

**Г. Ф. БАКАНОВ, С. С. СОКОЛОВ**

# **РАДИОАППАРАТУРАНЫ ҚҰРАСТЫРУ МЕН ЖАСАП ШЫҒАРУ**

**Оқулық**

*Орта кәсіптік білім беру бағдарламаларын  
іске асыратын білім беру мекемелерінің оқу үрдісінде қолдануға арналған оқулық  
ретінде «Білім беруді дамытудың федералды институты»  
Федералды мемлекеттік мекемесімен ұсынылған  
2009 жылғы 28 сәуірдегі  
рецензиясының тіркеу нөмірі 144 «БДФИ» ФММ*

3-ші басылым, стереотипті



Мәскеу  
«Академия» Баспа орталығы  
2015

Бұл кітап Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі және «Кәсіпқор» холдингі» КЕАҚ арасында жасалған шартқа сәйкес «ТЖКБ жүйесі үшін шетел әдебиетін сатып алуды және аударуды ұйымдастыру жөніндегі қызметтер» мемлекеттік тапсырмасын орындау аясында қазақ тіліне аударылды. Аталған кітаптың орыс тіліндегі нұсқасы Ресей Федерациясының білім беру үдерісіне қойылатын талаптардың ескерілуімен жасалды.

Қазақстан Республикасының техникалық және кәсіптік білім беру жүйесіндегі білім беру ұйымдарының осы жағдайды ескеруі және оқу үдерісінде мазмұнды бөлімді (технология, материалдар және қажетті ақпарат) қолдануы қажет.

Аударманы «Delta Consulting Group» ЖШС жүзеге асырды, заңды мекенжайы: Астана қ., Иманов көш., 19, «Алма-Ата» БО, 809С, телефоны: 8 (7172) 78 79 29, эл. поштасы: info@dcg.kz

Рецензенттер:

«МКБ “Компас”» БАҚ бас директорының орынбасары

*Т.Е. Ксенофонтова;*

*ғарыш құралдарын жасаудың Мәскеу техникумының оқытушысы*

*Л.А. Сосновская* **Г. Ф. Баканов**

Ж191 Радиоаппаратыраны құрастыру мен жасап шығару: Орта кәсіптік білім беру мекемелерінің студенттеріне арналған оқулық / Г. Ф. Баканов, С.С.Соколов. — 3-ші бас., стер. — М.: «Академия» баспа орталығы, 2015. — 384 с.

ISBN 978-601-333-252-9 (каз.)

ISBN 978-5-4468-2444-1 (рус.)

Оқу құралын «Радиоаппаратурақұрылысы» мамандығы бойынша ПМ.01«Техникалық құжаттамаға сәйкес радиотехникалық жүйелерді, құрылғылар мен кондырғыларды құрастыру және монтаждауды орындау мен ұйымдастыру» (МДК.01.01) кәсіптік модульін меңгеру үшін пайдалануға болады.

Радиоэлектрондық құралдарды (РЭҚ) заманауи элементтік базасында жобалаудың теориялық негіздері мен қолданбалы аспектілері және оларды өндірудің негізгі технологиялық процестері қарастырылды. Өндірістік процестердің қолайсыз факторларының, өндірістің технологиялық процестерінің, сондай-ақ заманауи экологиялық талаптарды қанағаттандырудың РЭҚ-нің тұрақтылығын қамтамасыз етудің әдістері мен құралдарына баса назар аударылды. Конструкторлық құжаттарының түрлері және құжат айналымының негіздері берілген.

Жалпы орта білім беретін мектептердің студенттері үшін.

## **АЛҒЫ СӨЗ**

Қазіргі заманғы радиоэлектронды құралдарды (РЭҚ) құру дәйекті түрде іске асырылған және өзара байланысқан жобалық және өндірістік кезеңдерді қамтиды. Аукымы мен мазмұны бойынша әртүрлі кезеңдер маңызды болып табылады, оларды аралық салалар мамандарымен өзара іс-қимыл жасап жанасымды мамандар жүзеге асырады.

Оқулықтың мақсаты болашақ маманның сенімді және бәсекеге қабілетті РЭҚ құру мәселесін толығымен көруге көмектесу; өнімнің функцияларын(қызметтерін) табысты жұмысы оның элемент базасын және өнімнің конструкциясын дұрыс таңдауға, қазіргі заманғы өндірістік технологияларды қолдана отырып пайдалану жағдайларына қол жеткізуге болатын қолайсыз факторлардың әсеріне(ықпалына) төзімділігіне байланысты екенін көрсету болып табылады.

РЭҚ-нің конструкцияларының бар болғаннан бастап дамудың бірнеше кезеңдерінен өтті. Әрбір кезеңнің басталуы электрлік сигналдың(радиолампа, транзистор, микросұлба қуатын күшейтуге қабілетті жаңа белсенді элементтің пайда болуымен байланысты).

Өз кезегінде, конструкциялардың жаңа түрлері, оларды орнату және коммутация әдістері, оларды жобалау және өндіру тәсілдері мен әдістері пайда болды. Уақыт өте келе РЭҚ функционалдық тұрғыдан күрделі, сенімді, технологиялық, экономикалық және ауыртпалықсыз болды. РЭҚ үшін схемалар, жобалау және өндіру технологиясының тәуелсіз кезеңдері өзара тәуелді болды. Сондықтан, осы оқулықтың арқасында, соңғы уақытта конструкторлар мен технологтардың мамандықтарына қалыптасқан жағымсыз көзқарасты еңсере отырып, тек РЭҚ-ны жобалайтын және өндіретін ғана емес, сондай-ақ схемотехника проблемаларын түсінетін мамандардың маңызды рөлін көрсеткіміз келеді.

Оқулыққа негіз 2007 жылы «Академия» баспа орталығымен жарияланған «Радиоэлектрондық құралдардың технологиясы және құрастыру негіздері» оқу құралы болып табылды [2].

Кітаптың шектеулі көлемі РЭҚ автоматтандырылған жобалау әдістерімен және құралдары жөніндегі маңызды материалды қарастыруға мүмкіндік бермеді. Бұл материалдың толық сипаттамасын И.Мироненко редакциясымен оқу құралында табуға болады. [1].

Оқулықтың I бөлімі С.С.Соколовпен, II бөлімі - Г.Ф. Бакановпен жазылған.

## НЕГІЗГІ ҚЫСҚАРТУЛАРДЫҢ ТІЗІМІ

|      |                                               |
|------|-----------------------------------------------|
| БЛЭ  | — базалық логикалық элемент                   |
| БТ   | — биполярлық транзистор                       |
| ЫӨБМ | — ылғал өткізбейтін бітеуленген материал      |
| ИС   | — иондаушы сәулелену                          |
| ИМС  | — интеграл микросұлба                         |
| КҚ   | — конструкторлық құжаттама                    |
| КҚ   | — коммутациялық құрылғы                       |
| СК   | — салмақ түсіретін конструкция                |
| МТ   | — мөрлік тақша                                |
| ДТ   | — далалық транзистор                          |
| ПЭ   | — пьезоэлектрлік элемент                      |
| РС   | — радиациялық төзімдік                        |
| РЭҚ  | — радиоэлектрлік құрал                        |
| РСП  | — радиациялық-сезгіш параметр                 |
| ЖТҚҚ | — жылу тәртібін қамтамасыздау құралы          |
| ТҚ   | — технологиялық құжаттама                     |
| ТКЛР | — сызықтық кеңедің температуралық коэффициент |
| ШГБ  | — шартты графикалық белгілер                  |
| ЦИМС | — цифрлық Имс                                 |
| ЭМӨ  | — электромагнит өрісі                         |
| ЭРК  | — электрорадиокомпонент                       |

## **РАДИОЭЛЕКТРЛІК ҚҰРАЛДАРДЫҢ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫ**

### **Бөлім 1**

#### **Электррадиокомпоненттер**

##### **1.1. Электррадиокомпоненттер радиоэлектрондық құрылғылардың жаңа буыны**

Электррадиокомпоненттері (ЭРК) - радиоэлектрондық құралдарды әзірлеуші мамандандырылған кәсіпорындармен жеткізілетін электронды және электротехникалық бұйымдардың жиынтығы.

