигнал таких датчиков в большой степени зависит от температуры. Для уменьшения этого недостатка предложена [пат. 4337468 (США)] система автоматического поддержания концентрации чернил (рис. 5.1, в), которая содержит два поочередно работающих счетчика заряженных капель, уровнемер 8, датчик 7 которого находится в резервуаре с чернилами 9.

Счетчики поочередно подсчитывают число капель чернил, попадающих на носитель информации. Когда оно достигнет заранее заданной величины, открывается клапан 3 на время, достаточное для подачи в резервуар 9 из резервуара 2 определенного количества свежих чернил, компенсирующих чернила, ушедшие на печать (чернила, попадающие в улавливатель, возвращаются обратно в резервуар).

В процессе работы ЭКСПУ из чернил испаряется растворитель, и вследствие этого их уровень в резервуаре 9 будет постоянно снижаться и изменяться концентрация. Как только уровень чернил в резервуаре 9 станет ниже определенной величины, уровнемер 8 откроет клапан 4, и из резервуара 5 начнет поступать растворитель до тех пор, пока в резервуаре 9 не установится заданный уровень жидкости, а следовательно, и концентрация чернил. На рис. 5.1, г 1 — система управления, 6 — блок фильтрации и газоотделения.

В электрокапеструйных регистрирующих устройствах могут быть использованы самые разнообразные по своей физико-химической природе чернила. Действительно, если использовать ЭКСПУ для изготовления печатных плат, нанесения рисунков или текста на металлические или керамические изделия, то применяются металлические чернила. Например, состав металлических чернил может быть следующий: 50 частей висмута; 26,7 частей свинца; 13,3 частей олова и 10 частей кадмия с температурой плавления 75,5 °С [пат. 4283730 (США)].

О применении чернил на водной основе говорилось выше.

В зависимости от типа используемых чернил на поверхностях отклоняющих электродов должно быть несмачивающееся чернилами покрытие. Если применяются металлические чернила, то таким покрытием может быть стекло, а в случае использования чернил на водной основе в качестве несмачивающегося диэлектрического покрытия могут быть использованы полиэтилен, полипропилен и другие органические материалы.

При реализации ЭКСПУ с учетом выбранных параметров чернил необходимо предусмотреть меры по исключению засыхания чернил в сопле, по уменьшению вероятности их попадания на элементы узлов в процессе остановки и пуска ЭКСПУ, а также рациональным образом подобрать материалы узлов электрокаплевых устройств с целью уменьшения физико-химических взаимодействий между ними и попавшими на них чернилами.

Уменьшение вероятности загрязнения чернилами (краской) близлежащих поверхностей деталей в ЭКСПУ достигается, как правило, механическими средствами за счет соответствующих конструктивных решений. Например, применяют перемещаемый улавливатель, который при пуске и остановке подводится вплотную к соплу, что обеспечивает попадание всех чернил в улавливатель даже при нестабильности истекающей из сопла капельной струи [пат. 4305079 (США)]. Для исключения попадания капель чернил на заряжающие и отклоняющие электроды при пуске и остановке ЭКСПУ ВД на рис. 5.2, а изображен другой конструктивный вариант реализации этой идеи [пат. 4266231 (США)]. Например, в ряде конструкций пишущей головки ЭКСПУ ВД максимальное расстояние между каплями чернил и заряжающим электродом не превышает 0,125 мм, что иллюстрирует актуальность этой проблемы. В устройстве, показанном на рис. 5.2, а, отклоняющий электрод сделан убирающимся, а для улавливания капель чернил при пуске или остановке ЭКСПУ ВД применяется дополнительный улавливатель, который может перемещаться в горизонтальном направлении.

Вытекающая из сопловой головки 2 генератора капля 1 (рис. 5.2, а) с ПЭП струя чернил дробится на капли; соответствующие капли заряжаются электродом 3 и,

проходя между отклоняющими пластинами 4 и 9, отклоняются и попадают в улавливатель 8. Незаряженные капли 7 попадают на запечатываемую поверхность бумаги, расположенной на перемещающемся ремне 5. В ремне имеются прорезы для прохода дополнительного улавливателя 6, который расположен сзади носителя информации. Дополнительный улавливатель представляет собой длинную тонкую трубку, оканчивающуюся вакуумной камерой.

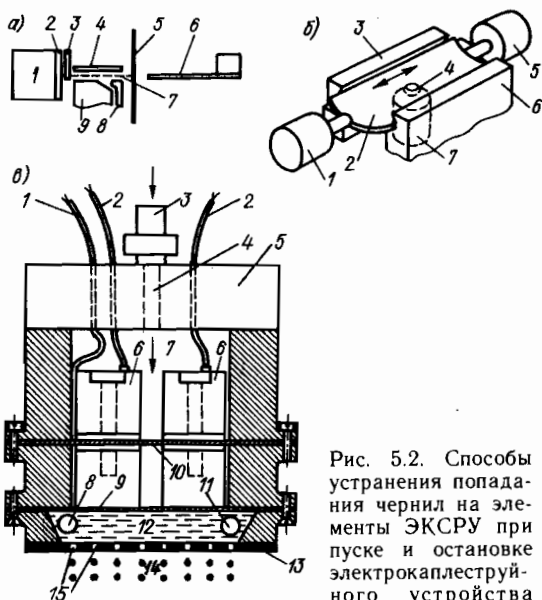


Рис. 5.2. Способы устранения попадания чернил на элементы ЭКСПУ при пуске и остановке электрокаплевых устройств

При остановке ЭКСРУ перемещение ремня 5 прекращается и заряжающий электрод 3 начинает заряжать все капли чернил, которые затем отклоняются электродами 4 и 9 в улавливатель 8. В это же время дополнительный улавливатель 6 перемещается в горизонтальном направлении до тех пор, пока входное отверстие улавливателя 6 не окажется над улавливателем 8. После этого заряжающий электрод отключается от источника напряжения и убирается вверх.

При удаленном отклоняющем электроде капли чернил имеют прямолинейную траекторию и попадают внутрь трубки дополнительного улавливателя 6, который вновь перемещается в горизонтальном направлении до тех пор, пока не достигнет сопла. После этого подачу чернил в пишущую головку прекращают, а вытекающие из сопла чернила будут отсасываться дополнительным улавливателем 6.

Пуск ЭКСРУ осуществляется в обратной последовательности.

Устранить попадание чернил на элементы конструкции во время пуска и остановки ЭКСРУ можно закрытием в этих режимах проходного сечения сопла механическими средствами (рис. 5.2, б). Для этого используют [пат. 4199767 (США)] тонкую упругую заслонку 2 с отверстием 4 аркообразной формы, выполненную из синтетического материала милар толщиной 0,0635 мм. Заслонка может скользить по направляющим 3 и 6, причем перемещение ее осуществляется с помощью двух импульсных электромагнитов 1 и 5.

Упругая заслонка 2 может занимать два положения, при одном из которых она закрывает выходное отверстие сопла 7, а при другом — против отверстия сопла 7 находится отверстие 4 упругой заслонки 2. Во время включения и отключения ЭКСРУ, когда струя капель чернил становится неуправляемой, упругая заслонка 2 закрывает сопло 7 и тем самым исключает прохождение через него чернил. Эксперименты показали, что миларовая заслонка толщиной 0,0635 мм может выдержать давление 0,5 МПа в течение 30 мин без каких-либо следов утечки чернил.

Для предотвращения засыхания чернил в сопле при длительной остановке или транспортировке ЭКСРУ применяются различные методы очистки торцов и канала сопла от остатков чернил [пат. 1562878 (Великобритания); пат. 4283730 (США); пат. 57—22064 (Япония); пат. 57—22063 (Япония); пат. 4306245 (США); пат. 4401990 (США)]. Например, через канал сопла даже при отсутствии потока чернил засасываются пузырьки воздуха, которые и очищают его от остатков рабочей жидкости, или же пространство между сопловой головкой и улавливателем герметизируют, оставляя лишь небольшое отверстие для прохода капель чернил к носителю информации и обеспечивая непрерывную рециркуляцию газа или воздуха в этом пространстве. В процессе работы газовая среда в этом пространстве быстро насыщается парами растворителя и дальнейшее ее испарение из чернил будет исключено. Разрежение воздуха в зоне торца сопла (для отсоса чернил из сопла и исключения их засыхания во время транспортировки ЭКСРУ) может быть осуществлено от пневматического устройства, смонтированного внутри насадки сопловой головки.

Торцы сопел очищаются от чернил (краски) и просушиваются с помощью специального узла очистки. В нем с помощью жидкости смывают

чернила с торцов сопел, а подачей газа осушивают переднюю плоскость головки после промывки. После завершения цикла очистки и сушки привод возвращает в исходное состояние сначала узел очистки, а затем блок зарядных электродов многосоплового ЭКСРУ ВД.

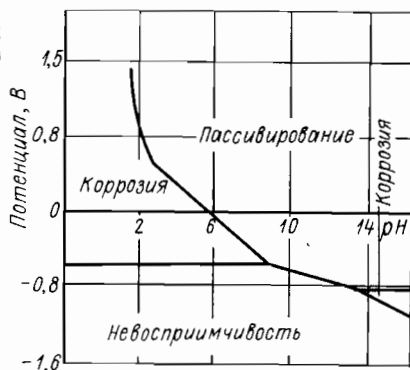
Возможны и другие конструктивные исполнения очищающих и промывающих узлов ЭКСРУ. Во время регистрации информации пищевая головка сканирует перпендикулярно к движению носителя информации, а после работы убирается внутрь (в исходное положение). При возвращении пищевой головки в исходное положение ее сопла проходят мимо очищающего устройства, выполненного в виде щитка, а в исходном положении торцы сопел упираются в пористый материал, пропитанный растворителем. В качестве пористого материала может служить пенополиуретан или пенополиэтилен, а в качестве растворителя — многоатомный спирт, например диэтиленгликоль или глицерин. Выше уже отмечалось, что снижение давления в камере пищевой головки при выключении ЭКСРУ ВД приводит к нестабильности выходящей из сопла струи чернил, которые могут попасть на находящиеся рядом элементы и вывести их из строя. Аналогичные проблемы возникают и при включении пищевой головки, когда давление в ней постепенно нарастает. Для исключения этого явления, а также для устранения возможности засыхания чернил в сопле при длительной остановке ЭКСРУ разработана конструкция многосопловой пищевой головки ЭКСРУ ВД [пат. 4390883 (США)], представленная на рис. 5.2, в.

Пищевая головка содержит чернильную камеру 12, закрытую сверху эластичной диафрагмой 9. Чернила (краска) поступают в чернильную камеру по трубке 8 и выводятся через трубку 11. При работе пищевой головки мембрана 9 прилегает к пьезоэлектрическим преобразователям (ПЭП) 6, напряжение к которым подводится посредством проводов 1 и 2. При подаче переменного напряжения к электродам 1 и 2 ПЭП выходящие из сопел 15 струи чернил дробятся на капли 14 с частотой напряжения на электродах ПЭП. Пьезоэлектрические преобразователи 6 находятся в пневматической камере 7, куда может поступать сжатый под давлением воздух через патрубок 3 и канал 4, выполненный в корпусе 5.

При регистрации информации пневматическая камера 7 соединена посредством электропневматического распределителя (на рис. 5.2, в не показанного) с атмосферой. При остановке пищевой головки (остановке ЭКСРУ ВД) в пневматическую камеру подается сжатый воздух, который, проходя через отверстие 10, прижимает эластичную мембрану 9 к пластине 13 с соплами 15. После этого насос, подающий чернила в пищевую головку, отключается.

Однако полностью исключить вероятность попадания чернил (краски) на близлежащие поверхности деталей ЭКСРУ затруднительно. Поэтому при конструировании ЭКСРУ необходимо предусмотреть выбор таких материалов элементов конструкции электрокаплеструйных устройств, которые бы не вступали в физико-химические взаимодействия с чернилами. Последнее тем более актуально, что в рабочем цикле электрокаплеструйной регистрации информации рабочая жидкость (чернила, краска) находится в прямом контакте с материалами трубопроводов,

Рис. 5.3. Влияние величины рН в чернилах (краске) ЭКСРУ на коррозию металлов



насосов, фильтров, клапанов, пишущей головки, которые могут быть выполнены из металла, резины, керамики и различного рода пластмасс. Естественно, что для нормального функционирования ЭКСРУ данные материалы должны быть совместимы с рабочей жидкостью, т. е. не подвергаться коррозии и другим физико-химическим воздействиям, влияющим на их прочность и долговечность, не загрязнять чернил, не влиять на параметры чернил (вязкость, поверхностное натяжение, проводимость, величину рН и т. д.), а также не образовывать в чернилах различных коллоидных включений, которые могли бы привести к закупорке с течением времени проходных сечений сопл.

С учетом воздействия чернил на материалы, из которых изготовлены узлы ЭКСРУ, спиртовые чернила обычно имеют число рН от 8 до 10. Такие чернила к тому же распыляются на бумажном носителе информации меньше, чем чернила с более низким рН. Величина рН в чернилах (краске) влияет и на устойчивость против коррозии металлических поверхностей. У некоторых металлов (например, аустенитных коррозионно-стойких сталей) при соприкосновении с водными растворами (которыми являются, как правило, широко применяемые рабочие жидкости ЭКСРУ) на поверхностях образуются оксидные пленки, защищающие от коррозии, т. е. происходит так называемая пассивация [42], которая зависит от величины рН чернил. Увеличение рН в чернилах способствует увеличению пассивации стандартных аустенитных коррозионно-стойких сталей. Однако в чернилах в компонентах красителя содержится хлористый натрий, что может привести к локальным повреждениям самопроизвольно образующихся защитных оксидных пленок на металлических поверхностях при воздействии на них ионов хлора и вызвать точечную коррозию металлов, которая ничуть не безопаснее, чем общая коррозия.

На рис. 5.3 в качестве примера приведена диаграмма, полученная [42] для стандартной аустенитной коррозионно-стойкой стали, содержащей 18 % хрома и 8 % никеля, показывающая, что спонтанная пассивация происходит при определенной величине рН.

Величина рН чернил также влияет на сопротивляемость растворению или коррозии керамических материалов пьезоэлектрических преобразователей ЭКСРУ и других элементов конструкции.

Проведенные в работе [42] специальные исследования взаимодействия чернил с различными материалами ЭКСРУ позволяют сделать следующие рекомендации по выбору материалов элементов электро-

каплеструйных устройств, совместимых с используемыми в них рабочими жидкостями.

Наиболее предпочтительным металлом для использования в элементах ЭКСРУ, соприкасающихся с чернилами, является аустенитная коррозионно-стойкая сталь, которая дает удовлетворительную защиту от всех форм коррозии. Если металлические части непродолжительное время соприкасаются с чернилами, то для предотвращения их от коррозии на оксидный слой гальванически наносят тонкую пленку из хрома (для углеродистых сталей). Для коррозионной защиты алюминиевых поверхностей последние подвергаются анодной обработке. Цинковые и никелевые защитные покрытия являются неприемлемыми для ЭКСРУ.

Покрытие металлических поверхностей производится последовательно с пассивацией металлов при повышенных значениях pH.

В качестве полимерных материалов в ЭКСРУ, совместимых с чернилами, могут быть использованы следующие термопластические формовочные сплавы: полипропилен, полиэтилен, полиэстер, ацеталь, полистерин-полифенулен. Эти материалы химически устойчивы к действию органических составляющих чернил даже при их высоких концентрациях. Подходящими являются и такие термореактивные формовочные сплавы, как фенол и эпоксид. Полимеры, не подвергающиеся гидролизу, например ацетат целлюлозы, также могут быть рекомендованы в качестве конструкционных материалов ЭКСРУ.

Резиновые детали (уплотнение в насосе, прокладки и т. п.) должны быть выполнены на кремниевой, этиленпропиленовой или фторопластовой основе, а трубопроводы для чернил изготовлены из полиэтиленвинилацетата. Связывающие вещества и наполнители должны содержать эпоксиды и кремний.

В качестве керамических материалов наиболее устойчивым к воздействию чернил, по данным работы [42], оказался оксид циркония, содержащий стекло из силиката циркония, сопротивляющееся растворению керамики щелочами, имеющимися в чернилах.

Свинцовые (или основанные на цинке) силиконовые стекла и сплав кобальт — никель — железо являются адгезионными для керамико-металлических или керамико-керамических связей и подвержены сильной коррозии в чернилах (особенно при высоких температурах).

При конструировании ЭКСРУ необходимо исключить возможность гальванической коррозии, для чего электрический потенциал чернил целесообразно выбирать отрицательным.

При испарении чернил пары оседают на торце сопла пишущей головки, причём осадок содержит карбонат кальция и силикат алюминия, а его количество зависит от концентрации осаждающихся ионов в чернилах, температуры и влажности окружающей среды, а также от времени простоя ЭКСРУ. Для предотвращения образования осадка из кальция на торце сопла (помимо вышеназванных способов очистки торцов и сопел) в чернила добавляется специальный компонент, поддерживающий концентрацию ионов силиката и алюминия на удовлетворительном уровне.

Если в ЭКСРУ применены сильфонные насосы, содержащие никелевые сильфоны с толщиной стенок в несколько микрометров и управляемые

от электромеханических преобразователей, то для предохранения сифонов от коррозии и возможного электрического пробоя на них от близлежащих токоведущих частей насоса сифоны необходимо покрыть тонкой пленкой из полимерного материала.

При работе насосов ЭКСРУ с выбранными на основе вышеприведенных рекомендаций материалами их узлов, совместимых с чернилами, необходимо уменьшить трение и износ металло-полимерных пар. Проведенные исследования для пар коррозионно-стойкая сталь — полимер (ацеталь, полиэфир, полифенулен сульфид — PPS) показали [41], что в чернилах на водной основе величина трения в парах уменьшается, однако при использовании в качестве полимера полифенулена сульфида (PPS) величина трения больше, чем в случае применения полиэфира или ацетала. Добавление в полимер графита уменьшает трение в парах при наличии чернил на водной основе. В экспериментах использовались чернила с $\text{pH}=7$, состоящие из 77 % воды, 10 % антифрикционного вещества, 5 % краски, остальное — органические смеси. Поверхностное натяжение чернил составляло $40 \cdot 10^{-3}$ Н/м, а динамический коэффициент вязкости — 2 мПа·с.

5.2. МНОГОСОПЛОВЫЕ И МАТРИЧНЫЕ ЭКСРУ

Для увеличения скорости регистрации информации, разрешающей способности, а также для регистрации цветных изображений в электрокапеструйных устройствах используются многосопловые пишущие головки. Не останавливаясь на многочисленных конструктивных исполнениях таких ЭКСРУ, отметим лишь характерные принципы построения многосопловых электрокапеструйных регистрирующих устройств с различными способами эмиссии капель.

Выше уже отмечалось, что в односопловых ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением и синхронизацией дробления струи очень часто регистрация информации осуществлялась заряженными каплями, а незаряженные капли отводились в улавливатель. В многосопловых ЭКСРУ, как правило, одновременно запечатывается вся ширина носителя информации при перемещении последнего мимо ряда сопел, поэтому отпадает необходимость в последовательном формировании изображения путем отклонения заряженных капель на величину, пропорциональную их заряду. В этом случае регистрацию информации осуществляют незаряженными каплями, а неиспользуемые для формирования изображения капли заряжают с помощью заряжающего устройства и отклоняют в улавливатель. После завершения печатания строки запечатываемый материал передвигается на один шаг.

По такому принципу построено многосопловое электрокапеструйное устройство системы ДИДЖИТ [65].

Использование незаряженных капель для регистрации информации имеет ряд существенных преимуществ перед способом печати заряженными каплями. Это прежде всего снижение требований к синхронности каплеобразования и сообщения заряда каплям и упрощение систем управления процессом капеструйной регистрации.

Рис. 5.4, а [52] иллюстрирует принцип многосопловой печати незаряженными каплями. На пластине 1 имеется ряд сопл, из которых истекают струи чернил (краски), дробящиеся на капли в зоне зарядных электродов, выполненных на пластине 6. Капли 2, не участвующие в формировании изображения на носителе информации 4, получают заряд, отклоняются электродом 5 и попадают в улавливатель. При этом регистрация информации осуществляется незаряженными каплями 3.

В фирме «Мид Корпорэйшн» (*Mead Corp.*, США) для запечатывания всей страницы использовали стационарные решетки из сопл, расположенных в шахматном порядке. При этом скорость печати достигала 1000 страниц в минуту. Для более низких скоростей регистрации (50—100 страниц в минуту) в работе [52] разработана конструкция многосоплового ЭКСРУ ВД (рис. 5.4, б) для печати с использованием движущейся по направляющей 11 пишущей головки 8. На рис. 5.4, б, кроме того, использованы следующие обозначения: 10 — гибкий кабель; 9 — носитель информации (бумага); 7 — блок управления, предназначенный для регулирования движением пишущей головки и скорости капель и включающий в себя устройства очистки, в том числе очистки сопла от чернил при длительной остановке ЭКСРУ. Регистрация информации осуществляется при движении головки как в прямом, так и в обратном направлении, при этом носитель информации 9 перемещается на шаг при изменении направления движения пишущей головки.

Более подробное конструктивное исполнение пишущей головки 8 показано на рис. 5.4, в. Многосопловая пишущая головка содержит пластину 16 с соплами, прикрепленную к стеклянному корпусу 17, на обратной стороне которого закреплен пьезоэлектрический преобразователь, выполненный в виде тонкого пьезокерамического диска 18. В корпусе 17 предусмотрено отверстие 15 для подвода чернил под постоянным давлением, создаваемым насосом, и выполнена емкость 19 для чернил (краски). Таким образом, реализуется генератор капель 14.

Пишущая головка, кроме того, содержит пластину 20 с заряжающими электродами (рис. 5.4, г), размещенную в зоне отрыва капель от вытекающих из сопл струй рабочей жидкости ЭКСРУ ВД; пористую отклоняющую пластину 13, на которую подается высоковольтное отклоняющее напряжение U_0 постоянной величины, и ловушку капель 12. Таким образом, процессы сообщения заряда и отклонения капли в данном устройстве аналогичны ранее рассмотренным в гл. 3 физическим процессам для односопловой ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением (рис. 5.4, д) с той лишь разницей, что в многосопловом ЭКСРУ ВД регистрация информации осуществляется незаряженными каплями, а заряженные капли отклоняются на слив (падают в улавливатель). На рис. 5.4, д обозначены: 21 — сопло; 22 — заряжающий электрод, на который подается напряжение U_z в случае, если необходимо отклонить каплю в улавливатель; 23 — отклоняющая пластина; 24 — носитель информации; 25 — заземленный пористый улавливатель отклоненных капель.

При изготовлении генератора капель система сопл реализуется методом травления кремниевой пластины в виде отверстий, имеющих форму усеченной пирамиды с квадратной формой выходных отверстий, причем

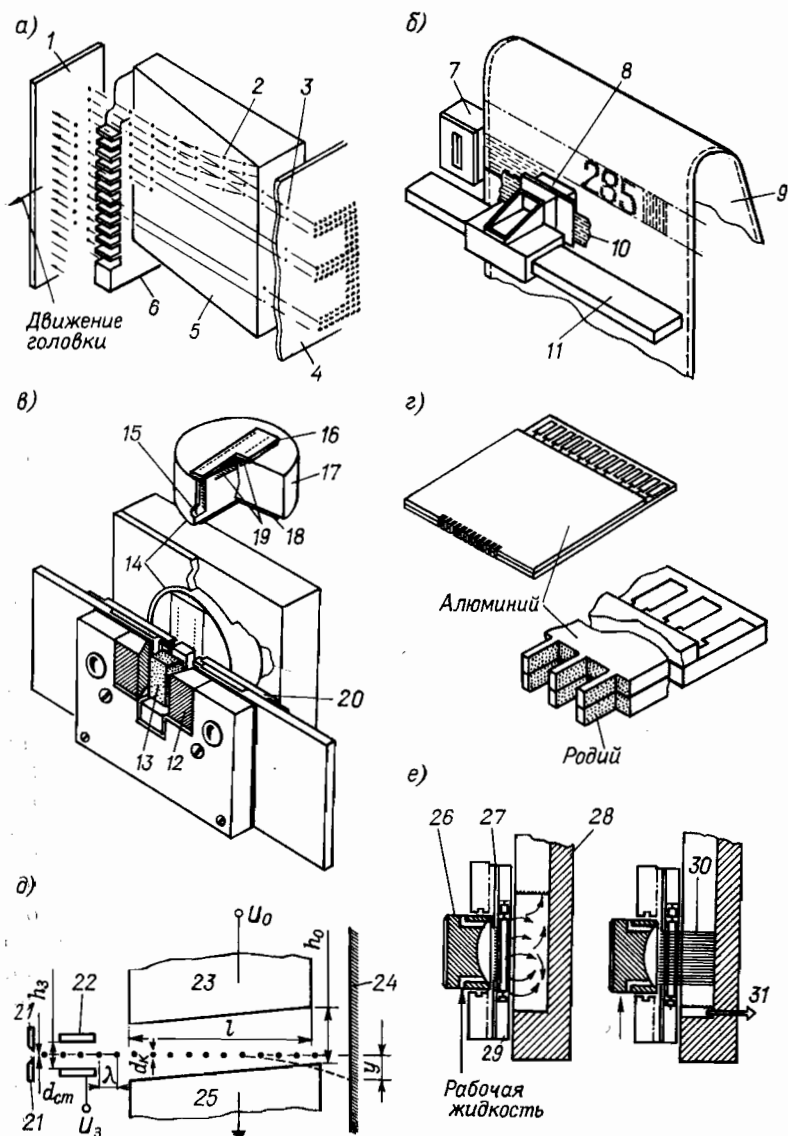


Рис. 5.4. Принципы построения многосопловых электрокаплевых устройств с эмиссией каплей высоким давлением и регистрацией незаряженных каплей [52]

в качестве материала используются тонкие кремниевые субстраты, позволяющие выполнять сопла с расстоянием между центрами около 0,2 мм. Точность изготовления сопел очень высока; так, например, при вязкости чернил $2 \cdot 10^{-6}$ м²/с отклонение площадей выходных отверстий сопел не должно превышать $\pm 6\%$, что определяет допустимое отклонение линий при фотолитографии $\pm 0,6$ мкм [52]. При указанных выше конструктивных параметрах сопел практически невозможно добиться каплеобразования без капель-сателлитов, что и положено в основу работы пишущей головки данного многосоплового ЭКСРУ ВД.

Как уже подчеркивалось, регистрацию информации можно осуществлять только сателлитами, а основные капли отклонять на слив. Последнее позволяет существенно увеличить разрешающую способность ЭКСРУ.

Заряжающие электроды выполнены в виде щелей (рис. 5.4, з), пропиленных по краю керамической пластины. Поверхности щелей металлизированы, изолированы друг от друга и соединены со схемой управления с помощью печатного монтажа, выполненного на поверхности самой пластины. В конструкции пишущей головки (рис. 5.4, в) два таких электрода расположены друг против друга, причем каждый из них имеет щель на центрах 0,213 мм, и смещены относительно друг друга по оси решетки на расстояние 0,106 мм.

Высоковольтные отклоняющие пластины 13 и 23 расположены между двумя прямыми рядами капельных струй, которые (при сообщении заряда каплям) могут отклоняться в противоположных направлениях в пористые ловушки 12 и 25. В каналах пористых ловушек создается вакуум, и при попадании на них отклоненных капель последние отсасываются и после фильтрации подаются насосом обратно к соплам пишущей головки. Следовательно, в данной конструкции улавливатель и второй отклоняющий заземленный электрод конструктивно совмещены друг с другом. Поверхности потенциального отклоняющего электрода 23 и электрода-ловушки 25 параллельны друг другу и расположены на расстоянии h_0 , но для лучшего улавливания капель наклонены к оси движения незаряженных капель. При соударении отклоненных заряженных капель с поверхностью улавливателя 25 в случае неудачно выбранных значений скорости капли и угла наклона пластин капли могут разбрызгиваться или отскакивать от поверхности 25. Рациональный угол между траекторией движения отклоненной капли и поверхностью ловушки составляет $9-10^\circ$. Материал пористого улавливателя 25 подбирается исходя из вышеназванных положений, причем необходимо обеспечить минимум засасываемого воздуха в систему отвода чернил и избежать закупоривания каналов пористого материала посторонними частицами.

Перед началом работы многосоплового ЭКСРУ ВД пишущая головка 8 находится в зоне обслуживания (в области блока 7) за краем носителя информации. При этом (рис. 5.4, е) пишущая головка полностью заполняется чернилами. Периодически в процессе работы ЭКСРУ пишущая головка поступает к блоку обслуживания (рис. 5.4, е, ж), где она промывается, очищается от посторонних частиц и просушивается созданием вакуума и воздушных потоков. На рис. 5.4, е, ж: 26 — генератор капель;

27 — заряжающая пластина; 28 — блок обслуживания; 29 — высоковольтная отклоняющая пластина; 30 — струи капель; 31 — сушка, отвод жидкости.

При конструировании многосопловых ЭКСРУ все материалы, находящиеся в контакте (или в возможном контакте) с рабочей жидкостью, должны быть совместимы с последней (см. п. 5.1 настоящей главы).

Величину y необходимого отклонения капли для ее попадания на край улавливающей пластины (рис. 5.4, δ) с точностью до 5 % [52] можно вычислить по соотношению (3.27).

Как видно из соотношения (3.27), для отдельной капли величина ее отклонения при отводе в улавливатель определяется не только напряжением на заряжающем (U_3) и отклоняющем (U_0) электродах, но также зависит от гидродинамических (скорости капли и диаметра струи, характеризующихся давлением питания и конструктивными параметрами сопла) и конструктивных параметров заряжающей и отклоняющей систем. Причем скорость капли выбирается не только из соотношения (3.27), но и из условия исключения образования чернильного тумана при соударении капли с твердой поверхностью. Для диаметра струи $d_{ст}$, равного 20—25 мкм, наиболее рациональная скорость капли составляет 10—15 м/с. При этом диаметр струи ($d_{ст}$), диаметр капли (d_k) и частота каплеобразования при выполнении условий максимальной скорости каплеобразования в первом приближении могут быть определены на основании теории Рэлея [52]:

$$v = \lambda f; \quad \lambda = 4,51 d_{ст}; \quad d_k = 2d_{ст}, \quad (5.1)$$

где f — частота напряжения на электродах пьезоэлектрического преобразователя ЭКСРУ ВД.

Тогда с учетом выражений (3.27) и (5.1) при диаметре струи 25 мкм и скорости 10 м/с частота каплеобразования должна быть 95 кГц, а величина отклонения не участвующих в регистрации капель составляет 1 мм при указанных выше параметрах ЭКСРУ (см. рис. 5.2). Для обеспечения такой величины отклонения в этом случае требуется $U_3 = 25$ В при расстоянии между соплом и бумагой около 10 мм.

Поскольку для формирования одного элемента изображения используется несколько капель (причем незаряженных), то погрешности в фазировке момента каплеобразования и подаче напряжения на заряжающие электроды не сильно сказываются на качестве регистрируемой информации (в отличие от печати заряженными отклоненными каплями).

При таком асинхронном режиме каплеобразования и приложения напряжения к заряжающим электродам более низкие требования предъявляются и к поддержанию стабильной скорости перемещения пишущей головки. Кроме того, в зависимости от установленной скорости движения пишущей головки по команде от датчика скорости для регистрации информации используется то или другое число капель. Однако, несмотря на то что в многосопловых ЭКСРУ ВД (рис. 5.4) регистрация информации осуществляется незаряженными каплями, используемые для регистрации капли все же могут получать частичный заряд Δq_n :

1) вследствие индуцированного заряда от предшествующих заряженных капель, отводимых в улавливатель;

2) слияния заряженной сопутствующей капли с основной (незаряженной);

3) инерционности изменения напряжения на зарядном электроде, характеризуемой постоянной времени при включении и отключении U_3 .

Получив частичный заряд Δq_n и проходя отклоняющие электроды, они смещаются на величину Δy_q , вызывая погрешности в регистрации требуемого изображения. При этом $\Delta y_q = \Delta q_n / q_k$, где q_k — заряд капли, необходимый для ее отклонения на улавливающую пластину.

В гл. 3 отмечалось, что наведенный индуцированный заряд от предшествующих капель зависит от отношения $\lambda/d_{ст}$ и конструктивных параметров зарядных электродов.

На рис. 5.5 представлены зависимости [52] отношения $\Delta q_{ни}/q = f(\lambda/d_{ст})$ для разных отношений $h_3/d_{ст}$ (см. рис. 5.4, д).

В ЭКСРУ рис. 5.4 [52] индуцированный заряд $\Delta q_{ни}$ составил 7 % от величины заряда, необходимого для требуемой полной зарядки капли. В свою очередь, при $\lambda/d_{ст}$, близком к величине, обуславливающей максимальную нестабильность вытекающей из сопла струи, обеспечивается отношение частичного заряда к необходимому при отклонении капель до 10 %. Влияние третьего фактора незначительно сказывается на частичном заряде (в пределах 5 %).

Поскольку при регистрации информации происходит движение многосопловой головки (см. рис. 5.4, б) со скоростью v_r относительно носителя информации, то аэродинамическое сопротивление движения незаряженных капель, неравномерность скоростей струй, выпускаемых различными соплами (особенно крайними относительно центральных), а также изменение длины L отрыва капли от струи сказывается на качестве регистрируемой информации. Для уменьшения влияния аэродинамического сопротивления на движение незаряженных капель носитель информации необходимо размещать на минимальном расстоянии от сопл пишущей головки, а также обеспечивать попадание заряженных капель в улавливатель при минимальном угле их отклонения.

Погрешности Δy_q в местоположении капель на носителе информации, вызванные неравномерностью скорости капель v_k вследствие отставания в движении крайних сопл по сравнению с центральными (при одних и тех же значениях напряжения и его частоты на электродах ПЭП), в первом приближении можно определить так [52]:

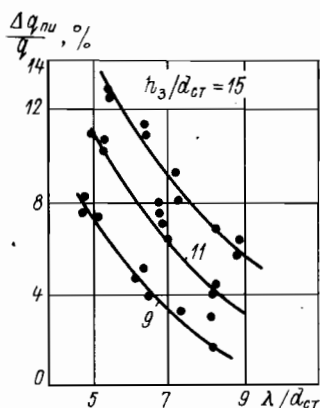


Рис. 5.5. Влияние индуцированного заряда на точность регистрации информации незаряженных каплями в многосопловых ЭКСРУ ВД

$$\Delta y_v = \frac{v_r l_k \Delta v_k}{v_k^2}, \quad (5.2)$$

где l_k — расстояние, пролетаемое каплей.

Величина Δy_L в местоположении капель, вызванная изменением расстояния L отрыва капли от струи вследствие неравномерностей вибрационных возмущений, создаваемых ПЭП на пластине с соплами, также зависит от соотношений v_r и v_k . Данная погрешность уменьшается соответствующим конструктивным исполнением генератора капель при выбранной частоте напряжения на электродах ПЭП.

Проведенные в работе [52] эксперименты с многосопловыми пишевыми головками (см. рис. 5.4) с двумя матрицами из 240 сопел и длиной 25,4 мм показали, что при изменении угла отклонения капель до ± 3 мрад, изменении $\Delta v_k/v_k < \pm 0,1\%$ и изменении $\Delta L < \pm 0,1$ мм среднеквадратическое значение погрешности в положении капли на носителе информации составило $\pm 0,05$ мм.

В многосопловых ЭКСРУ ВД заряжающие электроды (в отличие от электродов на рис. 5.4, з) могут иметь и круглые отверстия. Например, зарядная пластина [пат. 4195304 (США)] для многосоплового ЭКСРУ ВД представляет собой печатную плату, на которой выполнено от нескольких сотен до тысячи металлизированных отверстий, служащих зарядными электродами. Межцентровое расстояние между этими отверстиями составляет 0,42 мм, а внутренний их диаметр равен 0,35 мм.

Следовательно, промежуток между заряжающими электродами равен 0,07 мм. К каждому электроду подходит печатный проводник шириной 0,18—0,2 мм для подведения напряжения U_z (при регистрации информации заряженными каплями). Реализация таких пластин с заряжающими электродами осуществляется с использованием многооперационного фотомеханического процесса с применением нескольких масок и многократного точного совмещения их с заготовкой. Но при этом все же полностью избежать погрешностей в изготовлении не удастся.

Для увеличения точности и упрощения процесса изготовления зарядных пластин применяют [пат. 4277548 (США)] один и тот же стальной шаблон как для изготовления основания пластины с отверстиями, так и для изготовления фотошаблона, по которому на основание пластины наносят печатные проводники. При этом на стальной шаблон наносится расплавленный эластомер, который при застывании образует форму со штырьками в местах отверстий на шаблоне. После этого форма отделяется от шаблона и заливается пластмассой, которая образует основание зарядной пластины с отверстиями, точно повторяющими расположение и размеры отверстий на шаблоне. Тот же стальной шаблон используется в качестве маски, через которую экспонируют фотопленку при изготовлении фотошаблона, что позволяет обеспечить высокую точность размеров.