Тәжірибе көрсеткендей, ЭРК номенклатурасы және ғылымның, техника мен технологияларның дамуына байланысты әр 7 -10 жыл сайын маңызды жаңғырту жұмыстары жүргізіледі, соның нәтижесінде жалпы ЭРК және РЭҚ-ның жаңа туындысы жасалады. Жаңа белсенді ЭРК түрінің – электрлік тербелістің қуатын күшейте алатын компоненттің пайда болумен әрбір жаңа буын туындаумен ескеріледі.

РЭҚ бірінші буыны, радиобайланыс практикалық қолданудың басталуынан 1950-шы жылдың аяғына дейін болған, ол электрвакуумдық аспаптардың (радиошамдар) негізінде жасалған. Бұл РЭҚ буыны үлкен габриттік өлшемдер мен массамен, энергияны елеулі қолданумен, сенімділіктің төмен деңгейімен және үлкен еңбек сыйымдылығымен ерекшелінеді.

РЭҚ екінші буыны (1960- 1970-е гг.) - транзисторлар мен диодтардың дискретті шала өткізгішті аспаптарда жасалды. Бұл буынның аппаратурасы негізгі массасы, габаритті өлшемдері және энергияны үнемдеуі, әсіресе жоғары сенімділік және сериялы және массалық өндірісінде үлкен келіспеушілікті тудырады.

РЭҚ үшінші буыны (1970— 1980-е гг.) — кіші және орта деңгейдегі интеграцияның интегралды микросұлбалардағы (ИМС) РЭҚ. Оларды құру интегралды компоненттердің құрылымдық технологиялық белсенді әдістерін, әзірлемелердің топтық процестерін, сондай-ақ автоматтандырылған жобалау әдістерін пайдалану және әзірлеумен байланысты мүмкін болды.

РЭҚ төртінші буыны (1980 жылдардың басы) функционалдық аяқталған микропроцессорларлық комплектерде (МПК) интеграцияның (БИС, СБИС) үлкен және аса үлкен деңгейдегі бағдарламалайтын ИМС негізінде жасалады. МПК пайдалану нәтижесінде функционалдық мақсаты мен күрделілігі әртүрлі аппаратураны құру үшін қажетті элементтердің саны кейбір тұрақты деңгейде тұрақтандырылды, ал РЭҚ функционалдық ерекшеліктер жұмыс бағдарламасының өзгеруі есебінен жетеді.

Осы уақытта мамандар РЭҚ бесінші буынын әзірлеп жатыр, оның айырықша ерекшелігі сигналдарды цифрлық өңдеу әдістерін пайдалану болып табылады. Сонымен бірге қажетті ИМС белсенді элементтердің жоғары жұмыс жиілігі кристалдың бетінде тұтастырумен олардың жоғары тығыздығы (мыңға жуық мегагерц) есебінен жеткізілді, сонымен қатар полимер құрылымдарды, молекулалық электроника мен наноэлектроника негізіндегі бинарлы элементтердің жаңа түрлерін пайдалану есебінен қол жеткізіледі.

Заманауи РЭҚ-те әртүрлі толымдық дәрежеде барлық буындардың белсенді РЭҚ бар, сонымен қатар әртүрлі пассивті дискреттік ЭРҚ-лар, олардың электрлік және құрылымдық параметрлері, сондай-ақ оларды өндіру технологиялары белсенді ЭРҚ буындарының ауысу процесінде өзгерген. Мысалы, өте әлсіз сигналдарының кіріс қуатын арттыру үшін қатты аяздар жағдайларында жұмыс істейтін транзисторлар; шығыс сигналдардың қуатын күшейту үшін – тиімді жылу әкелетін транзисторлар; сигналдарды өңдеу үшін – интегралды электроника компоненттері қолданылады [18].

## **1.2. Электррадиокомпоненттердің түрлері және олардың параметрлері**

Заманауи РЭҚ-да мынадай ЭҚЖ түрлері қолданылады:

- пассивті - резисторлар, конденсаторлар, индуктивтілік катушкалары және трансформаторлар, коммутациялық қондырғылар, пьезоэлектрлік құрылғылар, ақпаратты көрсету және көрсету үшін құрылғылар;
- белсенді - жартылай өткізгіш құрылғылар - диодтар, транзисторлар, интегралды микросұлбалар, электронды шамдар;
- функционалды электроника құрылғылары мен түйіндері;
- аса жоғары жиілік жолақтарының құрылғылары мен түйіндері (микротолқынды трактілер).

Барлық ЭРҚ, олардың түріне және қолдану аясына қарамастан, электрлік, конструктивті және операциялық параметрлердің комбинациясы арқылы анықталады, бұл олардың РЭҚ-ны жобалау

кезінде пайдалану мүмкіндігін анықтайды. Электр тізбектерін жобалау сатысында РЭҚ ЭРҚ жобалау құралы болып табылады, сондықтан олардың түрлерін таңдаудағы ең маңызды шарттар - олардың функционалдық сипаттамалары, сондай-ақ олардың электрлік және ішінара жұмыс параметрлері; РЭҚ ЭРҚ конструкцияларын және өндірістік технологияларын әзірлеу кезеңінде қолайлы жұмыс жағдайларын қамтамасыз ету қажет қорғау объектілері болып табылады, сондықтан олардың түрлері мен өлшемдерін таңдаудағы ең маңызды шарттары оларды жобалау және пайдалану параметрлері болып табылады.

### **ЭРҚ электрлік параметрлері**

ЭРҚ электрлік параметрлеріне келесі жатады:

- функционалдық мақсатты анықтайтын негізгі параметрдің *номиналды мәні* (резистордың кедергісі, конденсатордың сыйымдылығы, транзистордың ток трансферті коэффициенті, диодтың тікелей ток және т.б.);
- негізгі параметрдің (оның абсолютті немесе салыстырмалы ауытқуы) номиналды мәніне *төзімділік*;
- негізгі параметрдің (уақыт, температура) номиналды мәнінің *тұрақтылығы*;
- жұмыс кернеулерінің, токтарының және қуаттың *шектік* мәндері;
- *паразиттік* параметрлер.