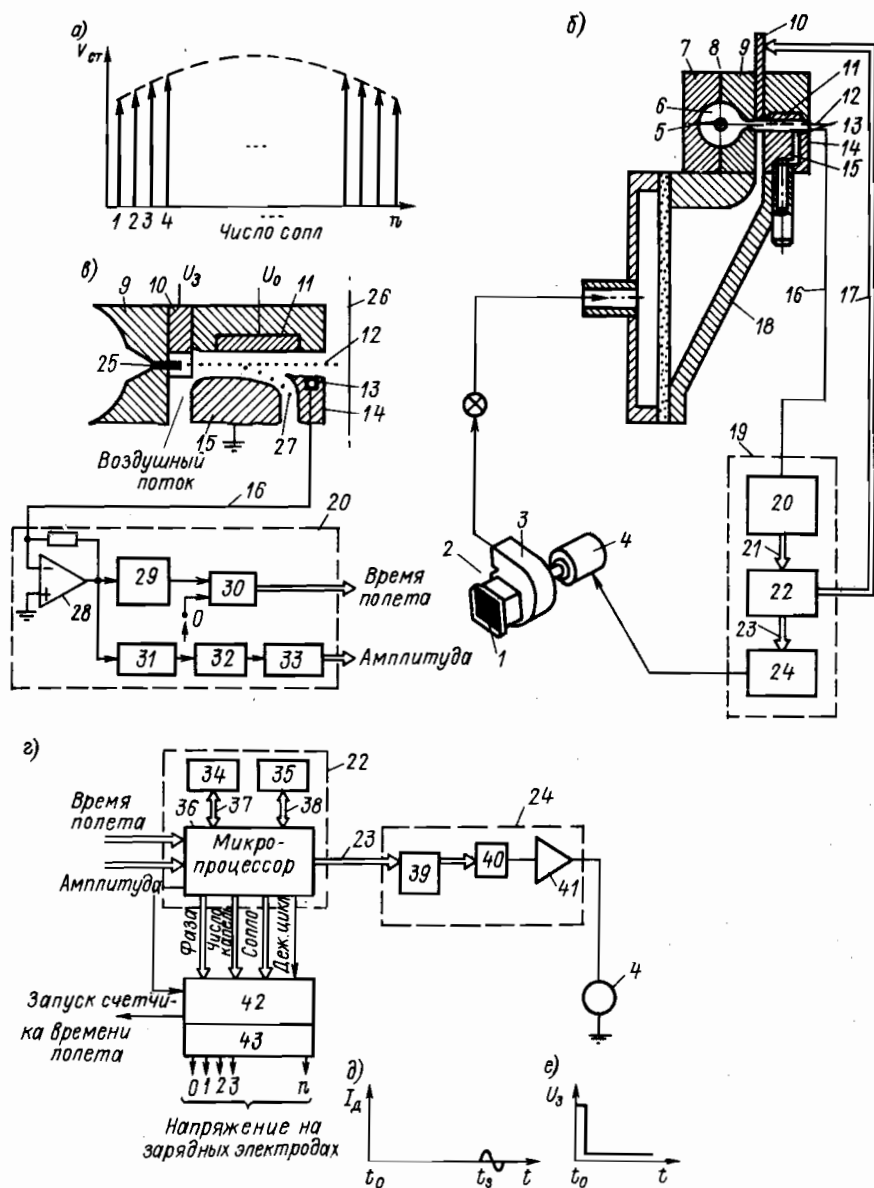
В ряде случаев для обеспечения пространственной стабильности плат с заряжающими электродами их изготавливают посредством фотопечати на фоточувствительном керамическом материале, который после экспозиции подвергается гравировке и обжигу. Однако несмотря на все принимаемые меры после обжига приходится браковать большое число плат из-за нарушения пространственного расположения сопел. Для

увеличения качества изготовления зарядных электродов многосопловых ЭКСРУ ВД используют шаблон в виде плоской пластины с отверстиями, соответствующими числу, форме и расположению сопл пишущей головки [пат. 4271589 (США)]. Далее этот шаблон укладывается на дно ванночки и заливается разогретой пластмассой. Затем матрицу извлекают из шаблона, изгибают так, чтобы выступы, которые имеют форму сопл, оказались сверху, и обливают эти выступы из пульверизатора электропроводной эпоксидной смолой. Далее шаблон извлекают из ванночки, а матрицу используют для получения заряжающей пластины. Для этого матрицу заливают пластическим материалом, температура которого ниже температуры плавления матрицы. После охлаждения заряжающую пластину снимают с матрицы, при этом электропроводная эпоксидная смола в виде тонкого слоя остается в отверстиях пластины. Таким образом формируются электроды для подачи на них напряжения U_z . Для получения следующей пластины с заряжающими электродами необходимо снова изогнуть матрицу и обрызгать ее выступы проводящим эпоксидным слоем смолы. Поскольку шаблон используется только для получения матриц, то он мало изнашивается, обеспечивая в конечном итоге высокую точность размещения заряжающих электродов.

При организации каплеструйной регистрации информации незаряженными каплями (см. рис. 5.4) получаем отмеченные выше преимущества при реализации таких многосопловых ЭКСРУ ВД. Идею регистрации незаряженными каплями с сообщением заряда и отклонением в улавливателе капель, не участвующих в процессе формирования изображения, можно развить и дальше. Можно, например, использовать основные достоинства метода эмиссии капель импульсным давлением, при котором получаем поток капель «по требованию» (т. е. тогда, когда это необходимо). Но после формирования потока капель «по требованию» не участвующие в процессе регистрации капли заряжают и отклоняют на слив. Следовательно, при этом одновременно используется гибкость и удобство управления от микропроцессоров и микроЭВМ методов построения ЭКСРУ, предусматривающих отклонение заряженных капель в электростатическом поле.

Рассмотрим более подробно реализацию таких многосопловых электрокаплеструйных устройств.

В многосопловых пишущих головках, как уже отмечалось выше, из-за аэродинамического взаимодействия скорость струй чернил (капель), выпускаемых крайними соплами, несколько ниже, чем струн чернил, выпускаемых центральными соплами (рис. 5.6, а). Последнее может повлиять на качество регистрации информации, если не принимать никаких мер. Поэтому для выравнивания скоростей выпускаемых струй чернил (краски) образующиеся струи чернил обдувают потоком воздуха [пат. 4292640 (США)] и таким образом обеспечивают одинаковую скорость всех капель чернил независимо от места расположения выпускающего их сопла. В этом случае (рис. 5.6, б, в) пишущая головка 8 содержит корпус 7, в котором расположена полость 6, заполненная электропроводной рабочей жидкостью (чернилами, краской). Внутри полости 6 расположен пьезоэлектрический преобразователь 5.



При подаче на электроды ПЭП электрического напряжения в чернилах (краске) возникает импульс давления, под действием которого из сопл в пластине 9 вытекают струйки чернил 25.

В зоне отрыва капель на сопловой головке размещена пластина 10 с заряжающими электродами, на которые могут подаваться или не подаваться заряжающее напряжение U_z (в зависимости от алгоритма управления), а следовательно, выборочно заряжаться отдельные капли отдельных струй. После заряжающего устройства капля летит в канале, куда подается воздух из воздухораспределительного устройства 18. За заряжающим электродом располагают отклоняющие электроды 11 и 15 и улавливатель 14 отклоненных капель 27. Причем на электрод 11 подается постоянное по величине отклоняющее напряжение U_0 (до 1—3 кВ), а электрод 15 заземлен.

Капли 12, не получившие заряд, летят без отклонения и попадают в заданную точку носителя информации 26. Заряженные капли 27 отклоняются электродами 11, 15 в улавливатель. В улавливателе 14 расположен датчик капель 13, электрический сигнал с выхода которого по проводу 16 поступает на вход контроллера 19. Контроллер по моментам поступления сигналов от датчика 13 на основании известного расстояния пролета капель определяет среднюю скорость капель чернил, вырабатывает величину сигналов индивидуальных напряжений U_z на каждом из заряжающих электродов, а также управляет воздухоподающим устройством 2, состоящим из многоскоростного электродвигателя 4, вентилятора 3 и фильтра 1.

Контроллер 19 содержит электронный управляющий блок 20, выход которого через мультиплексор 21 связан со входом микропроцессорной системы 22 (см. также рис. 5.6, г). Микропроцессорная система управляет посредством линии 17 подачей напряжения U_z соответствующей амплитуды и длительности на выбранные заряжающие электроды, а через линию 23 — электронной системой управления 24 электродвигателем 4 вентилятора 3.

Датчик заряженных капель 13 размещен в углублении улавливателя 14 таким образом, что электрод датчика отделен от потока 27 отклоненных заряженных капель тонкой диэлектрической стенкой. Заряженная капля, пролетая мимо электрода датчика 13, наводит на нем импульс тока синусоидальной формы (рис. 5.6, д). Прохождение синусоиды через ноль соответствует прохождению центра капли электрода датчика. При этом этот момент t_s фиксируется электронной схемой, которая вырабатывает электрический сигнал, поступающий на вход блока 20.

На рис. 5.6, в функционально более подробно раскрыт блок 20, а на рис. 5.6, г — блоки 22 и 24.

Сигнал с выхода датчика 13 (рис. 5.6, в) усиливается операционным усилителем 28 и далее поступает на входы детектора 29 перехода синусоидального сигнала через ноль и интегратора 31. С выхода детектора 29 сигнал поступает на один из входов счетчика времени пролета 30, на другой вход которого поступает сигнал, характеризующий момент t_0 подачи напряжения U_z на заряжающий электрод (рис. 5.6, е), т. е. характеризующий момент образования капли.

Таким образом, на выходе 30 имеется информация в цифровом виде о времени пролета капель расстояния от места ее отделения от струи 25 (рис. 5.6, в) до датчика 13. Одновременно выходной сигнал интегратора 31 поступает на вход детектора пика 32 и после выделения его максимальной величины преобразуется в аналого-цифровом преобразователе 33 в цифровой код. На выходе преобразователя 33 имеем цифровую информацию о величине амплитуды наведенного на датчике 13 тока, характеризующую заряд, сообщенный капле в зоне зарядного электрода. Данная информация используется для дальнейшей коррекции и определения величины напряжения на соответствующем заряжающем электроде.

Информация с выхода блока 20 о времени пролета капель фиксированного расстояния l_n от места ее отделения до датчика 13 и о заряде капли (амплитуде наведенного заряженной каплей импульса тока на электроде датчика 13) поступает на вход микропроцессора 36 (рис. 5.6, г) блока 22, который, в частности, определяет среднюю скорость капли v_k по соотношению $v_k = l_n / (t_s - t_0)$. Микропроцессор 36 через мультиплексоры 37 и 38 соединен с коммутационной панелью 34 и памятью 35 и используется для логических операций, для подсчета числа капель, испускаемых из каждого сопла пишущей головки. Он также осуществляет фазировку напряжений на электродах ПЭП и заряжающих электродах, запускает в момент t_0 посредством генератора 42 счетчик времени пролета капель фиксированного расстояния. Предусматривается также дежурный цикл, при котором ряд капель заряжается и отклоняется в улавливатели, при этом определяются средняя скорость капли и величина заряда на ней.

Напряжения U_z , подаваемые на соответствующие заряжающие электроды, вырабатываются блоком 43, управляемым микропроцессором 36. Микропроцессор 36 также управляет двигателем 4 вентилятора 3. Система управления 24 двигателем 4 включает в себя ключевую схему 39, цифроаналоговый преобразователь 40 и усилитель мощности 41.

Таким образом, наряду с микропроцессорным управлением процессом регистрации информации в данном многосопловом ЭКСРУ достигается и улучшение качества регистрации за счет выравнивания скоростей капель обдуванием образуемых капельных струй воздушным потоком. Путем изменения напряжения (тока), прикладываемого к обмотке двигателя 4, регулятор 24 меняет скорость (расход) воздуха, поступающего в каналы, по которым летят капли. Подбором скорости воздушного потока в каналах регулятор обеспечивает одинаковую скорость распространения капель независимо от места расположения испускающего их сопла.

При электрокапельструйной регистрации букв или цифр используется матричное отображение информации. Например, каждая буква или знак образуется на основе матрицы, содержащей 5×7 точек. Реализацию таких ЭКСРУ можно осуществить и на основе односopловой пишущей головки, но при этом усложняется система управления и ограничивается скорость печати. Поэтому одним из путей существенного повышения скорости регистрации при относительно простых управляющих устройствах является использование многосопловых ЭКСРУ, в которых осуществляется одновременное поколонковое заполнение реализуемой

матрицы знаков. Естественно, что число сопл в колонке будет определяться числом точек в матрице (например, в матрице 5×7 число сопл в колонке будет 7).

Этот принцип может быть реализован с использованием всех выше-рассмотренных способов эмиссии капель. Покажем реализацию такой поколонковой печати на примере регистрации буквенно-цифровой информации с матрицей знаков 5×7 точек в многосопловых ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением. В отличие от схемы, приведенной на рис. 5.4, регистрация информации здесь будет осуществляться заряженными каплями чернил (краски), а неиспользуемые для регистрации незаряженные капли, наоборот, будут попадать в улавливатель. На рис. 5.7 показана схема такого многосоплового ЭКСРУ ВД, реализующего данный способ регистрации информации с матрицей знаков 5×7 [пат. 4302762 (США)].

Пишущая головка (рис. 5.7, а) содержит семь сопл 6, размещенных в вертикальном ряду, к которым от насоса через патрубок 5 под давлением подводится рабочая жидкость (чернила, краска). Сопловая головка монтируется на каретке 4, которая может двигаться с заданной скоростью по двум параллельным направляющим 13 с помощью электродвигателя 3 посредством элемента 2 и тросов 1.

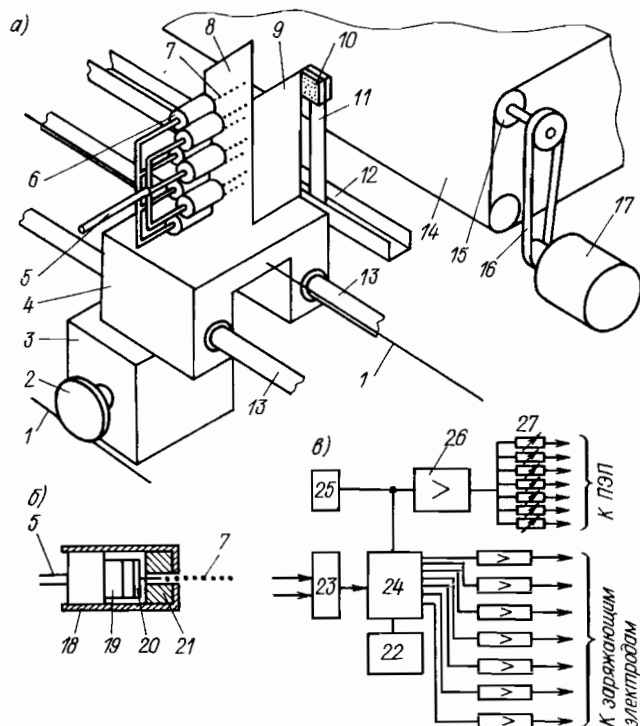


Рис. 5.7. Принципы поколонковой регистрации информации электрокапеструйными средствами

При подаче чернил (краски) под давлением к патрубку 5 на выходе всех сопел 6 образуются потоки капель 7, причем генератор капель 18 (рис. 5.7, б) содержит пьезоэлектрический преобразователь 19, предназначенный для стабилизации диаметра капель и частоты каплеобразования. Созданное в межсопловой камере 20 давление вызывает истечение струи чернил из сопел. В зоне отрыва капель от струй размещаются аналогично вышерассмотренному заряжающие электроды 21, при подаче напряжения на которые заряжают соответствующую каплю соответствующего сопла. Потоки капель 7 проходят через электрическое поле, создаваемое отклоняющими параллельными пластинами 8 и 9, на которых поддерживается постоянное напряжение, равное 1 кВ.

Такое исполнение ЭКСРУ ВД позволяет осуществить регистрацию информации двумя способами. В первом случае (как и раньше) можно осуществить регистрацию информации незаряженными каплями, тогда необходимо отводить в улавливатель заряженные капли, разместив последний соответствующим образом относительно неотклоненного потока капель. При втором способе, наоборот, незаряженные неотклоненные капли попадают в улавливатель, а используемые для регистрации капли заряжают на такую величину, чтобы они, отклоняясь, одновременно могли образовать на носителе информации требуемую колонку точек в соответствующем месте матрицы знака.

Предположим, что реализован второй способ, т. е. печать осуществляется заряженными каплями. В этом случае незаряженные капли попадают в улавливатель 10 и по трубке 11 стекают в желоб 12. Заряженные капли отклоняются, и на носителе информации 14 одновременно печатается одна колонка в матрице знака. После этого носитель информации шаговым электродвигателем 17 посредством передач 16 и 15 перемещается на один шаг и, таким образом, производится регистрация следующей колонки матрицы.

На рис. 5.7, в дана схема управления работой пишущей головки. Сигнал с выхода генератора задающей частоты 25 через усилитель 26 и переменные резисторы 27 поступает к электродам пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП) генератора капель. Подстройкой резисторов 27 добиваются синфазности образования капель, истекающих из каждого сопла. Сигналы от знакогенератора через интерфейсный блок 23 поступают на вход микропроцессора 24, к которому также подводится напряжение с выхода 25. Микропроцессор 24 вырабатывает данные для регистрации одной колонки, которые считываются с использованием образцового генератора 22. Сигналы с выходов микропроцессора 24 усиливаются соответствующими усилителями, с выхода которых напряжение подается на заряжающие электроды пишущей головки.

Особенностью устройства, приведенного на рис. 5.7, является использование одних отклоняющих пластин, общих для всех генераторов капель. Однако при регистрации информации заряженными каплями каждый генератор капель часто имеет свои индивидуальные отклоняющие пластины. Увеличение разрешающей способности при регистрации информации такими многосопловыми ЭКСРУ ВД достигается либо схемными (программными) способами, либо конструктивными средствами.

Например, увеличение разрешающей способности достигается тем, что множество параллельных рядов сопл пишущей головки располагают под некоторым углом к направлению движения носителя информации [пат. 4307407 (США)]. Угол наклона рядов сопл выбирается таким образом, чтобы точки, наносимые на носители информации каплями чернил (краски), испускаемыми крайними соплами рядов, перекрывали друг друга в направлении, перпендикулярном к направлению движения носителя информации. При этом каждый генератор каплей (рис. 5.8, а), содержащий сопло в пластине 9 и заряжающий электрод 8, имеет свою пару отклоняющих пластин 2 и 7, выполненных в виде проводящего покрытия на диэлектрическом (кремниевом) основании. Отклоняющие электроды 1 и 7 выполнены в виде пластин, расположенных под некоторым углом (рис. 5.8, а) или параллельных (рис. 5.8, б) друг другу.

Характерной особенностью работы такого многосоплового ЭКСРУ ВД является то, что производится отклонение в электрическом поле всех капель: и участвующих в формировании изображения, и отводимых в улавливатель. Следовательно, заряд получают все капли, но он для всех различен. Максимальный заряд получают капли, отводимые в улавливатель (рис. 5.8, в, г), а капли, участвующие в процессе регистрации, получают заряд в соответствии с сигналами знакогенератора (управляющего устройства — рис. 5.8, в) и попадают в заданную точку носителя информации 5. Для разделения этих режимов применяются транзисторные ключи 14.

В свою очередь, отклоняющие электроды и улавливатель можно выполнять в виде единого конструктивного узла, когда капля, получившая максимальный заряд в зоне заряжающего электрода, летит по траектории 13 с максимальным углом отклонения, попадает на край 11 электрода 1 и отсасывается на слив создаваемым в камере 12 вакуумом. В режиме

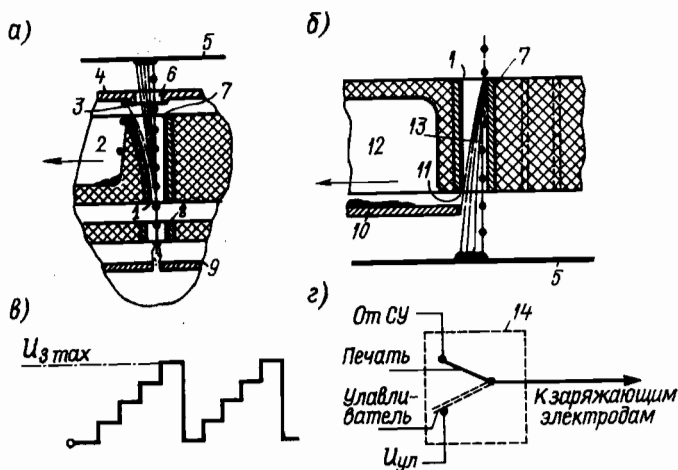


Рис. 5.8. Способы организации регистрации информации отклонением заряженных капель в многосопловых ЭКСРУ ВД

«Печать» значение заряда капель определяется сигналами, поступающими от системы управления (знакогенератора) — рис. 5.8, *г*. При этом отклоненные капли летят мимо пластины 10 (рис. 5.8, *в*) к носителю информации. Пластина предохраняет загрязнение носителя информации отклоненными в улавливатель каплями.