**Номиналды мәндер, рұқсат етілген шамалар және номиналды мәндер ауқымы.** ЭРҚ параметрінің номиналды құнын белгілеу және оған рұқсат беру қажеттілігі бұқаралық өндіріс жағдайында ЭРҚ өндірумен, сондай-ақ оларды радиоэлектрондық құрылғылардың жобалауында қолданумен байланысты. Өндірістің тиімділігінің маңызды көрсеткіші қолайлы өнімдердің кірістілігі болып табылады, сондықтан өндіруші параметрдің номиналды мәндерінің санын азайтуға және оның шегін кеңейтуге мүдделі. Дегенмен, жобалау кезінде параметрдің номиналды мәндерінің санын көбейту және оған төзімділік мөлшерін азайту қажеттілігі туындайды.

Осы қарама-қайшы талаптарды үйлестіру үшін ЭРҚ көрсеткіштерінің номиналды мәндерінің тараулары (ең алдымен, ең ауқымды ЭРҚ ретінде резисторлар мен конденсаторлар үшін) әзірленді. Шкалалардың бар болуы салыстырмалы қателіктің тұрақтылығы кезінде осы шкаланың барлық номиналды мәндердің жарамды элементтердің бірдей санын шығаруды қамтамасыз етеді. Сонымен бірге, шкалалар құрылыстың коды мен шкалалардың үздіксіздік принципіне жауап береді.

*Салыстырмалы қателіктің тұрақтылығы.* Жақсы өндіріс жағдайында масштабтың әртүрлі номиналды мәндерінің ЭРҚ

өндірісінде салыстырмалы қателігі  $\delta = 3\sigma_x / x_n$  (мұндағы  $\sigma_x$  - параметрдің қалыпты үлестірілуінің дисперсиясы, ал  $x; x_n$  - оның номиналды мәні). Сондықтан іс жүзінде рұқсат  $[x_1, x_2]$  өрісінің шегі  $x$  параметрінің мәні оның номиналды мәні  $x_n$  мен  $\delta_1$  және  $\delta_2$  ауытқу коэффициенті арқылы көрінеді:

$$x_1 = x_n(1 - \delta_1); x_2 = x_n(1 + \delta_2) \text{ кезінде } \delta_1 = \delta_2 = \delta, x = x_n(1 \pm \delta)$$

*Шкаланың барлық номиналды мәндеріне сәйкес келетін компоненттерінің бірдей санын өндіруді қамтамасыз ету қағидаты.* ЭРҚ  $x_i$  параметрінің ағымдағы мәні кездейсоқ факторлардың өндіру процесінің қосындысына әсер етуіне тәуелді кездейсоқ шама болып табылады. Сондықтан  $x_0$  және  $\sigma_x^2$  параметрдің мәндерінің таралуын  $W(x)$  қалыпты үлестірімінің параметрлері бойынша тығыздық функциясы арқылы сипаттау дұрыс болады. Содан кейін, егер  $x_n$  параметрінің номиналды мәні және рұқсат етілген өріс  $[x_1, x_2]$  берілсе, онда  $x$  параметрінің ағымдағы мәндері орналасуы қажет шегінде, сол кезде өнімдердің максималды кірістілік мәні  $x_0 = x_n$  болады.

Егер бұл теңдік сақталмаса, онда жүйелік қателік пайда болады, оның туындау себебін анықтау және жою қажет.

$$p_r = \int_{x_1}^{x_2} W(x) dx, \text{ ал брақтың үлесі } 1 - p_r \text{ тең. Екінші жағынан,}$$

$\pm 3\sigma$  интервалға 99 % жуық  $x$  ( $3\sigma$  қағидасы) ретінде белгілі) кездейсоқ шаманың мәні келетіні белгілі. Сондықтан, егер барлық ЭРҚ жарамды  $\pm 3\sigma$  интервалына келетін параметрлердің мәні деп алатын болсақ, онда жарамды бұйымдардың шығысы көп болады.

*Үздіксіздіктің және декадтіктің принциптері.* және екі іргелес атаулы құндылықтар өрісіндегі толеранттылық қағидасына сәйкес таразылар  $x_{Hi}$  және  $x_{Hi+1}$  бір-біріне сәйкес келмеуі немесе кемшіліктер жасалмауы керек, яғни олар үшін келесі теңдік орындалуы керек:

$$x_{Hi}(1 + \delta) = x_{Hi+1}(1 - \delta).$$

Сонда  $\gamma$ -тегі ауытқу коэффициенті бойынша көрсетілген қатынастар  $\delta$ , қатардың көбейткіші болып көрсетіледі:

$$\gamma = x_{Hi+1}(1 - \delta)$$

Декагенттің принципіне сәйкес, кез-келген қатардың параметрлерін номиналды мәндері шекаралары  $10^n$  ( $n = \pm 0, 1, 2, \dots$ ) мәндерімен берілген аралықта орналасқан. Сонда, егер  $x_{H0} = 1$  ( $n = 0$ ) және  $x_{Hm} = 10$  ( $n = +1$ ), қатар мүшелері үшін келесі өрнекті аламыз:

$$x_{H1} = x_{H0}\gamma = \gamma;$$

$$x_{H2} = x_{H1}\gamma = \gamma^2;$$

$$x_{Hm} = \gamma^m = 10$$

мұндағы  $m$  — қатар мүшелерінің маны. Соңғы теңдіктен көріп отырмыз,  $m = 1/(\lg \gamma)$ .

Мысалы, біз  $\delta = 0.2$  үшін  $1 \dots 10$  кОм аралығындағы интервалда номиналды резисторлық мәндер сериясын құрастырамыз. Бұл жағдайда  $\gamma = 1.5$ ,  $m = 6$ . Қарсылықтың бірқатар номиналды мәндері келесі түрде

$$1,5 - 2,2 - 3,3 - 4,7 - 6,8 - 10 \text{ кОм.}$$

**Тұрақтылық параметрлері.** ЭРҚ параметрлерінің мәні сақтау мен эксплуатация кезінде өзгеруі мүмкін. Бұл өзгерулер физикалық-химиялық процестерді қалпына келтіре отырып, қайта өңдеуден өтетін немесе жасалмаған болуы мүмкін, бұл ЭРҚ материалында пайдаланудың белсенді емес факторларға байланысты болады: температураның ауытқуы, ылғалдық, механикалық және радиациялық әсерлер.

ЭРҚ параметрлерінің уақытша және температураның тұрақсыздығымен ерекшеленеді. ЭРҚ материалдарында шығатын тұрақты өлшенетін процестердің уақытша тұрақсыздық байланысты: резисторлардың басталуы, диэлектрик пен микроэлементтің микропроцессорлық тұжырымдамасы, конденсаторлардағы электролиттің кеуіп қалуы, түрлі коррозия көріністері. Бұл процестер ЭРҚ параметрлерінің бұлтартпай өзгеруіне әкеледі. Тұрақсыздық температурасы қоршаған ортаның температурасының өзгеруі әсерінен ЭРҚ параметрлерінің жобаланатын қайтымды өзгерістермен байланысты болады, оны  $x$  - ТКх параметрге сәйкес келетін тұрақсыздық температурасының коэффициентімен сипаттайды.