Следует подчеркнуть, что регистрация информации электрокапельными средствами предусматривает любое положение пишущей головки относительно носителя информации. На рис. 5.8, *а*, например, последний находится вверху и капли летят снизу вверх. При этом улавливание отклоненных на слив капель конструктивно решается несколько по-другому.

Между выходом отклоняющих пластин и запечатываемой поверхностью расположена пластина 4 с отверстием 6, через которое капли свободно достигают поверхности 5. Капли же, отклоненные по максимальной траектории 3, попадают на пластину 4 и отсасываются на слив за счет создания в камере 2 разрежения.

В ряде случаев в многосопловых ЭКСПУ сопла располагают на одинаковом расстоянии друг от друга и сопловую головку сканируют поперек направления движения носителя информации. Для изменения разрешающей способности изменяют скорость сканирования сопловой головки и меняют число сопел (их отключением), наносящих информацию на запечатываемую поверхность [пат. 4401991 (США)].

В многосопловых ЭКСПУ с электростатической эмиссией капель чернила (краску) подают, как правило, в один конец многосопловой головки и далее они распределяются по камере, вдоль которой установлено несколько рядов сопел. В процессе работы такой многосопловой пишущей головки будет иметь место падение давления чернил от сопла к соплу (падение по длине канала), тем более что давление питания относительно невелико. В результате диаметр капель, выпускаемых различными соплами под действием электростатического поля, будет неодинаковым, что может повлиять на качество печати.

Для исключения этого явления рассчитывают диаметры сопел, расположенных в различных местах перфорированной трубки, таким образом, чтобы поддерживать одинаковый перепад давлений на всех соплах [пат. 54—20473 (Япония)].

Методы изготовления многосопловых пишущих головок могут быть различными. О некоторых из них говорилось выше. В ряде случаев представляется целесообразным использовать при производстве многосопловых головок специальные формы с последующей их заливкой специальными пластмассами. На рис. 5.9 иллюстрируется один из таких способов [пат. 4248823 (США)]. Форма содержит чехол с конфигурацией усеченной пирамиды, на котором расположены тонкие стержни или эластичные волокна с диаметром, равным требуемому диаметру каналов для подвода чернил или сопел. На рис. 5.9, *а* показан поперечный разрез такой формы. Форма состоит из цилиндрического корпуса 9 и чехла 5 с отверстием 2 для заливки полости 1 формы жидким эластиком, который затвердевает при повышенных давлениях и температуре окружающей среды.

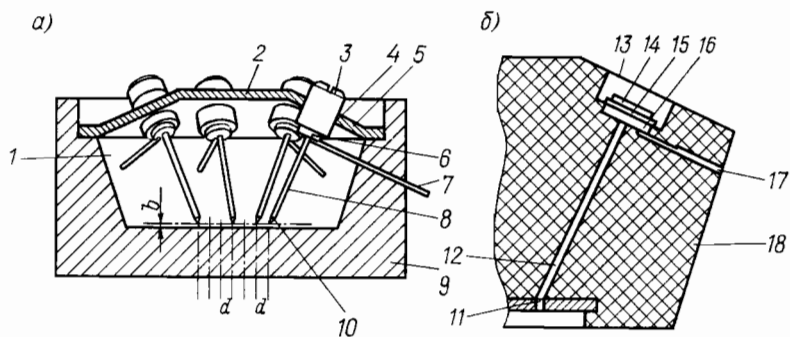


Рис. 5.9. Способ изготовления многосопловой пишущей головки электрокапель-
струйных регистрирующих устройств

В чехле 5 имеется множество отверстий 4 (по требуемому числу и расположению сопел и каналов к ним). В отверстиях нарезается резьба, и в них вворачиваются пробки 3, имеющие в нижней части 6 меньший диаметр, в которых закреплены тонкие стержни 8. В форме 9 имеются также отверстия, в которые вставляются тонкие стержни 7 для организации каналов подвода чернил (краски) к соплам. Чехол 5 выполнен в виде усеченной пирамиды, причем угол наклона ее боковых стенок выбирают таким образом, чтобы направление стержней 8 дало желаемые каналы в пишущей головке ЭКСРУ. Длина резьбовой части пробок 3 выбирается с учетом необходимого пространства (получаемого после заливки) для размещения в нем уплотнений, пьезоэлектрических преобразователей и т. д. Пробки 3 со стержнями 8 регулируют поворотом так, чтобы иметь требуемые расстояния b и d между концами 10 стержней.

После такой подготовки форму заливают эластиком (специальной пластмассой, совместимой с рабочими жидкостями ЭКСРУ). После затвердевания пластмассы отверткой выворачивают пробки 3, вынимают стержни 7 — заготовка для многосопловой головки готова.

В качестве примера на рис. 5.9, б показано в увеличенном масштабе одно сопло с подводящими каналами, выполненными в корпусе 18. По каналу 17 подводятся чернила, которые попадают в полость 16 и далее по каналу 12 поступают к соплу 11. В принципе канал 12 при необходимости может сам использоваться в качестве сопла. Полость давления 16 герметично закрыта мембраной (прокладкой) 15, с внешней стороны которой расположен пьезоэлектрический кристалл 14. Мембрана 15 и ПЭП 14 размещены в полости 13, образованной в корпусе 18 после заливки формы и снятия чехла 5 (рис. 5.9, а).

Рассмотренные выше многосопловые ЭКСРУ базировались прежде всего на устройствах с эмиссией капель высоким постоянным давлением с синхронизацией дробления струи пьезоэлектрическим преобразователем и на ЭКСРУ с эмиссией капель электростатическим полем. Построение многосопловых ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением в принципе оказывается более простым в исполнении, чем ЭКСРУ ВД

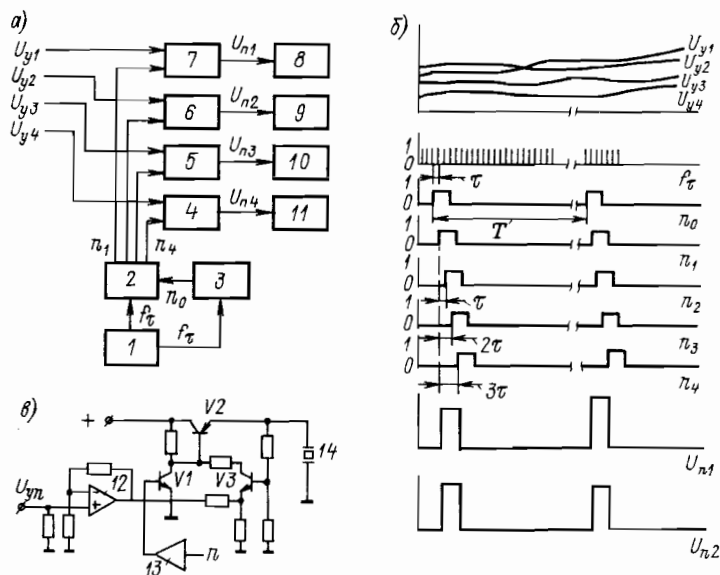


Рис. 5.10. Принципы построения многосопловых электрокапельных регистрирующих устройств с эмиссией капель импульсным давлением

или ЭКСРУ ЭП, хотя и здесь возникают специфические трудности, вызванные характером физических процессов при работе ЭКСРУ ИД.

При построении многосопловых ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением при одновременной работе сопл возникает интерференция звуковых волн, создаваемых волнами давления генерируемых в блоках сопл. В результате возникает нежелательный шум при работе многосопловой пишущей головки таких ЭКСРУ ИД. Для исключения этого явления управляющие сигналы на электроды пьезоэлектрических преобразователей подаются со сдвигом во времени и тем самым снижается общая интенсивность звуковых волн и их интерференция, а следовательно, снижается и шум, производимый ЭКСРУ ИД [пат. 4300144 (США)].

На рис. 5.10, а представлена функциональная схема такого, например, четырехсоплового ЭКСРУ ИД, а на рис. 5.10, б показаны временные диаграммы, поясняющие его работу.

Управляющие сигналы $U_{y1} - U_{y4}$ подаются на один из входов усилителей-формирователей 7—4 (рис. 5.10, а). На другие входы с выходов счетчика 2 поступают импульсы напряжений, сдвинутые по времени друг относительно друга на величину τ (рис. 5.10, б). Этот сдвиг во времени формируется с использованием тактового генератора 1, на выходе которого образуются короткие импульсы с периодом следования τ и частотой f_τ . С выходов генератора 1 тактовые импульсы поступают на входы счетчика 2 и генератора 3, причем на выходе n_0 генератора 3 возникают прямоугольные импульсы с периодом следования T , определяющим цикл работы сопл многосопловой пишущей головки ЭКСРУ ИД.

При этом на выходах $n_1 - n_4$ счетчика 2 образуются такие же по длительности, как и на выходе 3, импульсы, но сдвинутые по времени их возникновения друг относительно друга на величину τ (рис. 5.10, б). При поступлении их на усилители-формирователи 7—4 соответствующих сопл на их выходе формируются импульсы напряжения $U_{n1} - U_{n4}$, амплитуда которых определяется входными управляющими сигналами, а моменты появления и длительность — соответствующим импульсом n : ($n_1 - n_4$) на выходах 2. Данные напряжения прикладываются к электродам соответствующих пьезоэлектрических преобразователей 8—11.

В результате в соответствующем сопле многосопловой пишущей головки ЭКСРУ ИД возникает импульс давления, амплитуда которого определяется амплитудой напряжения на электродах.

На рис. 5.10, в показана более подробная принципиальная схема формирования импульса напряжений на электродах ПЭП. При таком принципе управления работой сопл многосопловой головки, уменьшающем шум в результате интерференции волн давления, управляющий сигнал $U_{уп}$ поступает на вход операционного усилителя 12. Когда нет сигнала n , на входе усилителя-преобразователя 13 с выходов $n_1 - n_4$ счетчика 2 база транзистора $V2$ через транзистор $V1$ заземляется и транзистор $V2$ закрывается. В результате напряжение не поступает на электроды пьезоэлектрического преобразователя 14.

При поступлении сигнала n на вход 13 транзистор $V2$ открывается и напряжение подается на электроды ПЭП. Причем транзистор $V3$ включен таким образом, что выходной сигнал при этом пропорционален сигналу $U_{уп}$. Напряжения $U_{n1} - U_{n4}$ (рис. 5.10, а) формируются во времени таким образом, что исключается взаимодействие звуковых волн, создаваемых различными ПЭП в различных соплах, и, как следствие, снижается уровень шума при работе такой многосопловой головки ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением.

Идея исключения одновременной работы находящихся рядом друг с другом генераторов капель ЭКСРУ ИД может быть реализована и другими способами, например конструктивными средствами (см. рис. 4.17, а).

Электрокапеструйные устройства для регистрации цветных изображений принципиально также являются многосопловыми; но с ограниченным числом сопл (их, как правило, четыре). Ннже более подробно остановимся на некоторых из них.

5.3. РЕГИСТРАЦИЯ ЦВЕТНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЭЛЕКТРОКАПЛЕСТРУЙНЫМИ СПОСОБАМИ

Прежде чем рассмотреть основные принципы регистрации цветных изображений электрокапеструйными методами, кратко остановимся на способе воспроизведения полутоновых изображений, поскольку ЭКСРУ могут воспроизводить на обыкновенной бумаге различного рода изображения (фотографии, иллюстрации и т. п.).

Метод электрокапеструйного получения полутонового изображения варьированием количества краски (чернил), подаваемого на площадь

каждого растрового элемента изображения, может быть реализован различными способами. Так, например, по числу полутоновых ступеней изображения в ЭКСРУ предусматривают установку нескольких различных сопел, из которых генерируются капли разного размера, и в соответствующем месте изображения включается одно из данных сопел [пат. 2251657 (ФРГ)]. При другом способе выбирают сопла одинакового диаметра и регистрацию изображения осуществляют каплями одинакового размера. Регулируя число капель, попадающих на элемент запечатываемой поверхности, получают полутоновое изображение. Тональность определяется числом участков, на которые подана краска. При этом число сопел может соответствовать числу участков растрового элемента и при регистрации полутоновой информации каждое сопло срабатывает не более одного раза.

Работу пишущей головки можно организовать и таким образом, что каждое сопло может быть использовано для запечатывания нескольких участков носителя информации, т. е. при регистрации одного растрового элемента срабатывает несколько раз. В последнем случае число сопел в пишущей головке уменьшается за счет некоторого усложнения алгоритма управления ЭКСРУ. Печатание растрового элемента, состоящего из ряда точек, может быть осуществлено и односопловой пишущей головкой. В этом случае пишущая головка движется по площади растрового элемента по волнистой линии, а число точек в одном растровом элементе определяется числом циклов работы сопла в процессе движения над растровым элементом.

При реализации электрокаплевых цветных графопостроителей в ряде случаев используют краску основных цветов: красного R (длина волны монохроматического излучения $\lambda=700$ нм), зеленого G ($\lambda=546,1$ нм) и синего B ($\lambda=435,8$ нм). Каждая краска подается в соответствующее сопло, и генерация капель производится по программе, предварительно подготовленной микроЭВМ и записанной на магнитную пленку. Однако при смешении цветов некоторая часть реальных цветов в области насыщенных голубых тонов не может быть воспроизведена. Поэтому при регистрации цветных изображений электрокаплевых методами наибольшее распространение получили краски (чернила) трех основных цветов: желтого (Y), пурпурно-красного (M) и сине-зеленого (голубого) C. Эти краски тем или иным способом генерируются в виде капель из соответствующих сопел и попадают в заданную точку запечатываемой поверхности носителя информации. Хотя наложение трех основных цветов — YMC — дает черный цвет, для лучшего качества изображения и смешивания цветов используют отдельный капельный генератор с черной краской (K).

Таким образом, цветное изображение воспроизводится без использования серебра, на обыкновенной бумаге с использованием четырех цветов красок (чернил) YMCK. В свою очередь, генерацию капель красок YMCK можно производить электростатическим полем, а также высоким или импульсным давлением. Наибольшее распространение в ЭКСРУ для регистрации цветных изображений получили два последних способа эмиссии капель.

В настоящее время в Японии и США промышленностью выпущены несколько видов ЭКСРУ для цветной печати, причем можно регистрировать цветные изображения с плотностью 40 элементов печати на 1 мм (печать сателлитами) или 20 элементов печати на 1 мм [77] при эмиссии капель высоким постоянным давлением с синхронизацией дробления струй чернил (красок). Использование ЭКСРУ ВД повышает скорость регистрации цветной информации, хотя при этом система управления процессом регистрации усложняется по сравнению, например, со способом эмиссии капель импульсным давлением.

В ЭКСРУ типа CF-4100 А (Япония) выдается однократная копия цветного изображения с экрана графического дисплея. Лист обыкновенной бумаги, прикрепленный к вращающемуся валику, сканируется по спирали четырьмя пишущими головками, из которых на бумагу генерируются капли чернил (красок) четырех цветов: YMCK. Работа пишущих головок управляется от электронного блока обработки цветного телевизионного изображения. Такие цветные ЭКСРУ могут быть использованы в системах автоматизированного проектирования, в медицинской диагностике, в системах передачи цветных иллюстраций на расстояние, для монтажа видеозаписей, в системах автоматизированного создания мультфильмов и в других областях.

В зарубежных источниках сообщается также о попытках в Японии использовать ЭКСРУ для воспроизведения на обыкновенной бумаге больших многокрасочных изображений методом сканирования. При этом капли цветных красок — YMCK — системой сопел одновременно набрызгиваются на носитель информации, закрепленный на валу длиной 3 м и длиной окружности 4,5 м. Четыре сопла с желтой, пурпурно-красной, голубой (сине-зеленой) и черной красками располагают таким образом, чтобы вылетающие из них капли попадали на одно и то же место носителя информации.

Сканирующее устройство считывает изображение с цветного диапозитива размером 9×12 см, производит цветоделение и градационную корректуру. В соответствии с этим вырабатываются электрические сигналы для управления работой генераторов капель.

Принципы электрокапельной регистрации цветных изображений рассмотрим более подробно на примере ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением (рис. 5.11), разработанного фирмой IBM [77]. Для воспроизведения в цвете регистрируемых изображений применены краски YMCK, причем для ускорения процесса печати для каждого цвета использовано несколько сопел.

Многосопловая пишущая головка (рис. 5.11, а) содержит четыре ряда сопел. Каждому цвету (Y, M, C, K) соответствует свой ряд сопел, при этом расстояние между двумя соплами в ряду равно 0,4 мм. Головка состоит из распределителя чернил 2, которые при работе поступают из резервуаров через соответствующие отверстия 1, блока преобразователя 3, собирающей секции 4, сопловой пластины 5, на выходе которой формируются капли чернил 6. Каждый генератор капель выполнен по схеме рис. 5.4, д. Для получения плотности печати 9,5 точек/мм дополнительно организуются три микроперемещения бумаги при переходе на следующую строку.

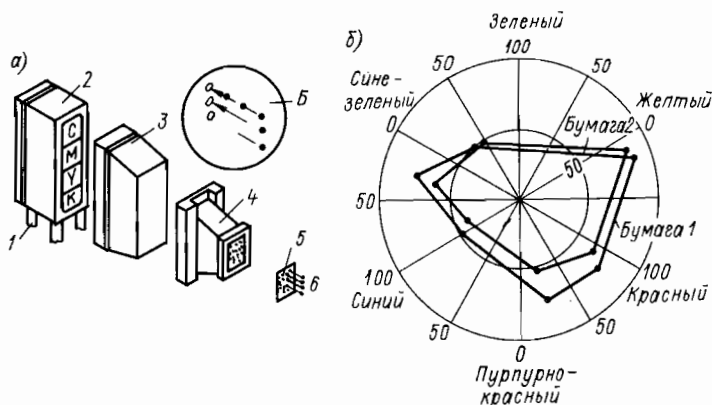


Рис. 5.11. Электрокаплеструйная регистрация цветных изображений эмиссией капель импульсным давлением

Высокое качество регистрации цветных изображений предполагает точное нанесение капель чернил на заданное место носителя информации, что, в свою очередь, при перемещении носителя информации требует обеспечения одинаковой скорости всех капель независимо от частоты и ширины импульсов на электродах пьезоэлектрических преобразователей многосопловой пишущей головки. Однако при увеличении частоты f импульсов на электродах ПЭП — $f \in [1; 11]$ кГц (частоты генерации капель) происходит интерференция акустических отраженных волн в канале с соплом и волн, образующих очередную каплю, что приводит к изменению скорости v_k капель ($v_k \in [2 \div 8]$ м/с). Скорость также изменяется с изменением ширины импульса τ на электродах ПЭП: $\tau \in [5; 70]$ мкс. При этом в различных каналах пишущей головки изменение скорости v_k также различно. Эти изменения скорости приводят к неправильному наложению капель и вызывают ухудшение качества регистрации цветного изображения. Поэтому при конструировании многосопловой пишущей головки таких многоцветных ЭКСРУ ИД стремятся обеспечить акустическую изоляцию каналов и гашение волн в каждом из каналов соответствующим выбором конструктивных параметров пишущей головки (расстояния между каналами, размеров каналов, сопел, емкостей с разноцветными чернилами, материалов), а также параметров чернил (прежде всего их вязкости).