Тұрақсыздықтың сандық бағалау үшін  $x$  параметрінің абсолюттік және қатысты ауытқу пайдаланады. Абсолюттік ауытқудың  $\Delta x$  параметрі өз кезегінде  $\Delta a_i$  бастапқы параметрлердің абсолюттік ауытқуына байланысты болады, оларға материалдың физикалық және геометриялық сипатталары жатады, одан берілген ЭРҚ жасалған, яғни

$$\Delta x = \sum_{i=1}^n A_i \Delta a_i$$

$A_i = \frac{\partial x}{\partial a_i}$  мұндағы абсолюттік ауытқудың ықпал ету коэффициенті  $a_i$  бастапқы параметрдің  $a_i$

Мысалы,  $R$  резистордың кедергісі  $R = \rho(l/s)$  геометриялық өлшемдерін және өткізуші қабат материалының  $\rho$  меншікті кедергісіне

байланысты болады; сонда тұрақсыздандыру факторының  $k$  ықпал етумен пайда болатын  $\Delta R$  абсолюттік кедергінің мәнін  $p$ ,  $l$ , және  $s$  бастапқы параметрлерінің абсолюттік ауытқу арқылы көрсетуге болады, келесі түрде:

$$\Delta R^{(k)} = \pm A_p \Delta p^{(k)} \pm A_l \Delta l^{(k)} \pm A_s \Delta s^{(k)}$$

мұнда  $A_l = \frac{\partial R}{\partial l}; A_p = \frac{\partial R}{\partial p}; A_s = \frac{\partial R}{\partial s}$ .

Бірақ көбінесе салыстырмалы ауытқудың мәні қолданылады,

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{x_H},$$

мұндағы  $x_H$  —  $x$  параметрінің номиналдық мәні. Осы өрнектің  $a_{il}$  — номиналды мәнін бөлшектік бастапқы параметрге алым мен бөлімді көбейтіп,  $\delta_x$  үшін өрнектік мәнін аламыз ( $\Delta x$  үшін өрнекті ескере отырып):

$$\delta_x = \sum_{i=1}^n B_i \frac{\Delta a_i}{a_{il}} = \sum_{i=1}^n B_i \delta_{a_i}$$

мұндағы  $B_i$  —  $a_i$   $B_i = A_i \frac{a_{il}}{x_H}$  бастапқы параметрдің салыстырылмалы ауытқудың ықпал ету коэффициенті

Мысалы, температураның ықпал ету дәрежесін келесі мәнмен бағаланады -  $TK_x = \frac{1}{x} = \frac{dx}{dT}, 1/^\circ C$

$TK_x$  мен температуралық коэффициент  $TK_{a_i}$  арасында байланысты орнату үшін бастапқы параметрлер  $a_i$  өрнектің оң мен сол бөлімдерін  $\delta_x$  үшін  $\Delta T$ -ге бөліп, ақырлы өсімшеден дифференциалдарға өтеміз:

$$TK_x = \frac{\frac{dx}{x}}{dT} = \sum_{i=1}^n B_i \frac{\frac{da_i}{a_{il}}}{dT} = \sum_{i=1}^n B_i TK_{a_i}$$

Соның ішінде, резисторлардың кедергі коэффициенті температурасының мәні

$$TKC = B_p TK_p + B_l TK_l + B_s TK_s.$$

**Жұмыс кернеулерінің, токтарының және қуаттың шектік мәндері.** Бұл параметрлер нақты ЭРҚ жасалатын материалдың электрлік беріктігіне байланысты. Олар ЭРҚ қызмет ету жұмыс аймағын анықтайды, оның шектен шығуы істен шығуына (бұзылуына, ойылуына) алып келуі мүмкін.

**Паразиттік параметрлер.** Бұл параметрлерге ЭРҚ конструкция элементтерінің сыйымдылығы, индуктивтілігі мен өткізгіштілігі,

олардың функционалды мақсаттарымен тікелей байланысты емес - диэлектриктің жетілмегендігі және конденсатордың индуктивтілігі, катушкерлердің айналымдағы сыйымдылықтары және басқалар жатады. Бұл параметрлердің әсері жоғары және өте жоғары жиілікте көрініс табады.

## **ЭРҚ құрылымдық және эксплуатациялық параметрлер**

Тұтыну нарығында ЭРҚ (стандартты өлшемдер) конструктивтік орындалуының көптеген түрлері және нұсқаларының пайда болуы, РЭҚ -ты қолданудың әртүрлі шарттарымен және әдістерімен байланысты.

Конструктивтік ерекшеліктер негізінде, көлемді, баспа және жер үсті монтаждау үшін арналған ЕРС-ді ажыратады. Тәуелсіз топ - конструкциялық-электрлік сәйкестіктің қағидаттары, атап айтқанда, коаксиалды және микроэлементтер құрылымдары, олардың конструкцияларында SHF микротолқынды диапазоны ЕРС. ЭРҚ дизайн нұсқаларының бірқатар баспа платаларының автоматтандырылған құрастыру (орау) үшін пайдалану мүмкіндігін көрсетеді - ЭРҚ-ны кассетлеу, олардың терминалдарының қаттылығын және бағдарлануы. Оларға негізделген гибриді-форматты интегралды схемаларды құру үшін микроминатуралық ашық және қорғасынсыз ЭРҚ өндіріледі.

ЭРҚ конструкцияларының арнайы нұсқалары шашыраңқы қуатқа, электрлік беріктікке, климаттық әсерге төзімділікке, дірілге және соққыға төзімділігіне және басқа талаптарға деген жоғары талаптарды іске асыруды қамтамасыз етеді. ЭРҚ-ны РЭҚ құрылымдарында практикалық қолдану үшін, әзірлеуші жалпы, монтаждау және байланыстыру өлшемдерін, оларды бекіту және орнату тәсілдерін білуі керек. Сонымен қатар, берілген пайдалану жағдайларында РЭҚ-тің жұмысқа қабілеттілігін растау үшін, әзірлеуші ЭРҚ-ның ең жоғарғы рұқсат етілген электрлік және пайдалану параметрлерін білуі керек.

Осылайша, РЭҚ конструкциялары құрылуының барлық кезеңдерінде ЭРҚ-ны жобалау кезінде дұрыс қолдану үшін ЭРҚ электрлік, құрылымдық және пайдалану параметрлерін ескеру қажет. Болашақта ЭРҚ-ны РЭҚ құрылымдарында пайдалану тәртібі осы позициялардан қарастырылады, олардың негізінде физикалық процестер мен құбылыстарды түсінудің қажетті шарты қарастырылады.

ЭРҚ және оның параметрлері туралы толық ақпарат нормативтік-техникалық құжаттамада (НТҚ) - стандарттарда (ГОСТ, ОСТ), техникалық сипаттамалармен (ТС) және жеке техникалық сипаттамалармен (ЖТС) қамтылған. ЭРҚ жекелеген түрлерін қолдану туралы негізгі ақпарат техникалық нұсқаулық материалында (ТНМ) және анықтамалық материалдарда бар.

ЭРҚ-ның тәртібі мен бастапқы қолданысы үшін олардың негізгі түріндегі элементтердің түрін анықтайтын негізгі электрлік, құрылымдық және эксплуатациялық сипаттамалар негізгі жазбада - осы элементтер түрінде берілген жобалық құжаттамада(CD) және нормативтік-техникалық құжаттарда енгізіледі. Дегенмен қазіргі уақытта отандық радиоэлектрлік станцияларын дамытуда елеулі үлесіт шетелдік өндірістің ЭРҚ екенін есте ұстаған жөн. Отандықтан жұмыс принципі, параметрлер жиынтығы, жобалау, монтаждау әдістері және пайдалану тәртібі бойынша іс жүзінде ерекшеленбейтін, импортты ЭРҚ шартты белгілер мен таңбалардың әртүрлі жүйесі бар. Мысалы, жартылай өткізгіш компоненттеріне арналған АҚШ электронды құрылғыларға арналған техникалық кеңестер JEDEC жүйесін ауысулар санымен және құрамдас бөліктің кейбір сериялық нөмірімен қабылдады, алайда бастапқы материал, жиілік диапазоны немесе компоненттің күші туралы ешқандай ақпарат жоқ. ИМС-тің белгілерінде өндіруші фирмаға көрсетудің маңызды орнын береді. Ішкі үйге жақындасу AIPE (Association International Pro Electron ) Еуропада жартылай өткізгіш компоненттеріне белгілерді тағайындайтын жүйе болып табылады.

Осы нұсқаулықта ЭБК жіктеу кеңістігі Ресейде қабылданған белгілеу жүйесінің негізінде қарастырылады.

### 1.3. Резисторлар

Резисторлар - электр кедергісінің тасымалдаушылары болып табылады; резисторлық конструкцияларды есептеудің теориялық негізі - қатты бөлшектердің электр өткізгіштігінің теориясы. Электрөткізгішті материалдан жасалған, ұзындығы  $l$  және көлденең қимасы  $s$ , резисторларды құрастыру есебінің негізінде жатқан  $R$  үлгідегі электр кедергісі үшін формула мынадай, Ом:

$$R = l / (os).$$

Резисторлар бар тізбектердің параметрлерін есептеу үшін кейбір белгілі формулаларды келтірейік:

- Резистор арқылы ток,  $A$ :

$$I = U/R;$$

- резисторда бөлінетін белсенді қуат, Вт:

$$P = I^2 R = u^2 / R;$$

- тұрақты уақыт  $RC$ -пен  $RL$ -тізбе, с:

$$\tau = RC = L/R;$$

•  $\Delta T$  температуралық дрейфін ескере отырып резистордың кедергісі кедергінің температуралық коэффициентінің (КТК) берілген мәні мен кедергінің бастапқы мәні  $R(T_0)$ , Ом:

$$R(T) = R(T_0)[1 \pm (\text{КТК})\Delta T].$$

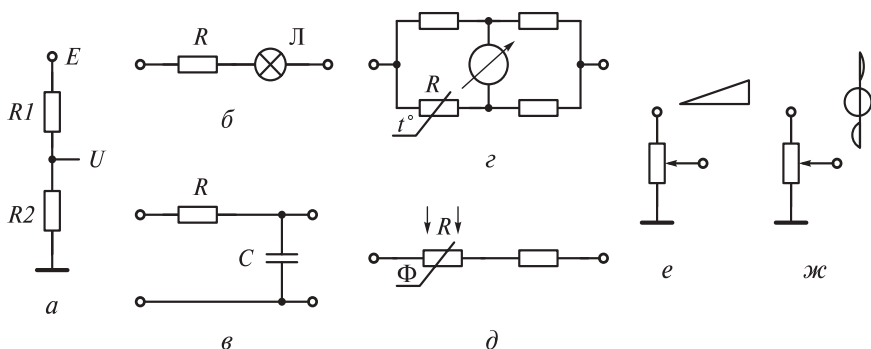
РЭҚ-тің түйіндерінде және құрылғыларында резисторлар Мемстандарт 2.728-74 бойынша шартты графикалық белгілерге (ШГБ) сәйкес электрлік принципті схемада көрсетілген түрлі функцияларды орындайды (1.1-сурет).

РЭҚ түйіндері мен құрылғыларын жобалау кезінде түрін, типтік номиналды және резистордың типтік өлшемін таңдау қажет. Резисторлар классификациялық кеңістікте функционалдық мақсаты бойынша, электрлік параметрлер, конструктивтік орындау және пайдалану шарттарымен ерекшеленеді. нақты резисторлар туралы толық мәлімет ғылыми-техникалық құжаттамада (мысалы, техникалық жағдайларды) болады. Тапсырыс беру және бастапқы қолдану үшін резистор ақпаратының бөлігі резистордың осы түрі шегінде өзгертін резисторлық параметрлердің әріптері мен сандық сәйкестендіргіштерінен тұратын негізгі жазбада болады.

Негізгі жазудың екі мысалында (1.1-кесте) екі резистордың жіктеу кеңістігінің мазмұнын қарастырамыз: С2- 6-0,25-110 к- $\pm 5$  %-А-Б-В-ОЖ0.467.037ТУ и СП-3-12а-1 М-А-32 ОС- 3-ОЖ0.468.033ТУ.

1.1 кестеде жіктеу кеңістігі позицияларының келесі белгілері пайдаланылды.

1. «С» идентификаторы ЭРҚ жиынтығының кеңістігінде кедергілерді білдіреді.



1.1-сурет. ШГБ, резистордың әртүрлі функцияларын көрсетеді:

- а - кернеу бөлгіш; б - ток шектегіші; в - уақыты алатын тізбектің элементі;  
г - температура тетігі; д - жарық тетігі; е - дыбыс деңгейін басқарудың реттегіші;  
ж - тембрдің реттегіші; Л - шам;  $\Phi$  - жарық ағыны

| Негізгі жазбаның нөмірі | Жіктеу кеңістігінің позициясы |   |   |    |   |      |       |           |
|-------------------------|-------------------------------|---|---|----|---|------|-------|-----------|
|                         | 1                             | 2 | 3 | 4  | 5 | 6    | 7     | 8         |
| 1                       | C                             | — | 2 | 6  | — | 0,25 | 110 к | $\pm 5\%$ |
| 2                       | C                             | П | 3 | 12 | a | —    | 1 М   | —         |

**1.1-кестенің жалғасы**

| Негізгі жазбаның нөмірі | Жіктеу кеңістігінің позициясы |    |    |    |    |      |      |
|-------------------------|-------------------------------|----|----|----|----|------|------|
|                         | 9                             | 10 | 11 | 12 | 13 | 14   | 15   |
| 1                       | —                             | A  | Б  | В  | —  | —    | № ТУ |
| 2                       | A                             | —  | —  | —  | 32 | OC-3 | № ТУ |

Резистордың функционалды мақсатын анықтаушы: айнымалы, кескінді резистор (П), терморезистор (Т), фоторезистор (Ф), магнитрезисторы (М), варистор - сызықты емес резистор (Н).