Принципиальным моментом при электрокаплеструйной регистрации цветных изображений является получение для каждого основного цвета карты двоичных единиц информации. Такую карту можно получить двумя способами [77]. При первом сканируют оригинал цветной фотографии или карточки с помощью трех отдельных фильтров, задавая новый формат этих данных для пишущей головки, и получают аналоговую амплитудную информацию для каждого основного цвета, которую в дальнейшем преобразуют в двоичный код. Данную двоичную информацию после применения алгоритмов усиления изображения используют для параллельного управления работой сопел пишущей головки. Вторым

способом получения карты двоичных единиц для каждого основного цвета информации является применение графических программ, цифровых вычислений или промежуточных терминальных цветных дисплеев. При этом карта двоичных единиц создается в результате преобразования векторной информации в растровую. Таким образом, генерируемые карты можно получить при произвольном разрешении с увеличением или уменьшением графического изображения на выходе.

При смешивании цветов УМС легко получаются красный (R), зеленый (G) и синий (B) цвета. Например, смешивание цветов Y и C дает зеленый цвет и т. д. Для получения оттенков и полутонов используют алгоритм [77], реализуемый ЭВМ [77]. В этой работе представлены цветные образцы регистрации цветных изображений на бумаге при частоте генерации капель 5 и 10 кГц, которые подтверждают высокое качество печати при использовании коротковолокнистой бумаги. Однако при этом качество печати, соответствие цветов и время высыхания чернил зависят от типа бумаги. На рис. 5.11, б в качестве примера показаны оттенки цветов и насыщенность для двух типов бумаги с использованием стандартного цветового диска (GATF). Конечно, при этом на качество цветов сильно влияют параметры используемых чернил. При регистрации цветных изображений предпочтительнее применять чернила на водной основе (а не чернила на растворителях), поскольку у них меньше время высыхания. Однако при этом необходимо учитывать влияние поверхностного натяжения чернил на процесс генерации капель.

Увеличение разрешающей способности достигается уменьшением диаметра генерируемых капель, который, в свою очередь, можно изменять изменением диаметра сопла, амплитуды и ширины электрических импульсов на электродах пьезоэлектрических преобразователей пишущей головки.

Из всего вышерассмотренного видно, что качество регистрации цветных изображений электрокапеструйными методами зависит, в частности, как от параметров чернил, так и от параметров используемого носителя информации. Поэтому является актуальной задача разработки новых способов репродукции цветных оригиналов, учитывающих характеристики красителей, оригинала и носителя репродуцированной информации. Об одном из них уже упоминалось в гл. I [заявка 3407500/24—10 (ФРГ)].

По этому способу цветной оригинал трехцветно считывают и преобразуют в сигналы RGB цветodelенных изображений, которые затем цветокодируют в сигналы УМСК-изображений, используемых при четырехцветной печати с регулированием цвета. Из цветных оригиналов выделяют сигналы яркости и цветности. Достоинством данного способа является то, что разработанный алгоритм обработки сигналов цветности УМСК учитывает характеристики красителей и оригинала.

В ряду случаев для электрокапеструйной регистрации цветных изображений используют краски трех цветов — УМС [пат. 2349340 (ФРГ)]. В данном цветном регистрирующем устройстве эмиссия капель производится высоким постоянным давлением. Пишущая головка содержит три сопла, в которые под давлением подаются проводящие

краски (чернила) трех цветов: желтого, пурпурно-красного и сине-зеленого (голубого). Схема управления ЭКСРУ дополнительно содержит перенастраиваемый блок цветового кодирования, на который подается программная информация о требуемом цвете данного элемента изображения. В соответствии с этой информацией блок цветового кодирования управляет работой трех струйных каналов, регулируя интенсивность каждого цвета. Сигналы с выходов блока цветового кодирования поступают на регистры сдвига, с помощью которых осуществляется необходимое запаздывание управляющих воздействий для каждого струйного канала таким образом, чтобы при движении носителя информации капельные струи из всех трех сопел попадали в одну точку запечатываемой поверхности.

Рассмотрим более подробно реализацию метода регистрации цветных изображений ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением и электростатической модуляцией капельной струи (см. рис. 1.9). Напомним, что при таком способе эмиссии капель уровень используемого для этого постоянного давления существенно выше, чем в ЭКСРУ ВД, и составляет несколько мегапаскалей (при диаметре сопла 10 мкм давление чернил 3 МПа). Вытекающие из сопла 1 чернила (рис. 5.12, а, поз. I) образуют струю 3, которая, протекая через кольцевой электрод 2 при отсутствии на нем напряжения U , попадает на носитель информации 4. Если же к электроду 2 приложить напряжение $U \leq 500$ В, то струя распыляется в туман 5 электрически заряженных мелких капель (рис. 5.12, а, поз. II). Таким образом, можно модулировать характер движения струи чернил с частотой до 100 кГц [84] при диаметре струи, равном 10 мкм. Чтобы исключить образование фона на носителе информации 4 (рис. 5.12, а, поз. II), между носителем информации и электродом 2 размещают пару плоских электродов 6 и 7 (рис. 5.12, а, поз. III), на которые подается напряжение $U_0 = 1 \div 3$ кВ. При этом заряженные капли образованного тумана притягиваются к соответствующим электродам 6 и 7 и оседают на них. Напряжение U_0 и длина электродов выбираются таким образом, чтобы все капельки заряженного тумана осели на электродах и не попали на носитель информации 4 (рис. 5.12, а, поз. III). При этом незаряженные капли (при $U = 0$) беспрепятственно проходят пространство электродов 6 и 7 и попадают в нужную точку запечатываемой поверхности носителя информации 4. Для удаления чернил электроды выполняются пористыми (или один из них при выбранных знаках потенциалов на электроде 2 и электродах 6 и 7), и чернила отсасываются с их поверхности для последующей фильтрации.

Данный принцип управления капельной струей положен в основу построения трехцветного ЭКСРУ для регистрации графической информации, выдаваемой ЭВМ [84].

На рис. 5.12, б — д представлены основные узлы такого цветного ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением и электростатической модуляцией струи, допускающего печать 980×1250 бит информации для каждого из трех цветов: красного (М), желтого (Y) и голубого (C) и реализующего растровый принцип регистрации информации. Растр состоит из 1250 параллельных линий в каждом цвете, причем каждая

линия содержит 980 отдельных точек и реализуется по типу развертки в телевизионной электронно-лучевой трубке. Время нанесения цветного изображения на бумагу формата А4 размером 210×297 мм составляет 85 с независимо от сложности исходного изображения.

Функционально данное цветное ЭКСРУ состоит [84] из блока печати 3 (рис. 5.12, б), запоминающего и управляющего устройства 2 и лентопротяжного механизма 1 магнитной ленты. В свою очередь, блок печати 3 содержит сопловую головку 4 с тремя соплами, в которые под давлением 3 МПа подаются соответственно чернила красного, желтого и голубого

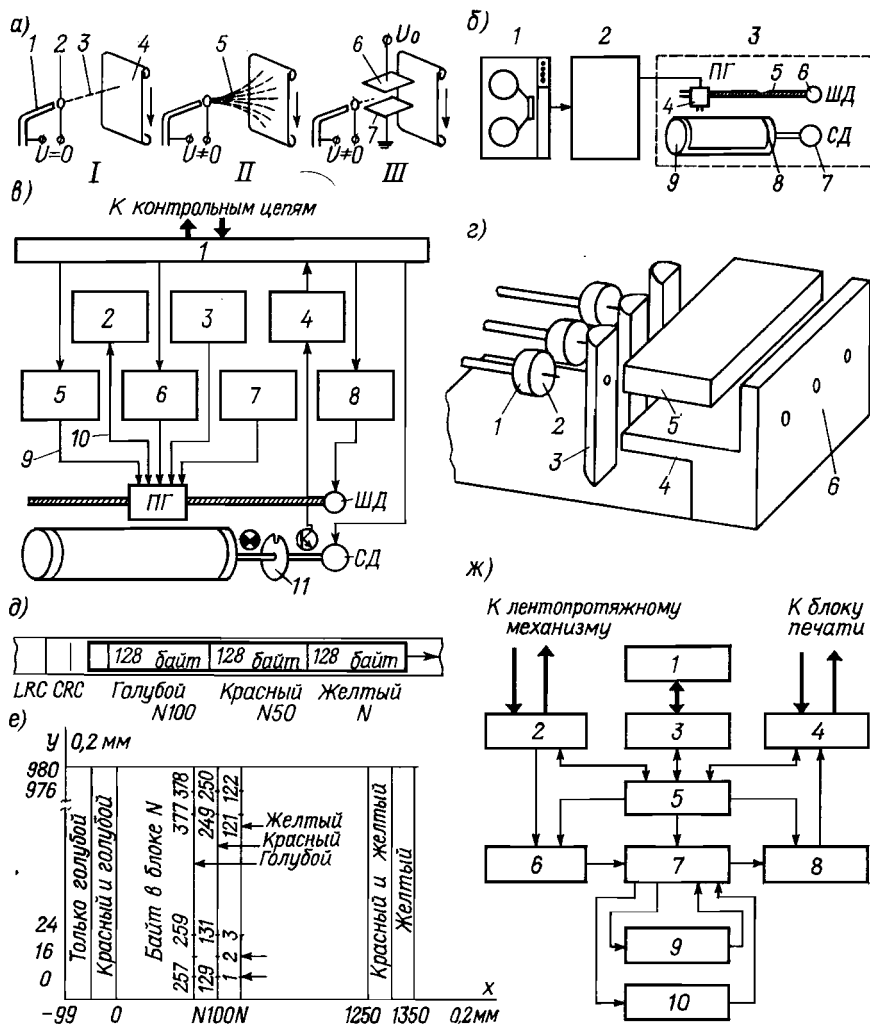


Рис. 5.12. Принципы построения ЭКСРУ для регистрации цветных изображений с эмиссией капель высоким постоянным давлением и электростатическим распылением струи чернил [84]

цветов. Пишущая головка 4 шаговым двигателем 6 перемещается по ходовому винту 5 на 0,2 мм за каждый оборот барабана 9 с закрепленным на нем носителем информации (листом бумаги формата А4). Барабан 9 вращается шестиполюсным синхронным мотором 7 с постоянной скоростью, равной 1000 об/мин. Он имеет длину 310 мм и диаметр 89 мм. При этом скорость отдельной точки поверхности барабана составляет 4,66 м/с, а период оборота равен 60 мс. Поскольку длина окружности барабана больше ширины бумаги 8 (210 мм), то фактическое время регистрации одной линии информации на бумаге составляет 43 из 60 мс.

Передвижение пишущей головки на 0,2 мм за каждый оборот барабана начинается с левого края барабана, причем если барабан 9 останавливается, то пишущая головка автоматически возвращается назад к крайней левой исходной точке. Шаг винта 5 выбран 1,6 мм, и при повороте винта на 45° пишущая головка 4 продвигается вдоль барабана 9 на 0,2 мм. Для этого шаговый двигатель 6 должен сработать три раза, поскольку одному его шагу соответствует угол поворота 15°.

Таким образом, при работе ЭКСРУ поверхность носителя информации 8 покрывают цветными параллельными линиями, перпендикулярными к оси барабана 9, с плотностью пять линий на 1 мм (каждым цветом печатается на бумаге 1250 линий).

Электростатически управляя капельными струями чернил, на носителе информации получают цветное изображение, скомпонованное из растровых линий красного, желтого и голубого цветов. При этом управление электростатической модуляцией струй (рис. 5.12, а) осуществляется микропроцессорами, входящими в блок 2. Для этого исходное цветное изображение преобразуется в электрические сигналы, кодируется тем или иным способом и записывается с использованием ЭВМ на магнитной ленте. Необходимый объем памяти для одной картинки составляет $3 \times 1250 \times 980 = 3,7$ млн бит (напомним, что каждая цветная линия содержит 980 точек).

На магнитной ленте одна картинка записывается в виде блоков двоичной информации, каждый из которых содержит 3×1024 бит данных для растровых линий трех различных цветов, причем 980 из 1024 бит используются для контроля 980 разных точек в каждой растровой линии. После этого магнитная лента вставляется в лентопротяжный механизм блока перемотки 1 (рис. 5.12, б), с нее считывается информация, которая поступает в блок 2 для управления процессом цветной электрокапельной регистрации информации. Поскольку скорость магнитной ленты и скорость барабана 9 различны, возникает необходимость запомнить информацию о цветном изображении в блоке памяти перед тем, как она будет распечатана. Буферная память разделена на две половины, каждая из которых содержит по три регистра (по одному на каждый цвет) по 1024 бит двоичной информации. При работе такого ЭКСРУ информация с одной половины памяти считывается для управления процессом модуляции разноцветных чернильных струй и одновременно вторая половина памяти дополняется данными с магнитной ленты для каждого оборота барабана 9. В следующем цикле регистры памяти работают в обратном порядке.

Входящий в состав 2 блок контроля синхронизирует подачу данных от магнитной ленты к памяти, считывание данных для управления пишущей головкой, моменты включения и отключения шагового двигателя 6 с учетом скорости вращения барабана 9.

Электростатическая модуляция характера движения капель чернил в пишущей головке выполнена в соответствии со схемой *III*, рис. 5.12, *а*.

Конструкция пишущей головки представлена на рис. 5.12, *г*. Слабо проводящие красные, желтые и голубые чернила насосом 5 (рис. 5.12, *в*) по трубопроводам под давлением 3 МПа подводятся к соответствующим соплам 2 с внутренним диаметром 10 мкм. Вытекающие из сопл 2 струи чернил проходят (в соответствии с рис. 5.12, *а*, поз. *III*) через отверстия распыляющих струи управляющих электродов 3 (рис. 5.12, *г*), напряжение на которые подается с выхода усилителя 6 (рис. 5.12, *в*). Диаметр отверстий управляющих электродов равен 2 мм, и они расположены на расстоянии 2 мм от среза сопл.

Подводящие каналы с чернилами соединены с землей. При наличии напряжения на каком-либо управляющем электроде (+400 В) соответствующая струя слабопроводящих чернил распыляется на мелкие униполярно заряженные капельки, которые затем попадают в пространство плоских отклоняющих электродов 4 и 5 (рис. 5.12, *г*), на которые подается напряжение с выхода высоковольтного источника питания 7. При этом ($U \neq 0$ на управляющих электродах 3 рис. 5.12, *г*) распыленные мелкие заряженные капельки чернил притягиваются к электродам 4 и 5, выполненным из пористого материала, и отсасываются насосом 2 (рис. 5.12, *в*) по каналу 10 возврата чернил (после фильтрации) обратно в резервуар. В случае, если управляющее напряжение $U = 400$ В, все заряженные капельки чернил отбираются из потока на отклоняющий электрод при напряжении U_0 на электродах 4 и 5, равным 1,5 кВ, расстоянии между электродами 4 мм и выбранном давлении питания 3 МПа и диаметре сопл 10 мкм. При этом незаряженные капли невозмущенной струи ($U = 0$) не отклоняются и попадают в заданную точку носителя информации, проходя через отверстие 6.

Однако в последнем случае наблюдается разброс диаметров капель, капли при своем движении на пути к бумаге могут сливаться в полете. Для получения незаряженных капель одного размера аналогично ЭКСРУ ВД здесь также для каждого сопла предусмотрены пьезоэлектрические преобразователи 1 (рис. 5.12, *г*), на которые с выхода ультразвукового генератора 3 (рис. 5.12, *в*) подается напряжение с частотой 1 МГц. Следовательно, сопла, испускающие красящие струи, вибрируют с частотой 1 МГц и таким образом процесс каплеобразования стабилизируется подобно тому, как это осуществлялось в ЭКСРУ с эмиссией капель высоким постоянным давлением с синхронизацией дробления струи. Естественно, при этом необходимо учитывать возможность наведения заряда на незаряженных каплях от ближайших заряженных капель с учетом того обстоятельства, что здесь использованы слабопроводящие чернила.

Изменяя потенциал на управляющих электродах 3 (рис. 5.12, *г*), таким образом можно модулировать чернильные струи на включение и отключе-

ние (по отношению к носителю информации) с верхним пределом частоты модуляции 100 кГц.

Каждая линия раstra на бумаге (рис. 5.12, *в*), закрепленной на барабане, должна начинаться с одной и той же позиции барабана при каждом его обороте. Для этого в конструкции ЭКСРУ предусмотрен фотоэлектрический датчик положения, содержащий жестко закрепленный на валу барабана с носителем информации диск 11 с прорезью, через которую при определенном положении вала (принятом за начальное) лучи света попадают на фототранзистор. Электрический сигнал с выхода фототранзистора усиливается усилителем 4, поступает через шину 1 к системе управления (рис. 5.12, *в*).

В разработанной конструкции такого цветного ЭКСРУ для построения графической информации, выдаваемой ЭВМ [84], стеклянные сопла пишущей головки для каждого из цветов — УМС — размещены на расстоянии 10 мм друг от друга. Данное устройство позволяет, как уже отмечалось выше, получать пять линий на 1 мм. Поэтому с учетом такого конструктивного размещения сопел пишущей головки с последовательным размещением сопел с желтыми, красными и голубыми чернилами при регистрации следа в трех цветах на одной линии запись красного цвета должна быть задержана на 50 линий, а голубого цвета — на 100 линий относительно желтого цвета. Последнее обстоятельство необходимо учитывать при подготовке исходных данных для цветной регистрации графических изображений. Выше уже отмечалось, что исходная информация о цветном изображении ЭВМ предварительно записывается на магнитную ленту (рис. 5.12, *б*) в виде 8-битовых слов, сформированных в блоки. Каждый блок в ряду содержит информацию для одного участка линии в цвете на картинке. Информация, выдаваемая ЭВМ, размещена в пределах координатной системы в 1024 рядах и 1250 колонках для каждого цвета.

На рис. 5.12, *д* в качестве примера показано расположение данных блока *N* на магнитной ленте, где стрелкой показано направление движения ленты. Каждый блок содержит информацию по трем растровым линиям в разных цветах — желтом, красном, голубом, причем каждая линия разделена на 1024 точек. Следовательно, для каждого цвета отведено 128 байт по 8 бит. Первая группа из 128 байт (рис. 5.12, *д*) несет информацию о желтом участке (отрезке) развертки исходного цветного изображения (колонке *N*). Вследствие того что сопла расположены на расстоянии друг от друга 10 мм и с учетом шага перемещения пишущей головки, информация о красном и голубом цвете записывается соответственно на 50 и 100 линий левее желтой линии (рис. 5.12, *д*, *е*). В конце блока (рис. 5.12, *д*) имеется несколько байтов, не несущих информации. Последний байт в блоке является граничным и обозначается буквами *CRC* и *LRC*, а последний блок в ряду служит для маркера ряда.

На рис. 5.12, *е* в качестве примера показан формат картины изображения данных блока *N*. Точка на бумаге является результатом наличия логической («1», а вертикальная линия — последовательности «1». Картина строится в 1250 растровых линиях, каждая из которых есть любая комбинация трех цветов УМС. В свою очередь, каждая растровая

линия содержит 1024 точки, из которых 980 точек используется для цветной регистрации. Результаты располагаются на площади считывания с координатами $y-x$ в 196×250 мм. Более чем 20 мм с левой и правой стороны этой площади также могут быть заполнены цветовым содержанием (рис. 5.12, е).

На рис. 5.12, е также показано расположение байтов в блоке. Первый байт, начинающийся со старшего разряда (*MSB*) и кончающийся младшим разрядом (*LSB*), располагается в конце желтого участка линии *N*. Затем идут по вертикальной линии последующие байты вплоть до 123 байта. Аналогичным образом 129—251 байт формируют красный участок линий ($N=50$), а 257—379 байт — голубой участок линий ($N=100$).