Резистенттік қабат материалының идентификаторы:

— *көміртекті*; резистивтік қабаттың материалы - болашақ резисторлардың керамикалық немесе шыны негіздері орналасқан вакуумдық камерада газ тәрізді көмірсутектердің (метан, гептан) термиялық ыдырауымен (пиролизімен) алынған пироликалық көміртек; төмен ТРК мәні бар бор көміртектік резисторлары органофорон қосылыстарының (CsH7) 3В немесе (C4H9) 3В пиролизі арқылы алынады;

— *металлтаспалы, металл-оксид*; резистивтік қабатының материалы -көпкомпонентті қорытпалардың жұқа таспалары (Cr, Ni, Fe, Si), композициялық материалдардың (силикидтер мен кермелердің) және вакуумдық камераға ( $p = 10^{-5}$  Pa) қойылған SnO2 қалайы диоксидінің керамикалық резисторлық негіздеріндегі термиялық булану, катодтың жарылуы және т.б .;

— *композициялық таспалы*; резистивтік қабатының материалы - суспензияны оқшаулағыш негіздің тегіс беткі жағына (айна глинина, шыны мата ламинаты) құю арқылы алынатын органикалық шайыр қоспасының жұқа пленкасы, кейіннен ИК-қызыдырылған пеште жағу; пленка жоғары ұнтақтау кедергісі бар, сондықтан айнымалы және триммерлік резисторларды дайындау үшін жарамды;

— *компазиттік көлемді*; - ұсақ дисперсті керамиканың немесе вакуумдағы жоғары температурада агломерациялау жолымен алынатын металл бөлшектермен әйнек қоспасының бағандары; жоғары қарсылығын (100 ГД-қа дейін) және жоғары вольтты (60 кВ-

ға дейін) резисторларды өндіру үшін пайдаланылады;

— *жоғары төзімділіктің* (нихром, мангина, микротолқынды 60 НГХ) қорытпасынан, ыстыққа төзімді рамамен (өрт сөндіру керамикасы) жараланған және шыны эмальмен қапталатын жұқа сымнан жасалған металды-фольга; жоғары қуатты (100 Вт-қа дейін) резисторлар жасауға арналған;

— *металл-диэлектрлік* реактивті емес микротолқынды типті резисторлар; резистивтік қабат материалы жоғары сапалы керамикадан дайындалатын вакуумда орналасқан отқа төзімді металдың жұқа пленкасы болып табылады.

Берілген түрдегі (тип тармағы) компонентті түрлендіруді тағайындау үшін идентификатор.

Конструктивтік орындау нұсқасының идентификаторы: «а» - көлемді, «б» - баспа және «в» - беткі монтаж үшін.

Резистордың қуат көрсеткіші. Стандартты ГОСТ 24013 бірқатар 0,01-ден 500 Вт (23 мәндер) қуат резисторларын орнатады. Осы стандартпен жұмыс істейтін резистор кернеулерінің сериясы анықталады: тұрақты қарсылықтар үшін - 25 В-тан 60 кВ-ға дейін (20 мән), айнымалы резисторлар - 5 В-тан 8 кВ-ға дейін (15 мән).

Резистордың номиналды қарсылық мәнінің индикаторы. ГОСТ 2825-ге сәйкес номиналды алты қатар мән белгіленеді: E6, E12, E24, E48, E96 және E192 (сандар әр сериядағы кез-келген онжылдықтағы номиналды мәндердің санын көрсетеді).

Номиналды қарсылық мәні жоғарыда көрсетілген сериялардың біріне жататын резистордың дәлдік класының индексі. Тұрақты резисторлар үшін алты дәлдік класы белгіленеді: 20% (E6), 10% (E12), 5% (E24), 2% (E48), 1% (E96), 0,5% (E192). Айнымалы резисторлар үшін бір дәлдік класы орнатылады- 20% (E6).

Басқарушы резисторлардың айнымалыларының функционалдық сипаттамасының идентификаторы - қозғалысқа келтіретін контактілі қылшақшаның термині мен қарсыластың сырғытқыштың (бұрыштық немесе бойлық)  $x$  қозғалысынан соңына дейінгі қарсыласу  $R_x$  өзгеру заңы. Айнымалы реттейтін резисторлар сызықтық (A), логарифмдік (B) және көрсеткіштік (B) тәуелділіктермен шығарылады:

$$R_x(A) = R_0(x/x_0); R_x(B) = R_0 \log_2[(x + x_0)/x_0]; R_x(B) = R_0(2^{x/x_0} - 1),$$

онда  $R_0$  және  $x_0$  - резистордың кедергісі мен ұзындығының номиналды мәні сәйкесінше.

Вебер-Фехнер заңына сәйкес адамның есту қабілетінің логарифмдік динамикалық сипаттамасын өтеу үшін дыбыс бақылауы

ретінде пайдаланылатын «В» тәуелділігі бар резисторлар: сезім күшінің жетістігі екі салыстырмалы ынталылық қатынасының екілік логарифмасына пропорционалды болады. Демек, «В» сипаттамасымен резисторлар дыбыс көлемінің өзгеруін  $x$  қозғалтқышының қозғалысына қарай сезінуге мүмкіндік береді. Түрлендіргіштер «В» сипаттамасымен ауыспалы резисторлар тембр реттеуіші ретінде пайдаланылады, себебі жүгірткі салыстырмалы түрде аз қозғалыстармен бірге қажетті дыбыс сапасына қол жеткізуге болады.

10. Шуыл деңгейі бойынша резисторлық класының идентификаторы.

11. ТКС бойынша резисторлық кластың идентификаторы.

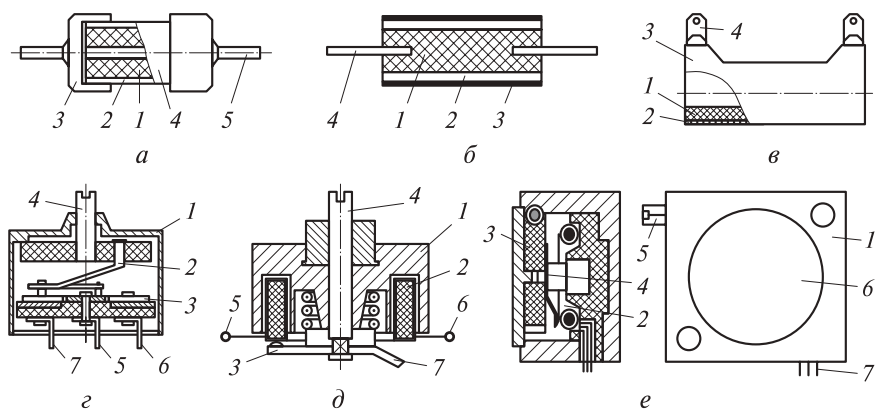
12. Резистордың климаттық нұсқасы түрінің идентификаторы: В - барлық климаттық орындау, яғни резисторды ең ауыр жұмыс жағдайында пайдалануға болады.

13. Айнымалы резистордың осі ұзындығының көрсеткіші.

14. Айнымалы резистор осьтің соңғы бөлігінің идентификаторы.

15. Резисторды қолдануға арналған негізгі құжат.

Резистордың конструкциялары 1.2.-суретте берілген.