Регистрация цветной информации начинается нажатием кнопки «Печать» на пульте управления 1 (рис. 5.12, ж). При этом через интерфейсную плату 3 и блок 5 контроля магнитной ленты и струйного построителя графической информации включается барабан с закрепленным на нем листом бумаги и насос, нагнетающий под давлением 3 МПа разноцветные чернила к соответствующим соплам пишущей головки. Одновременно начинается считываться в режиме параллельного считывания по 8 бит (плюс один контрольный бит) первый блок информации, находящийся на магнитной ленте и подлежащий цветному графическому воспроизведению. При этом производится контроль правильности считывания.

Данная информация через интерфейсный блок 2, мультиплексор 6, устройство выбора регистров памяти 7 записывается в одном из двух регистров памяти: *A* или *B*, которые на рисунке обозначены соответственно 9 и 10. Пусть, например, записывается в регистр 9, причем запись производится в последовательном коде, начиная со старшего разряда каждого слова. В конце записи регистр 9 содержит $3 \cdot 1024$ бит информации для одного полного оборота барабана с листом бумаги.

По истечении 5 с после нажатия кнопки «Печать» (необходимых для полного нарастания давления чернил в соплах до 3 МПа и установления постоянной скорости вращения барабана) сигналы блока печати через интерфейсную плату 4 и блок 5 начинают считывать с магнитной ленты новый блок данных, который теперь записывается уже в регистр 10. Одновременно в регистре 9 запись информации о цветном изображении кончается и записанные в нем данные под управлением блока 7 и блока контроля цветной регистрации 8 через интерфейсную плату 4 управляют работой блока печати. При этом струи чернил красного, желтого и голубого цветов модулируются с частотой 23,3 кГц.

После того как напечатана первая линия раstra по данным, выбранным из регистра 9, пишущая головка перемещается шаговым двигателем на 0,2 мм и начинается вывод на печать данных из регистра 10. В это же время данные регистра 9 стираются и в регистр 9 начинает записываться с магнитной ленты информация о новой строке развертки цветного изображения.

Данный алгоритм работы повторяется до тех пор, пока не будет напечатана в цвете на носителе информации вся цветная картинка, информа-

ция о которой хранится на магнитной ленте. После этого триггер, включенный командой «Печать», возвращается в исходное положение, барабан с бумагой останавливается, а пишущая головка занимает начальное крайнее левое положение.

Предусматривается возможность печатать цветную картинку дважды. Для этого на пульте управления нажимается кнопка «Возврат» и лентопротяжный механизм прокручивает магнитную ленту назад на один ряд. В устройстве управления имеется счетчик рядов, информация с которого выводится на пульт управления, и оператор видит, какую картинку будет считывать система с ленты в следующем цикле. Для увеличения качества печати необходимо обеспечить постоянство давления питания во всех трех соплах пишущей головки, чтобы скорость струй всех сопел была одинаковой. При этом необходимо учитывать конечное расстояние распространения капельных струй от среза сопла до носителя информации (в устройстве, показанном на рис. 5.12, это расстояние равно 25 мм), что приводит к уменьшению скорости капель в момент их соударения с бумагой по сравнению с начальной. Последнее влияет на время полета капли, что необходимо учитывать при обеспечении синхронизации различных узлов печатающего блока.

К точности выполнения ходового винта, с помощью которого перемещается пишущая головка, предъявляются жесткие требования (при этом необходимо исключить люфты в механической части).

При выборе чернил для цветных ЭКСРУ необходимо кроме требований, отмеченных выше для рабочих жидкостей, исключить возможность их выцветания при длительном воздействии на них солнечного света.

На рис. 5.13 представлен еще один вариант цветного ЭКСРУ с электростатической модуляцией струй чернил желтого, красного и голубого цвета их распылением в электрическом поле [пат. 2350870 (ФРГ)]. Данное ЭКСРУ для регистрации цветных изображений содержит барабан 5 (рис. 5.13, а) с закрепленным на нем носителем информации 2 и три пишущих головки 7, 12, 15, каждая из которых состоит соответственно из сопел 6, 11, 17, управляющих электродов 8, 14, 18 (рис. 5.13, б). К соплам 6, 11, 17 соответственно подводятся чернила голубого, красного и желтого цветов под давлением до 3 МПа, поддерживаемым постоянным регуляторами давления 28—30, расположенными на выходах насосов 22, 23, 27. Насосы подают разноцветные чернила в блок печати соответственно из емкостей 24—26.

Если на одном из нескольких управляющих электродах 8, 14, 18 имеется управляющее напряжение, поступающее от управляющего устройства 1, то соответствующие струи чернил распыляются в создаваемом электрическом поле, образуя микрокапельный туман. Этот туман оседает на собирающих его пористых электродах и через трубопровод 19 отсасывается насосом 21. При этом капли чернил не попадают на носитель информации 2.

При отсутствии импульсов напряжения на управляющих электродах соответствующие капельные струи попадают на носитель информации, образуя цветную точку в заданном месте.

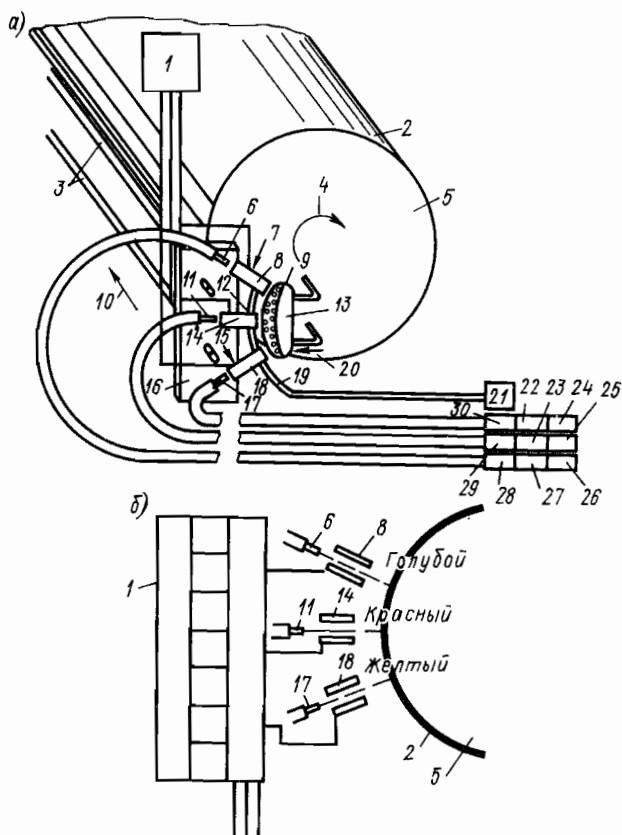


Рис. 5.13. Цветное электрокапеструйное устройство с эмиссией капель высоким постоянным давлением и электростатическим распылением струи чернил

Пишущие головки 7, 12, 15 закреплены на подвижной плате 16, перемещающейся по двум направляющим 3 вдоль барабана 5 в направлении 10. При этом барабан поворачивается в направлении стрелки 4.

В результате цветная регистрация изображения на носителе информации производится по винтообразной линии.

Управление капельными струями осуществляется от электронного блока 1, который получает информацию о цветном изображении по трем отдельным каналам соответственно для каждой пишущей головки электрокапеструйного устройства.

По окончании процесса регистрации плата 16 с пишущими головками возвращается в исходное положение, при этом блок 13 движется по направлению 20 и своей пористой поверхностью 9 прижимается к пишущим головкам, предотвращая вытекание чернил при отключении насосов. Одновременно он служит для промывки и удаления остатков чернил из пишущих головок.

В гл. 1 уже отмечалось широкое использование электрокапеструйных регистрирующих устройств в самых разнообразных отраслях промышленности, что определяется богатыми функциональными возможностями ЭКСРУ (см., например, рис. 1.13).

Общепризнанными достоинствами ЭКСРУ, обуславливающими все возрастающий к ним интерес разработчиков во всем мире, являются низкий уровень шума, возможность безударной печати на обычной недорогой бумаге, металле, керамике, пластмассе, кожах, тканях и других материалах плоских и криволинейных форм, возможность формирования на носителе регистрируемой информации сложной конфигурации (цифр, букв, элементов графического и полутонного, в том числе и цветного, изображений, иероглифов и т. п.) с управлением от микропроцессоров и микроЭВМ, легко изменять тип шрифта или осуществлять масштабирование формируемого изображения или его части. Быстрое развитие систем обработки информации и их количественный рост также способствует ускоренному развитию электрокапеструйного периферийного оборудования гибких автоматизированных производств, робототехнических комплексов, систем коллективного пользования и др.

ЭКСРУ могут быть использованы в графических системах цветных и черно-белых видеоизображений с изменяемым коэффициентом пространственного и временного масштабирования. Одним из основных направлений развития графических систем в настоящее время является переход к так называемым активным системам, синтезирующим двух- и трехкоординатные движущиеся изображения, которые позволяют широко использовать принцип моделирования в режиме диалога человек — машина. Учитывая широкие функциональные возможности, высокое быстродействие и низкую стоимость электрокапеструйного метода регистрации, ЭКСРУ можно эффективно использовать в этих системах для регистрации необходимой информации. В свою очередь, графические системы широко применяются в САПР, картографии, при разработке молекулярных моделей различных сложных органических веществ, а также для подготовки специалистов многих специальностей на тренажерах, имитирующих реальные условия в различных временных и пространственных масштабах.

Сначала в США, а затем в ФРГ ЭКСРУ нашли применение при регистрации на упаковках товаров даты изготовления продукции, ее массы, стоимости, номера и т. п. При этом вид, объем, конфигурация запечатываемых изделий могут быть различными.

Предполагается, что в недалеком будущем электрокапеструйные методы регистрации будут доминировать при оперативном впечатывании различной информации без использования печатной формы, поскольку с их помощью можно оперативно и с большой скоростью наносить текст и иллюстрационный материал на любые материалы. Использование ЭВМ как средства управления дает возможность легко менять кегль шрифта в пределах одной строки и в разных участках воспроизводимого материала, а также изменять межстрочные интервалы и содержание материала. При

обеспечении соответствующего качества печати особенно целесообразно применение ЭКСРУ для печати материалов с часто изменяющимся содержанием, например в газетном производстве для впечатывания последних новостей в газетную полосу. Для этого выбирают кислотность используемых чернил (краски) $pH=8 \div 10$, что обеспечивает легкость проникновения краски в поры газетной бумаги и быстрое ее закрепление в сушильном устройстве.

Многословными ЭКСРУ типа *DIIT*, разработанными фирмой *Mead. Corp.*, можно напечатать до 150 000 знак/с, что примерно соответствует числу знаков в одном номере газеты малого формата. Внедрена эта система в 1972—1975 гг.

За рубежом ЭКСРУ были применены для нанесения информации на упаковке в 1968 г. с использованием пишущих головок, разработанных фирмой «А. Б. Дик». В 1973 г. подобные головки были использованы для печатания формуляров. В 1974 г. фирма «Мюллер — Мартини» выпустила ЭКСРУ для печатания адресов на газетах и журналах с производительностью 54 тыс. надпечаток в 1 ч. В 1978 г. данная фирма выпустила новую миниатюрную пишущую головку для печатания адресов с использованием матриц 5×7 , пригодную для нанесения информации на почтовые отправления. Фирма *Dnelly Vierhand* (США — Голландия) установила на своем предприятии шесть подобных головок для запечатывания различных изделий, которые при эксплуатации подтвердили их эффективность. Успешным оказалось применение пишущих головок и на почтовых предприятиях ФРГ. В частности, газетное объединение *ЕАЦ* (*ЕАЗ*, Франкфурт-на-Майне) за 3,5 ч производит 70 тыс. почтовых отправлений. На предприятии *Frankfurter Societätsdruckerei* ЭКСРУ управляется магнитной лентой, на которой записаны адреса получателей (подписчиков) газет и журналов. Адрес воспроизводится в любом месте различным шрифтом, в любой последовательности на самом изделии, что исключает операции приклейки ярлычков с адресами и существенно упрощает процесс адресования. При этом допускается повторная регистрация информации на носителе. В 1979 г. фирма «Мюллер — Мартини» демонстрировала ЭКСРУ с несколькими пишущими головками, с помощью которых на отправляемое по почте изделие наносится текст информационно-рекламного характера. Производительность устройства составляет до 30 000 экз./ч.

В других модификациях ЭКСРУ, применяемых в адресовальных установках, с матрицей знака 5×7 скорость электрокалеструйного адресования составляла уже 48 000 адресов в 1 ч. При этом размер кеглей воспроизводимых знаков можно менять от 2 до 6 мм. Адреса могут быть отпечатаны в несколько строк или при необходимости в одну строку, что особенно важно в случае отправки газет и журналов, где адрес печатается на краю и для него не требуется оставлять специальное место. Причем шрифт может быть различного размера, например более крупно печатается почтовый индекс, чтобы его легче было разобрать.

В 1974 г. было сообщено, что фирма *American Can*, США вместе с фирмой «А. Б. Дик» разработала ЭКСРУ для печати шифров на поверхности упаковки объемных товаров,двигающихся по конвейеру. ЭКСРУ

осуществляет бесконтактную регистрацию цифровых, буквенных, буквенно-цифровых кодов в пределах 10 знаков и может быть применено для печати символов практически на любой поверхности (плоской, изогнутой формы) и на металле, бумаге, картоне, пластмассе, стекле. Скорость печати достигает 1375 знак/с при скорости движения запечатываемого изделия 6—210 м/мин. В зависимости от величины изделия данное ЭКСРУ может регистрировать до 2500 упаковок в 1 мин.

Возможен монтаж ЭКСРУ на рулонных офсетных машинах, при этом скорость работы офсетной машины может составлять 183—457 м/мин.

При реализации ЭКСРУ для маркировки перемещающихся относительно пишущей головки изделий могут быть использованы различного типа ЭКСРУ — с эмиссией капель электростатическим полем, с высоким постоянным или импульсным давлением. В ЭКСРУ ЭП развертка регистрируемого знака по координатам x, y осуществляется двумя отклоняющими системами пишущей головки и поэтому к синхронизации перемещения маркируемого изделия и пишущей головки предъявляются не очень жесткие требования. Однако, если в качестве базового в устройстве маркировки выбрано ЭКСРУ с эмиссией капель высоким постоянным давлением (ЭКСРУ ВД), то развертка знака в нем по оси x осуществляется уже вследствие относительного перемещения пишущей головки и носителя информации. Последнее обстоятельство предъявляет повышенные требования к синхронизации данного относительного перемещения для обеспечения высокого качества маркировки изделий, поскольку при колебании скорости относительного перемещения пишущей головки и поверхности маркируемого изделия пропорционально изменяются ширина наносимых знаков и интервалы между ними.

В СКБ ПС (г. Курск) в 1981 г. разработано [а. с. 1076311 (СССР)] ЭКСРУ ВД для маркировки изделий, перемещающихся транспортирующим средством, функциональная схема которого представлена на рис. 5.14. Устройство содержит генератор каплей 1; заряжающий электрод 2; отклоняющие пластины 3; ловушку незаряженных капель 4; маркируемое изделие 5, расположенное на транспортирующем средстве 6; датчик положения зоны печати 7; фотоэлектрический датчик с источником света 8, диском с отверстиями 9 и фотоприемником 10;

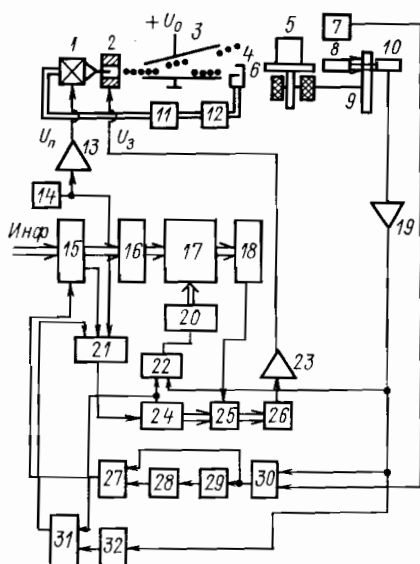


Рис. 5.14. Маркировка перемещающихся изделий электрокалеструйным способом

насос 11; резервуар с рабочей жидкостью (чернилами) 12; усилители 13, 19, 23; генератор 14; интерфейсный блок 15; входной 16 и выходной 18 регистры; постоянное запоминающее устройство 17; счетчики рядов 20 и строк 24; логические схемы «И» 21, 22, 28, 30; цифроаналоговый преобразователь (ЦАП) 26; элемент задержки 28; счетчик 29; триггер 31 и одновибратор 32.

При включении насоса 11 чернила (краска) под давлением подаются в генератор капель 1, на выходе сопла образуется струя, которая в зоне заряжающего электрода 2 распадается на монодисперсные капли. Для синхронизации и стабилизации процесса распада струи на капли на электроды пьезоэлектрического преобразователя генератора капель 1 подается от генератора 14 через усилитель 13 переменное напряжение U_n постоянной частоты. Уровень заряда капель определяется величиной напряжения U_z на заряжающем электроде 2, поступающего с выхода усилителя 23.

Маркировка изделий производится отклонением заряженных капель в поле отклоняющих электродов 3, на которые подано постоянное напряжение U_0 . Не участвующие в процессе маркировки незаряженные капли попадают в улавливатель 4 и после фильтрации поступают обратно в резервуар 12 с краской (чернилами).

Датчик 7 служит для формирования сигнала о нахождении изделия 5 в зоне маркировки, при этом на его выходе появляется логическая «1», поступающая на один из входов схемы «И» 30. Диск 9 фотоэлектрического датчика 8—10 кинематически связан с приводом транспортирующего средства 6 и вырабатывает сигнал (логическую «1») при совмещении одного из отверстий на периферии диска 9 с оптической осью источника света 8 и фотоприемника 10. При этом с выхода 10 через усилитель 19 и схему «И» 30 импульс напряжения поступает на вход счетчика 29 с основанием, равным числу отверстий в диске 9.

В исходном состоянии на выходе счетчика 29 имеется сигнал «1», который через элемент задержки 28 поступает на один из входов логической схемы «И» 27. На второй ее вход с выхода 30 подается сигнал «1» при срабатывании фотоэлектрического датчика 8—10. Выходной сигнал схемы 27 поступает на один из входов интерфейсного блока 15, разрешает запись информации на входной регистр 16 и вырабатывает сигнал, разрешающий печать столбца знака. Последний сигнал подается на один из трех входов логической схемы «И» 21, на второй вход которой подаются импульсы напряжения от генератора 14, а на третий — сигнал с выхода триггера 31. Триггер посредством одновибратора 32 устанавливается в «1» от импульсов, поступающих с выхода фотоэлектрического датчика 10. При наличии «1» на двух других входах 21 импульсы тактовой частоты от блока 15 управляют работой счетчика строк 24 и по окончании печати столбца сигнал с единичного выхода счетчика 24 устанавливает триггер 31 в «0».

В исходном состоянии на одном выходе счетчика строк 24 имеется «1», которая через схему «И» 22 разрешает прохождение «1» от 19 на вход счетчика рядов 20 и подготавливает считывание из запоминающего устройства 17 в выходной регистр 18 информации о первом столбце

знака, наносимого на поверхность маркируемого изделия. При этом во всех разрядах параллельного выхода счетчика имеется сигнал «0».

При работе данного ЭКСРУ для маркировки изделий на одном выходе счетчика 24 появляется сигнал «0», а сигналы со второго выхода поступают на вход коммутатора 25, управляемого от сигналов выходного регистра 18. Если имеем «1» на управляющем входе 25, то коммутатор разрешает прохождение кодов со счетчика строк 24 на цифроаналоговый преобразователь 26. И, наоборот, при «0» на входе коммутатора — запрещает прохождение информации на ЦАП.