1.2-сурет. Резисторлардың конструкциялары:

а - жұқа таспалы (1 - керамикалық негіз 2 - тоқөткізу қабаты; 3-істікшелі қақпақ; 4 - эмальді жабын, 5 - шықпа); б - көлемді (1 - ток өткізгіш стержень, 2 - оқшаулағыш қабығы, 3 - жабу эмалі; 4 - шықпа); в - сымды, тұрақты қарсылық (1 - керамикалық негіз, 2 - бифиларлы орамасымен сым; 3 - жабу эмалі, 4 - шықпа; г - айнымалы таспалы (1 - корпус, 2 - байланыс серіппесі 3 - өткізгіш қабаты бар оқшаулағыш негіз; 4 - осі, 5, 6, 7 - шықпалар); д - бір айнымалы ауыспалы сым (1 - негіз; 2 - оқшаулау жолақтағы байлам; 3 тоқалғыш; 4 - осі, 5, 6, 7 -шықпалар); е- көп айнымалы ауыспалы сым (1 - негіз; 2 - оқшаулағыш шыбықшадағы орама; 3 - бұрамдықты доңғалақ; 4 - тоқалғыш; 5 - бұрамдық; 6 - қақпақ; 7 -шықпалар)

РЭҚ конструкцияларында корпустық дискретті резистордан басқа жер бетінде монтаждау үшін лажсыз резисторлар, таспалы және ИМС диффузиялық резисторлар қолданылады. Резистивті материалдар ретінде, қабыршақтардың қышқылдық материалдарын пайдаланады. Олар - металдардың бөлшектерін және диэлектриктерден (мысалы,  $\text{Si}$  және  $\text{SiO}$ ) тұратын темірден, кобальт, никель мен вольфрам қоспалары бар материалдарды және олардың кішкентай ТКС-тің жақсы жаңғыртылуын қамтамасыз ететін материалдарды пайдаланады. Хром құрамына қарай,  $\rho_s = 102 \dots 104 \text{ Ом} / \text{П}$  (квадрат үшін Ом) бар таспаларды алуға болады.

Интегралдық микросұлбалардың *диффузиялық* резисторлары транзистордың негізі, эмитеті немесе коллекторлық аймақтарымен бір уақытта өндіріледі.

Нақты резистордың типін, түрін және өлшемін таңдаған кезде, оның функционалды мақсаты, оның параметрлері бойынша талаптар және орнату әдісі ескеріледі. Резистордың электр жүктемесі оның номиналды мәніне қатысты таралған қуатқа қатысты КР жүктеме коэффициентінің мәнімен бағаланады. Әр түрлі эксплуатация жағдайлары үшін  $\text{КР} = 0,7 \dots 0,9$ .

## 1.4. Конденсаторлар

Конденсаторлар электр қуатын тасымалдаушы болып табылады. Қатты диэлектриктегі конденсаторларды есептеудің теориялық негізі диэлектриктердің поляризация теориясы болып табылады. Конденсатор конструкцияларын есептеу үшін негіз болып табылатын е диэлектрлік өткізгіштігі бар ортада  $d$  қашықтықта бір-бірінен екіншісінде орналасқан  $S$  қоршаудың ауданы бар жазық конденсатордың сыйымдылығын есептеуге арналған формула, түрі, Ф,

$$C = \epsilon \epsilon_0 S / d,$$

мұнадғы  $\epsilon_0$  — вакуумдағы тұрақты диэлектрлік.

Конденсаторлар бар тізбектердің параметрлерін есептеу үшін бірнеше белгілі қатынастарды келтірейік:

конденсатордың реактивті кедергісі, Ом,

$$X_c = 1 / \omega C;$$

конденсаторда жинақталған қуат, Дж,

$$W_c = 0,5 U^2 C;$$

RC-тізбектің тұрақты уақыты, с,

$$\tau = RC;$$

Конденсаторы бар тізбектегі ток, А,

$$i_c = C(dU_c/dt);$$

конденсатордағы кернеу, В,

$$u_c = C^{-1} \int i_c dt;$$

конденсатордың реактивті қуаты, Вар,

$$P_{cp} = UI \sin \varphi \approx \omega CU^2$$

контурдың өзіндік тербелу жиілігі, Гц,

$$f = (2\pi\sqrt{LC})^{-1};$$

Диэлектрлік жоғалу бұрышының тангенсі

$$\operatorname{tg} \delta = G \omega C$$

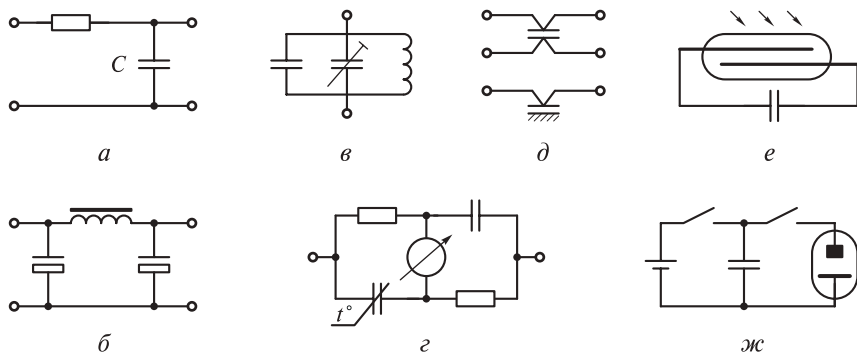
мұндағы  $G$  — өткізгіштік, См;

• сыйымдылықтың температуралық коэффициентінің (СТК) берілген мәні мен бастапқы мәнінде  $C(T_0)$  температуралық дрейфті  $\Delta T$  есепке алып,  $C(T)$  конденсаторының сыйымдылығы, Ф,

$$C(T) = C(T_0)[1 \pm (\text{ТКЕ})\Delta T]$$

РЭҚ-тың түйіндерінде және құрылғыларында конденсаторлар ГОСТ 2.728 бойынша УГО сәйкес электронды түбегейлі схемаларда көрсетілген түрлі функцияларды орындайды (1.3-сурет).

РЭҚ түйіндері мен құрылғыларын жобалау кезінде конденсаторлардың түрін, типтік номиналын және типтік өлшемін таңдау қажет. Жіктеу кеңістігінде конденсаторлар олардың функционалдық мақсаттары, электр параметрлері бойынша, конструктивтік орындау және пайдалану шарттарымен ерекшеленеді.



1.3-сурет. ШГБ, конденсатордың әртүрлі функцияларын суреттеу:

а - уақытты алатын тізбектің элементі; б - төмен өткізгіштің сүзгі элементі; в - тербелмелі контурдың элементі; г - температура тетігі; д - кедергілерді басу элементі; е - дозиметрдің зарядтау көзі; ж - импульстік энергия көзі

Тапсырыс беру және бастапқы қолдану үшін конденсатор туралы кейбір мәліметтерді пайдалану, конденсатордың осы түріне қарай өзгеретін конденсатор параметрлерінің алфавиттік және сандық идентификаторларынан тұратын негізгі жазбада болады. Негізгі жазбаның екі мысалында (1.2-кесте) екі конденсатордың жіктеу кеңістігінің мазмұнын қарастырамыз:

K10-17a-M47-270 пФ-±5 %-В-ОЖ0.460Л72ТУ;

K50-40-6,3 В-47 мкФ-И-А-ОЖ0.464.261ТУ.

1.2 -кестеде. жіктеу кеңістігі позицияларының келесі белгілері қолданылады.

1. «К» идентификаторы ЭРҚ-ның барлық жиынтығы кеңістігінде конденсаторларды білдіреді.