Цифроаналоговый преобразователь 26 преобразует цифровую информацию в аналоговое электрическое напряжение, которое через усилитель 23 подается на заряжающий электрод 2. В соответствии со значением сообщенного капли заряда последняя отклоняется в поле отклоняющих электродов 3, и таким образом формируется первый столбец знака на поверхности маркирующего изделия 5. Следующий столбец знака будет сформирован (независимо от колебаний скорости транспортирующего средства) только при перемещении изделия на транспортирующем средстве на заданное расстояние, определяемое расстоянием между отверстиями на диске 9. При этом на выходе 10 фотоэлектрического датчика 8—10 появляется очередной импульс напряжения.

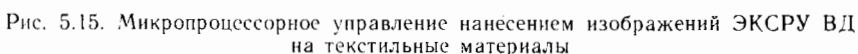
Информацию о следующем знаке можно вводить после окончания печати всех столбцов знака на поверхности маркируемого изделия только тогда, когда диск 9 сделает полный оборот, а счетчик 29 отсчитает суммарное число импульсов, соответствующее его основанию.

Таким образом, в устройстве, приведенном на рис. 5.14, на маркируемое изделие наносятся знаки заданной ширины независимо от скорости движения изделия на транспортируемом средстве.

С использованием ЭКСРУ наносят рисунки на ковровые ткани, причем требование к разрешающей способности (числу капель краски на 1 мм) может быть заниженным. Фирма *Peter Zimmer* (Австрия), например, в середине 1970-х годов выпустила ЭКСРУ для печати на ковровых тканях. В данном многосопловом устройстве сопла, в которые подается краска, располагаются на специальном мостике под передвигающимся полотном. Для каждой краски используется отдельный ряд сопел, которые крепятся на подвижной штанге поперек направления перемещения полотна. Расстояние между соплами равно 2,5 мм, причем могут быть установлены штанги, на которых сопла расположены и на 1,25 мм одно от другого. Предусмотрено автоматическое смещение штанг с соплами. В стандартном варианте один цикл срабатывания сопел соответствует перемещению полотна ткани на 2,5 мм. Таким образом, расположение сопел и скорость их срабатывания обеспечивают растр 4 линии/см. Средняя скорость печати на ковровых тканях в данном случае составляет от 8 до 15 м/мин. Работой сопел ЭКСРУ управляет микроЭВМ, в которую вводится программа о регистрируемом рисунке от магнитной ленты или магнитного диска.

Для сушки и резки ткани с нанесенным электрокаплеструйным способом изображением используются стандартные устройства, применяемые в подобных машинах.

Проводящая краска (чернила) насосом 9 (рис. 5.15, а) из резервуара 17 нагнетается под постоянным давлением в камеру 2 с соплом 11. На выходе каждого из сопл 11 образуется струя 12 краски (чернил), которая дробится на капли 4 в зоне заряжающего электрода 3. Если на заряжаю-



шем электроде отсутствует напряжение, то получают поток 5 незаряженных капель, каждая из которых проходит без отклонения после отклоняющих электродов 13, 13' и попадает в улавливатель 14. Напряжение на отклоняющих электродах выбирается постоянным и равным 2—3 кВ. Из улавливателя 14 краска (чернила) после фильтрации возвращается по трубопроводу обратно в резервуар 17. В заднюю стенку сопловой головки вмонтирован пьезоэлектрический преобразователь 10, переменное напряжение на который подается с выхода усилителя 20, служащий для стабилизации и синхронизации процесса каплеобразования.

Запечатываемый объект 7 (ткань, бумага) размещается на конвейере 15, который приводится в движение в направлении 6 электродвигателем 19 посредством передачи 18.

В ЭКСРУ (рис. 5.15) предусмотрена автоматическая калибровка заряда капель для каждого отдельного сопла, компенсация индивидуальных отличий в скорости каждой капли относительно средних скоростей других капель. Для этого предусмотрены датчики 16 и 16', устанавливаемые попарно внизу от носителя информации 7, которые реагируют на изменение заряда при пролете заряженной капли. Каждый из датчиков выполнен в виде U-образных электродов, соединенных со входом усилителя 8. С выхода усилителя напряжение аналого-цифровым преобразователем (АЦП) 27 преобразуется в двоичный код, который поступает в контроллер 26. Расстояние B между датчиками равно расстоянию между соплами (рис. 5.15, б). Датчики 16 и 16' располагаются таким образом, чтобы их положение соответствовало минимальному и максимальному углам отклонения заряженных капель между соседними электродами 13 и 13'. Последнее достигается соответствующей регулировкой параметров пишущей головки при вводе в эксплуатацию ЭКСРУ, в том числе и регулировкой сопл. При отклонении заряженных капель, испускаемых каждым соплом, образуется след длиной L .

В процессе работы ЭКСРУ напряжение U_z на заряжающих электродах, поступающее с выходов усилителей 23, может изменяться от 10 до 200 В при поддерживаемом постоянным напряжении на отклоняющих электродах $U_0 = 2 \div 3$ кВ.

В случае отклонения траектории движения капли от заданной на выходе датчиков 16 и 16' возникают сигналы, которые после усиления усилителями 8 преобразуются АЦП 27 в цифровой код, поступающий в контроллер 26. Контроллером определяются знак и величина отклонения от заданной траектории и вырабатываются управляющие сигналы, преобразуемые цифроаналоговыми преобразователями 23 в аналоговое изменение напряжения (или тока), которое после усилителя 21 поступает на соответствующие заряжающие электроды 3. Таким образом, корректируется заряд капли, испускаемой в данный момент соответствующим соплом.

Контроллер 26 управляет также работой пьезоэлектрического преобразователя 10 через цифроаналоговый преобразователь 25 и усилитель 20 и работой насоса через цифроаналоговый преобразователь 28 и усилитель мощности 1. С помощью датчиков 16 и 16' определяется время пролета капли от заряжающего электрода и, таким образом,

находится фактическая средняя скорость капли. В соответствии с этим контроллер 26 управляет насосом 9 таким образом, чтобы обеспечить заданную среднюю скорость капель из сопла пишущей головки путем изменения давления питания.

В рассматриваемых выше схемах ЭКСРУ ВД для создания высокого постоянного давления применялись, как правило, специальные насосы. Однако при наличии пневмосети в конкретных условиях работы ЭКСРУ высокое постоянное давление (до 0,3—1 МПа) можно получать и из пневмосети. Реализацию таких ЭКСРУ ВД проанализируем на примере их использования для точного дозирования жидкости электрокапеструйными методами. Точно дозировать различные жидкости необходимо при проведении технологических процессов в химической, биологической, медицинской, электротехнической и других отраслях промышленности. Электрокапеструйные способы позволяют осуществлять это простыми средствами с помощью микроЭВМ, обеспечивая при этом высокую точность и быстродействие.

В качестве примера на рис. 5.16 показан электрокапеструйный дозатор рабочей жидкости в сосуды, перемещающиеся с помощью конвейера [а. с. 1024731 (СССР)], выполненный на базе ЭКСРУ с эмиссией капель высоким постоянным давлением с синхронизацией дробления струи (ЭКСРУ ВД).

Характерной особенностью данного ЭКСРУ ВД является использование давления цеховой пневмосети для создания избыточного давления в сопловой камере с рабочей жидкостью. Для этого от источника избыточного давления 8 газ через электроуправляемое редуцирующее устройство 9 поступает под давлением во внутреннюю полость корпуса 4 с расположенной в ней деформируемой емкостью 5 с рабочей жидкостью. Давление газа в полости корпуса 4 поддерживается постоянным, а его величина устанавливается в зависимости от физико-химических свойств рабочей жидкости, предназначенной для дозирования, и конструктивных параметров пишущей головки ЭКСРУ ВД. Установка требуемого давления подается на один из входов дифференциального электронного усилителя 2 с относительно мощным выходом, на другой вход которого поступает сигнал от датчика давления 10 через блок температурной коррекции давления 3. В результате сравнения этих сигналов усилитель 2 управляет редуцирующим устройством 9 таким образом, чтобы давление в полости корпуса 4 было равно заданному.

Под действием созданного газом давления емкость 5, имеющая ребра жесткости 6, деформируется, и дозируемая жидкость по трубопроводу 15 подается под постоянным давлением в генератор капель 16. На выходе сопла генератора капель образуется непрерывная струя жидкости, которая с помощью пьезоэлектрического преобразователя 17 дробится на капли в зоне заряжающего электрода 21.

При отсутствии емкости 27 на конвейере 26, в которую необходимо дозировать жидкость, на заряжающем электроде 21 имеет место постоянное напряжение U_z , поступающее с выхода усилителя 20. В результате все образующиеся капли дозируемой жидкости заряжаются, отклоняются в поле отклоняющих электродов 23 в улавливатель 29 и далее попадают в

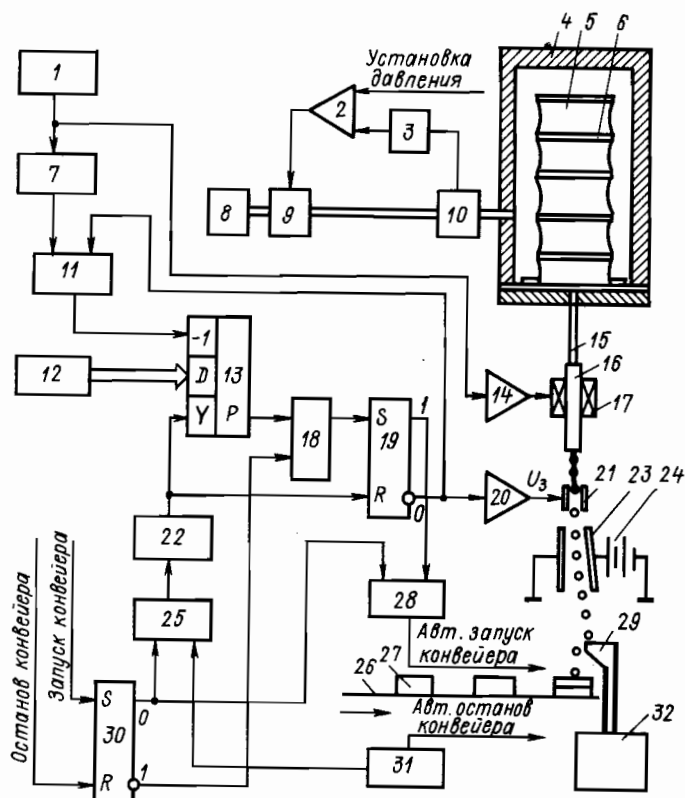


Рис. 5.16. Точное электрокапельное микродозирование жидкостей с созданием высокого давления от пневмосети

собирающую их емкость 32. На отклоняющие электроды 23 подается постоянное по величине высокое напряжение от источника 24.

Ребра жесткости 6 предотвращают перекрытие входа трубопровода 15.

Для стабилизации дробления струи дозируемой жидкости на капли в зоне заряжающего электрода 21 на пьезоэлектрический преобразователь 17 подается гармонический сигнал постоянной частоты от задающего генератора 1. Одновременно напряжение с выхода генератора 1 поступает на вход формирователя 7, который преобразует гармонический сигнал в последовательность прямоугольных импульсов той же частоты. Эти импульсы идут на один из входов логической схемы «И» 11.

Запуск конвейера с установленными на нем емкостями 27 осуществляется сигналом «Запуск конвейера», который подается на вход S триггера 30. В результате триггер перебрасывается, и логическая «1» с его выхода появляется на одном из входов логических схем «И» 25, 28. Поскольку в исходном состоянии триггер 19 на своем прямом выходе имеет также «1», то срабатывает схема 28 и автоматически запускает движение конвейера.

Наличие емкости 27 в зоне заправки контролируется датчиком 31. Если она конвейером подана в позицию дозирования, то срабатывает датчик 31 и логическая «1» с его выхода дает команду на остановку конвейера и одновременно поступает на второй вход схемы 25. В результате запускается одновибратор 22 и последним вырабатывается короткий импульс, прикладываемый к входу Y счетчика 13 и перебрасывающий триггер 19. Длительность выходного импульса одновибратора 22 достаточна по величине для записи через информационные входы в счетчик 13 с пульта 12 информации о норме дозирования.

Логическая «1» с инверсного выхода триггера 19 снимает напряжение U_3 с заряжающего электрода 21 и одновременно по второму входу логической схемы «И» 11 разрешает прохождение прямоугольных импульсов от формирователя 7 на вычитающий вход счетчика 13. В результате капли в зоне заряжающего электрода не получают заряда и движутся без отклонения к емкости 27, наполняя ее за время, необходимое для отсчета заданного числа капель счетчиком 13. После отсчета заданного числа капель на выходе счетчика появляется «1», которая через схему 18 устанавливает триггер 19 в исходное положение. На заряжающем электроде возникает напряжение U_3 , и заряженные капли отклоняются в ловушку 29. Одновременно инверсным выходом триггера 19 запрещается прохождение прямоугольных импульсов на вычитающий вход счетчика 13. Дозирование рабочей жидкости в первую емкость, таким образом, заканчивается. Одновременно с прямого выхода триггера 19 через схему «И» 28 вновь запускается конвейер, и после очередного срабатывания датчика 31 цикл дозирования повторяется.

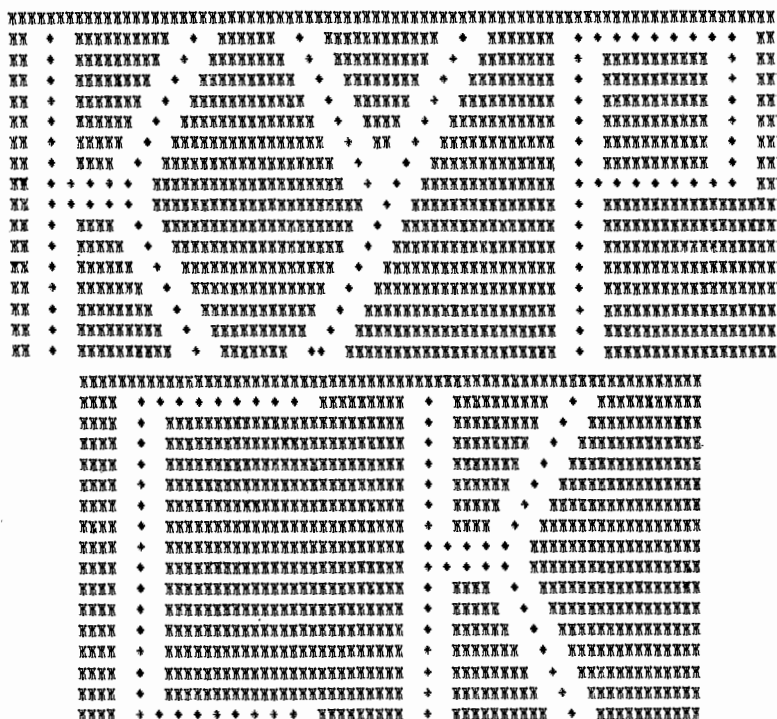
С учетом того, что диаметр капель дозируемой жидкости в ЭКСПУ составляет десятки микрон при высоком быстродействии и стабильности параметров каплеобразования, обеспечивается высокоточное микродозирование рабочей жидкости с высокой скоростью дозирования.

В заключение отметим, что области применения электрокаплеструйных регистрирующих устройств постоянно расширяются. ЭКСПУ в основе своей являются устройствами с микропрограммным управлением, что обеспечивает их богатые функциональные возможности при использовании в самых различных отраслях техники. Применение микропроцессоров в структуре ЭКСПУ позволяет программно реализовать функции управления, просто перестраивать интерфейсы регистрирующих устройств путем использования устройств микропрограммного управления, достаточно просто автоматизировать процесс обнаружения неисправностей, воспроизводить регистрируемую информацию в цвете и изменять ее размеры и конфигурацию в пределах одного носителя информации.

Наблюдаемая тенденция постоянного совершенствования микропроцессоров и микроЭВМ в части их миниатюризации, надежности, программного обеспечения, безусловно, будет способствовать широкому внедрению электрокаплеструйных методов в устройства, комплексы и технологические процессы различных отраслей промышленности.

ПРИЛОЖЕНИЕ

В качестве примера на рис. П1 — П5 в черно-белом исполнении представлены образцы отпечатков, выполненные в СКБ ПС (г. Курск) (рис. П1, П3) и в ЛИТМО (рис. П2) на односопловых ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением и на многосопловых ЭКСРУ типа «Мозанка=АО» ПС÷6401 с эмиссией капель импульсным давлением (рис. П4, П5). К сожалению, здесь не удалось представить цветные изображения, реализованные в СССР на многосопловых электрокапель-струйных регистрирующих устройствах с эмиссией капель импульсным давлением.



УСТРОЙСТВО ПЕЧАТАЮЩЕЕ СТРУЙНОЕ С МИКРОПРОГРАММНЫМ
УПРАВЛЕНИЕМ У П С - 1 2 0

Рис. П1. Образец печати, выполненный на ЭКСРУ ВД типа УПС-120



Рис. П2. Пример гибкого (программного) изменения характера воспроизводимой информации с помощью одного и того же ЭКСРУ ВД

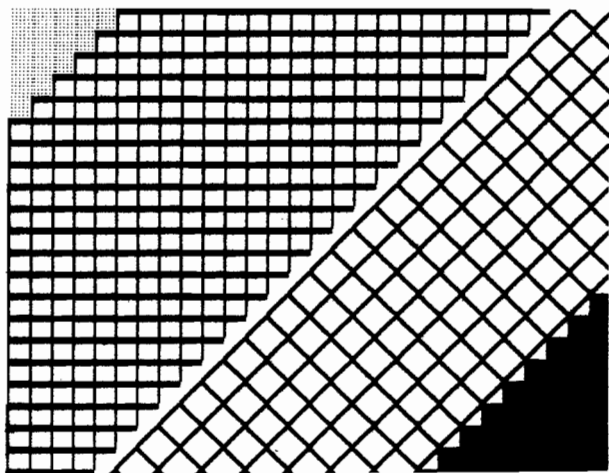


Рис. ПЗ. Программное изменение характера и величины шрифта при электро-
капеструйном способе регистрации информации

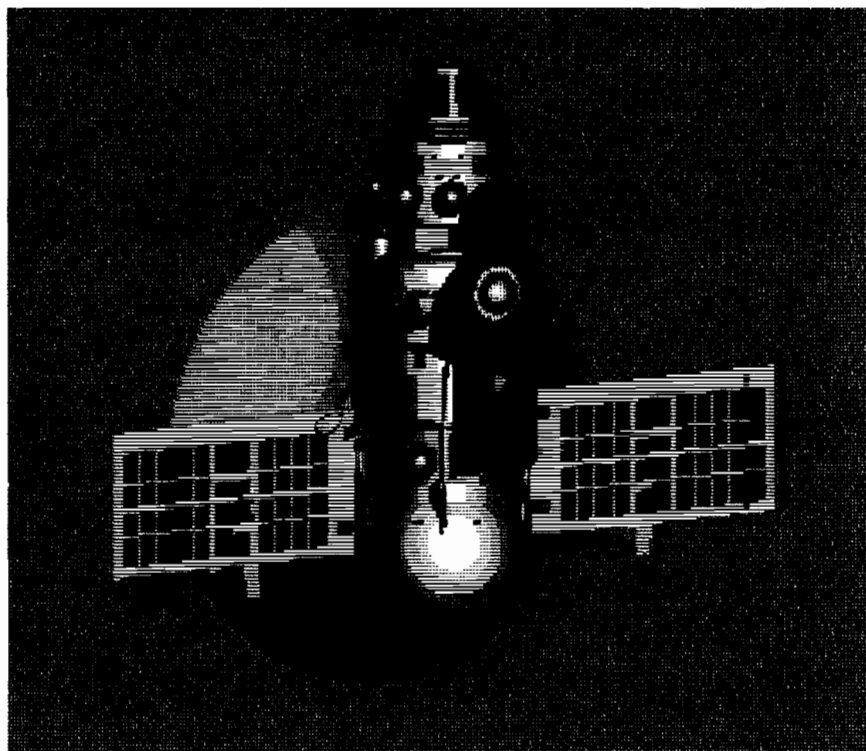


Рис. П4. Образец печати, выполненный на многосопловом ЭКСПУ ИД



Рис. П5. Портрет, выполненный на многосопловом электрокаплетруйном регистрирующем устройстве с эмиссией капель чернил импульсным давлением и использованием обыкновенного бумажного носителя информации

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. АСУ процессами дозирования/Под общ. ред. В. С. Нагорного Л.: Машиностроение, 1985. 223 с.
2. Безруков В. И., Нагорный В. С. Оптимизация каплеструйных выводных устройств ЭВМ//Изв. Вузов. Сер. Приборостроение. 1980. Т. 23. № 7. С. 52—55.
3. Безруков В. И. Исследование электрофлюидного каплеструйного печатающего устройства для ЭВМ. Дис. ... канд. техн. наук. Л.: ЛПИ, 1981. 266 с.
4. Безруков В. И., Бриллиант М. Д. Струйная печать. Способы реализации и области применения//Приборы и системы управления, 1985. № 7. С. 28—30.
5. Безруков В. И., Романенко С. Д., Доронин О. А. Разработка гибкого автоматического модуля электрокаплеструйной технологии с микропроцессорным управлением//Автоматическое управление и оптимизация технологических процессов: Материалы краткосрочного семинара. Л.: ЛДНТП. 1984. С. 49—53.
6. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1972. 767 с.
7. Бриллиант М. Д., Елимелех И. М. Струйная техника в печатных и отделочных процессах. М.: Книга. 1982. 184 с.
8. Бурев Т. К., Верещагин И. П., Пашин М. М. Исследование процесса распыления жидкостей в электростатическом поле//Сильные электрические поля в технологических процессах: Электронно-ионная технология. 1979. Вып. 3. С. 87—105.
9. Василевский Ю. А. Бессеребряные и электронные фотографические процессы. М.: НИКФИ. 1984. Вып. 1 (68). С. 3, 4, 35.
10. Василевский Ю. А. Фотография без серебра. М.: Искусство, 1984. 124 с.
11. Вебер К. Распад струи жидкости//Двигатели внутреннего сгорания: Сб. научн. тр. ОНТИ НКТП СССР. 1936. Т. 1. С. 25—54.
12. Демирчян К. С. Моделирование магнитных полей. Л.: Энергия, 1974. 283 с.
13. Денисов А. А., Нагорный В. С. Элементы электрогидравлических и электропневматических систем автоматики. Л.: ЛПИ, 1975. 196 с.
14. Денисов А. А., Нагорный В. С. Пневматические и гидравлические устройства автоматики М.: Высш. школа, 1978. 214 с.
15. Денисов А. А., Нагорный В. С. Электрогидро- и электрогазодинамические устройства автоматики. Л.: Машиностроение, 1979. 288 с.
16. Денисов А. А., Нагорный В. С., Безруков В. И. Характеристики электрогидродинамического каплеструйного регистрирующего устройства//Приборы и устройства струйной техники. Л.: ЛДНТП. 1980. С. 49—56.
17. Иванов А. П. Устройства вывода визуальной информации ЭВМ. Устройства регистрации. Горький: ГПИ, 1981. 94 с.
18. Имянитов И. М., Михайловская В. В. Самолетный прибор для измерения зарядов частиц осадков//Приборы и техника эксперимента. 1958. № 2. С. 86—91.
19. Карсон Р. С., Хендрикс В. Д. Электростатическое распыление жидкостей в режиме естественных пульсаций//Ракетн. техника и космонавтика. 1965. № 6. С. 110—115.
20. Лазуткин В. Н., Цыганов Ю. В. Аксиально-симметричные колебания и электрический импеданс пьезоэлектрических колец с радиальной поляризацией//Акустич. журн. 1971. Вып. 3. с. 394—399.

21. **Нагорный В. С.** Динамические характеристики электрокаплевых регистрирующих устройств//Приборы и устройства струйной пневмоавтоматики. Л.: ЛДНТП, 1983. С. 67—71.
22. **Нагорный В. С.** Электрокаплевые регистрирующие устройства: проблемы динамики и синтеза//Пневматические и гидравлические устройства и системы управления: X международная конференция «Яблони-86». М.: Энергоатомиздат, 1986. С. 297—300.
23. **Нагорный В. С.** Электрофлюидные преобразователи.— Л.: Судостроение, 1987. 168 с.
24. **Нагорный В. С., Безруков В. И.** Исследование эмиссии капель в электростатическом поле//Магнитная гидродинамика. 1980. № 3. С. 111—117.
25. **Нагорный В. С., Безруков В. И.** Элементы проектирования каплевых регистрирующих устройств//Изв. вузов СССР. Сер. Приборостроение. 1981. Т. 24 № 3. С. 16—20.
26. **Основы электрогазодинамики дисперсных систем**/И. П. Верещагин, В. И. Левитов, Г. З. Мирзабекян, М. М. Пашин. М.: Энергия, 1974. 480 с.
27. **Падалка В. Л., Селютин В. А.** Струйный способ печати//Приборы и системы управления. 1975. № 5. С. 40—42.
28. **Падалка В. Л., Рязанский В. П.** Струйные печатающие устройства с эмиссией каплевой струи пульсирующим давлением//Приборы и системы управления. 1975. № 7. С. 41—42.
29. **Падалка В. Л., Тарасов А. М.** Эмиссия капель электростатическим полем в струйных печатающих устройствах//Вопросы радиоэлектроники. Сер. Электронная вычислительная техника. 1978. Вып. 2. С. 34—40.
30. **Падалка В. Л.** Технические возможности и перспективы использования струйного способа печати в терминалах систем коллективного пользования//Управляющие системы и машины. 1977. № 4. С. 88—93.
31. **Печатающие устройства**/Н. Н. Савета, Л. М. Хохлов, Б. С. Брикман и др. М.: Машиностроение, 1977. 245 с.
32. **Поль Р.** Учение об электричестве. М.: 1962. 516 с.
33. **Продажа безударных печатающих устройств на мировом капиталистическом рынке в 1979—1985 гг.**//Радиоэлектроника за рубежом. 1981. № 18. С. 34—35.
34. **Рэлей Дж.** Теория звука. Т. 2. М.: Гостехиздат, 1955. 475 с.
35. **Современное состояние и тенденции развития печатающих устройств:** Обзорная информация ЦНИИТЭИ приборостроения. ТС-2. Средства вычислительной техники и оргтехники/Г. Я. Глазов, Л. М. Дризовский, Л. А. Меньшикова и др. 1981. Вып. 3—4. 42 с.
36. **Специализированное цифровое печатающее устройство**/ В. А. Бульда, В. В. Гнобкин, Б. В. Голишев и др. Л.: ЛДНТП, 1977. 24 с.
37. **Техника кино и телевидения.** 1984. № 2.
38. **Физическая акустика.** Т. 1. Ч. А/Под ред. У. Мезона. М.: Мир, 1966. 592 с.
39. **Чернилоструйный аппарат** фирмы Оки//Оки дэнки дэнхо. 1973. Вып. 95. Т. 39. С. 24—31.
40. **Шкадов В. Я., Запryanов З. Д.** Течение вязкой жидкости. М.: МГУ, 1984. 200 с.
41. **Bayer R. G., Sirico J. L.** Influence of Jet Printing Inks on Wear//IBM Journal of research and development. 1978. V. 22. № 1. P. 90—93.
42. **Beach B. L., Hildenbrandt, Reed W. H.** Materials Selection for an Ink Jet Printer//IBM Journal of research and development, 1977. V. 21. № 1. P. 75—80.
43. **Beasley J. D.** Model for Fluid Ejection and Refill of an Impulse Drive Jet//J. Appl. Photogr. Eng., 1977. № 3. P. 78—82.
44. **Beuhner W. L., Hill D. J., Williams T. H.** Application of Ink Jet Technology to a Word Processing Output Printer//IBM Journal of research and development. 1977. V. 21. № 1. P. 2—9.
45. **Bodenstein C., Otto R.** Der Tintenstrahl — schreiber als Hard — Copy — Drucker für Datensichtgeräte//Feinwerk Technik. 1971. Heft 9. S. 365—368.
46. **Bogy D. B.** Break-Up of a Liquid Jet: Second Perturbation Solution for One-Dimensional Cosserat. Theory//IBM Journal of research and development. 1979. V. 23. № 1. P. 87—92.

47. **Bogy D. B., Talke F. E.** Experimental and Theoretical Study of Wave Propagation Phenomena in Drop-on-Demand Ink Jet Devices//IBM Journal of research and development. 1983. V. 27. № 2. P. 171—180.
48. **British** journal of photography. 1982. № 14. P. 357, 363.
49. **Bruce C. A.** Dependence of Ink Jet Dynamics on Fluid Characteristics//IBM Journal of research and development. 1976. V. 20. № 3. P. 258—270.
50. **Bugdayci N., Bogy D. B., Talke F. E.** Axisymmetric Motion of Radially Polarized Piezoelectric Cylinders Used in Ink Jet Printing//IBM Journal of research and development. 1983. V. 27. № 2. P. 171—180.
51. **Curry S. A., Portig H.** Scale Model of an Ink-Jet//IBM Journal of research and development. 1977. V. 21. № 1. P. 10—20.
52. **Darling R. H., Lee C. H., Kuhn L.** Multiple-Nozzle Ink-Jet Printing Experiment//IBM Journal of research and development. 1984. V. 28. № 3. P. 300—306.
53. **Duffield O.** A new niche for ink-jet printers//Minimicro systems. 1982. V. 15. № 7. P. 187—190, 192.
54. **Electronics.** 1983. V. 56. № 19. P. 21.
55. **Erikson R.** Ink jet printing with mechanically Deflected jet Nozzles, Rep. 1. 1975. P. 1—5.
56. **Fachzeitung.** 1981. April. S. 6.
57. **7-Farb-Drucker** mit 5×7-Punkt matrix//Elektronik. 1983. № 14. S. 86.
58. **Filmore G. L., Buchner W. L., West D. L.** Drop Gharging and Deflection in an Electrostatic Ink-Jet Printer//IBM Journal of research and development. 1977. V. 21. № 1. P. 37—47.
59. **Fromm J. E.** Numerical Calculation of the Fluid Dynamics of Drop-on-Demand Jets//IBM Journal of research and development. 1984. V. 28. № 3. P. 322—333.
60. **Ganz R., Dohrman H. J.** Farbgrafische Ausgabssysteme//ZwF. 1981. № 5. S. 223—239.
61. **Göran Lung** vist, Contributions in the Field of piezoelectric capillary injector// Technical Report. Chalmers University of Technology. 1977. № 78. 14 S.
62. **Hannover** Highlights//Datapro Reports on Word Processing. 1983. V. 7. № 6. P. 1—8.
63. **Heizl J., Rosenstock G.** Lautloser Tintendruck für Schreibstationen//Siemens-Zeitschrift. 1977. 51. Heft 4. S. 219—221.
64. **Hertz E. H., Meyer R.** Aufzeichnungsvorrichtung (Agfa — Gevalrt A G), OS 2147934 (BRD)//Anm. 25.09.1971, 29.03.1973.
65. **Humbel V.** Das Ink-Jet-Verfahren — eine Übersicht//Fach. Chemigr., Lithogr. und Tiefdruck. 1977. № 5. S. 282—290.
66. **IBM** new textprocessor//Business Systems and Equipment. 1977, № 3. P. 13.
67. **IBM** wieder vorn mit Tintendrucker//BIT. 1976. № 12. S. 46.
68. **Ink-Jet emphasis.** Printing World. 1980. July, № 16. P. 18.
69. **Ink-Jet Drucken** — Wirkungsweise und Perspektiven. Fach. Chemigr., Lithogr. und Tiefdruck. 1972. № 3. S. 147—155.
70. **Ink-Jet printer.** Office. 1983. V. 98. № 1 P. 149.
71. **It's** sunnyside up for ink jet printing//American Printer and Lithographer. 1980. V. 185. № 6. P. 56—58.
72. **Johnson S. H.** Ink-Jet Printing System — An Analytical Computer Model//IEEE Transactions on Industry Applications. 1976. № 3. P. 294—305.
73. **Kamphoefner F. J.** Ink Jet Printing//IEEE Transactions on electron devices. 1972. № 4. P. 584—593.
74. **Keur R. L., Stone J. J.** Some Effects of Fluid jet Dynamics on Ink Jet Printing//IEEE Transactions on Industry Applications. 1976. January/February. P. 86—90.
75. **Kraus H., Wismuller S.** Sicograph, Ausgabeterjinal für flachenhafte Farbdarstellungen//Siemens Zeitschrift. 1975. № 1. S. 34—40.
76. **Kyser E. L., Collins L. F., Herbert H.** Design of an Impulse Ink Jet//J. Appl. Photogr. Eng. 1981. № 7 P. 73—79.
77. **Lee F. C., Mills R. N., Talke F. E.** The Application of Drop-on-Demand Ink Jet Technology to Color Printing//IBM Journal of research and development. 1984. V. 28. № 3. p. 307—313.
78. **Levanoni M.** Study of Fluid Flow through Scaled-up Ink Nozzles//IBM Journal of research and development. 1977. V. 21. № 1. P. 56—68.

79. **Non-impact** printers from Diablo//Datapro Reports on Office Systems. 1983. V. 10. № 55. P. 1—2.
80. **Procedes d'impression dans les Imprimantes rapides pour ordinateurs: III-Les imprimantes sans frappe**//Ingenieurs Techniciens. 1971. Sept. № 256. P. 15.
81. **P's and Quiet**//Office. 1983. V. 98. № 4. P. 148.
82. **Raleigh L.** On the equilibrium of liquid conducting masses charged with electricity//Philosophical Magazine. 1882. V. 14. P. 184—186.
83. **Russel H., Van Briner.** High Speed Ink Jet Technology//Concon '74 Innovat and Change Comput: Des 8-th IEEE Comput. Soc. Int. Count., 1974. P. 137—139.
84. **Smeds R.** A 3-Colour Ink Jet Plotter for Computer graphics//BIT (Sver). 1973. V. 13. № 3. P. 181—195.
85. **Stemme E, Larson S. G.** The piezoelectric capillary injector — a new hydrodynamic method for dot pattern generation//IEEE Trans. Electron. Devices. 1973. V. 20. № 1. P. 14—19.
86. **Sweet R. G.** High-Frequency Oscillography with Electrostatically Deflected Ink-Jet//Stanford Electronics Laboratories Technical Report. 1964; Stanford University. March. № 1. 1972. P. 11.
87. **The Pros and Cons of Ink Jet Printers**//Administrative Management. 1980. № 7. P. 55—57.
88. **Weber C.** Zum Zerfall eines Flüssigkeits strahles//Z. Angew. Math. Mech. 1931. V. 11. S. 136.
89. **Zable J. L.** A sensitive Thrust-measuring Device//Exp. Mech. 1975. V. 15. P. 365—368.
90. **Zalewski E. W.** Electrostatic Ink-Jet Printing//IEEE IAS Annu Meet. Pap 10-th Annu. Meet. New York. 1975. P. 19—23.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1	
СОСТОЯНИЕ И ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РЕГИСТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ	5
1.1. Этапы совершенствования регистрирующих устройств и тенденции их развития	—
1.2. Струйные способы регистрации информации	13
1.3. Классификация электрокаплеструйных регистрирующих устройств	35
Глава 2	
ЭЛЕКТРОКАПЛЕСТРУЙНЫЕ РЕГИСТРИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА С ЭМИССИЕЙ КАПЕЛЬ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИМ ПОЛЕМ	39
2.1. Физические процессы каплеобразования и сообщения заряда каплям чернил (краски) в ЭКСРУ с электростатической эмиссией капель. Основные уравнения	—
2.2. Реализация метода электрокаплеструйной регистрации информации с электростатической эмиссией капель	49
2.3. Расчет статических и динамических характеристик узлов формирования, ускорения и отклонения капель в ЭКСРУ с электростатической эмиссией	60
2.4. ЭКСРУ с электростатической эмиссией капель типа УПС-35	73
Глава 3	
ЭЛЕКТРОКАПЛЕСТРУЙНЫЕ РЕГИСТРИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА С ЭМИССИЕЙ КАПЕЛЬ ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ	122
3.1. Физические процессы каплеобразования в ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением и синхронизацией дробления струи	—
3.2. Физические процессы сообщения заряда каплям рабочей жидкости в ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением и синхронизацией дробления струи. Основные уравнения	142
3.3. Отклонение капель рабочей жидкости в ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением и синхронизацией дробления струи	147
3.4. Статические и динамические характеристики узлов заряда и отклонения капель в ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением и синхронизацией дробления струи	152
3.5. Основы реализации ЭКСРУ с эмиссией капель высоким давлением и синхронизацией дробления струи	155
Глава 4	
ЭЛЕКТРОКАПЛЕСТРУЙНЫЕ РЕГИСТРИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА С ЭМИССИЕЙ КАПЕЛЬ ИМПУЛЬСНЫМ ДАВЛЕНИЕМ	184
4.1. Физические процессы в ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением	—
4.2. Статические и динамические характеристики работы пишущей головки ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением	192

4.3. Реализация ЭКСРУ с эмиссией капель импульсным давлением. Повышение качества регистрации информации	205
Глава 5	
ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОКАПЛЕСТРУЙНЫХ РЕГИСТРИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ	212
5.1. Выбор рациональных физико-химических параметров рабочей жидкости (чернил, краски) и материалов в ЭКСРУ	—
5.2. Многосопловые и матричные ЭКСРУ	238
5.3. Регистрация цветных изображений электрокаплеструйными способами	
5.4. Другие примеры применения ЭКСРУ	251
Приложение	261
Список литературы	264

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ

Нагорный Владимир Степанович

ЭЛЕКТРОКАПЛЕСТРУЙНЫЕ РЕГИСТРИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Редактор *Р. Н. Михеева*. Переплет художника *В. В. Пожидаева*.

Художественный редактор *Н. В. Зимаков*

Технические редакторы *П. В. Шиканова, Т. М. Жилич*.

Корректор *А. А. Румянцева*

ИБ № 5058

Сдано в набор 18.11.87. Подписано в печать 10.08.88. М - 33433. Формат 60×88¹/₁₆. Бумага офсетная № 2. Гарнитура литературная. Печать офсетная. Усл.печ. л. 17,0. Усл.кр.-отт. 17,0. Уч.-изд. л. 18,87. Тираж 4280 экз. Заказ 2693/781. Цена 1 р. 30 к.

Ленинградское отделение ордена Трудового Красного Знамени
издательства «Машиностроение» 191065, Ленинград, ул. Дзержинского, 10

Диaposитивы изготовлены в Ленинградской типографии № 2 головном предприятии ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 198052, г. Ленинград, Л-52, Измайловский проспект, 29.

Отпечатано в Ленинградской типографии № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14.