2. Диэлектрлік типті сәйкестендіргіш:

10...19 - *керамикалық* конденсаторлар. Олар конденсатын керамикадан жасалған - тиконда және сегнетокерамика. *Тиконд* әр түрлі қоспалармен рутил (титан диоксиді  $\text{TiO}_2$ ,  $\varepsilon \sim 173$ ) қоспасы болып саналады. Тикондардың диэлектрлік өткізгіштігі  $\varepsilon = 15.230$ ,  $\text{TK } \varepsilon = -1 \cdot 10^{-2} \dots -1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}$ . *Сегнеткерамика* - температураға байланысты диэлектрлік тұрақты өте жоғары материал. Сегнеткермиканың кейбір түрлері сызықты емес қасиеттерге ие, мысалы, тибар (барий титанаты  $\text{BaO} \cdot \text{TiO}_2$ ,  $\varepsilon \sim 104$ ,  $\text{TK } \varepsilon = \pm (0.1.0.7) \text{ } ^\circ\text{C}$  жұмыс температуралары диапозонында-  $60. + 60 \text{ } ^\circ\text{C}$  ).

Тибарға стронций титанатын ( $\text{SrO} \cdot \text{TiO}_2$ ) қосу *Кюри нүктесін* (температураның максималды және жоғары керамикалардың  $\varepsilon$  электрлік жағдайға өтіп, сызықты емес қасиеттерін жоғалтатын температурасы) өзгеруіне мүмкіндік береді. Сегнеткерамика негізінде, атап айтқанда, сыйымдылықтың сызықтық емес тәуелділігі қолданылатын кернеуге ие конденсаторлар шығарылады.

1.2-кесте

| Негізгі жазбаның нөмірі | Жіктеу кеңістігінің позициясы |    |    |   |       |     |
|-------------------------|-------------------------------|----|----|---|-------|-----|
|                         | 1                             | 2  | 3  | 4 | 5     | 6   |
| 1                       | К                             | 10 | 17 | а | —     | М47 |
| 2                       | К                             | 50 | 40 | — | 6,3 В |     |

1.2-кестенің жалғасы

| Негізгі жазбаның нөмірі | Жіктеу кеңістігінің позициясы |      |   |    |      |
|-------------------------|-------------------------------|------|---|----|------|
|                         | 7                             | 8    | 9 | 10 | 11   |
| 1                       | 270 пФ                        | ± 5% | В | —  | № ТУ |
| 2                       | 47 мкФ                        | —    | И | А  | № ТУ |

Керамикалық конденсаторлардың жұмыс жиілігі  $10^{10}$  Гц жетеді;

20 ... 29 – *шыны және әйнек* эмальді конденсаторлар. Шыныдан жасалған сыйымдылықтар экструзиямен (үздіксіз *экструзия*) алынған шыны таспадан ( $\varepsilon = 4.20$ ,  $TK_{\varepsilon} + 10^{-3} 1/^{\circ}C$ ) жасалған; онда әйнектің алдын ала белгіленген мөлшердегі табактарына кесіледі және фольга парақтарымен ауысады, көп қабатты бөліктер тартылады немесе конденсатор бөлімшелерін механикалық жинау үшін шыны таспа мен орама фольгасы беріледі.

Шыны эмальді конденсаторлар (шыны эмаль - кремний оксидтері, қорғасын, сілтілі металдар және фторидтер қоспасы) - шыны эмаль (15...20 мкм) және күміс тәрізді,  $t = 700^{\circ}C$ -да монолитті вентилденген блокқа ауысатын қабаттардан тұрады;

30...39 - *слюда* конденсаторлары. СФ (фильтрлік), СНЧ (төмен жиілікті), микротолқынды СВЧ (жоғары жиілікті), СЗ (қорғаныш), жоғары сапалы конденсатор сиясы негізінде - мусковит, үлгілік конденсатор слюдасы  $CO$ , сондай-ақ басқа брендтер негізінде өндіріледі. Muscovite ( $K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$ ) - бұл жақсы электрлік окшаулағыштың қасиеттеріне ие сулы алюмосиликат:  $\varepsilon \geq 6$ ,  $tg\delta = 3 \cdot 10^{-4}$ ,  $f = 1$  МГц жиілігінде,  $\rho \approx 1 \times 10^{16}$  Ом·см  $U_{\text{проб}}$  2,2 кВ қалыңдығы 15 мкм;

40...49 - *қағаз және металл* қағаз конденсаторлары. Конденсатордың түрінде дайындалған қағаз конденсаторлар ұсақ қағаз (сынып КОН және Silkon,  $\varepsilon=7$ ,  $tg\delta \approx 1 \cdot 10^{-3}$ , 10...30 мм қалыңдығы  $U_{\text{проб}} \approx 1,5$  кВ) окшаулағыш қосылыстар сіндірілген, және жұқа (негізделген бөлімдерін булочка 4...7 мкм) алюминий фольгасы. Вакуумдық пеш және сіндіру кептіру кейін (конденсатор немесе кастор майы, парафин) орама тұрғын үй бекітім алдық. Фольганы металдандырылған қағаз конденсаторларды тозандату арқылы жұқа қабатпен түсіреді. Қағаз конденсаторлардың жұмыс жиілігі  $1 \cdot 10^6$  Гц жетеді.

50...59 - оксидті конденсаторлар. Олар электролитте орналасқан алюминийден (Al) немесе тантал (Ta) электродтарынан тұрады. Электродтардың бірі (анод) - электродтың ( $Al_2O_3$  немесе  $Ta_2O_3$ ) металл оксидінің қабаты қалыптасқан, яғни диэлектрик болып табылатын бірінші пластина. Екінші плита - ток коллекторының және екінші электродтың (катодтың) функцияларын орындайтын электролит.

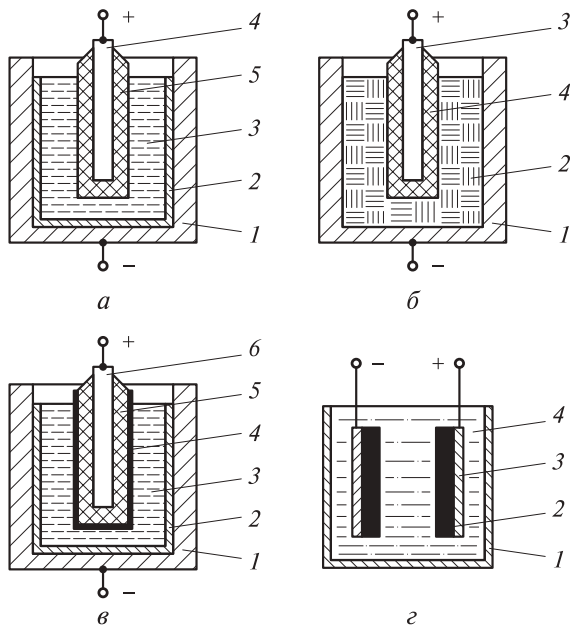
Оксидтік қабат салыстырмалы жоғары электрлік беріктігі бар; алюминий тотығының диэлектрлік константасы  $\approx 10$ , тантал оксиді  $\approx 25$ . Оксид қабатының (1...2 мкм) кіші қалыңдығына байланысты тотықты конденсаторлар басқа көлемдегі конденсаторлармен салыстырғанда ең үлкен сыйымдылыққа ие.

Анодтар қалыңдығы 50 ... 150 мкм (Әл) және 12 ... 15 мкм (Т), *сым* және *күкірт қалыңдығы* бар фольга болып табылады. Электродтар алаңын 10-20 есеге ұлғайту үшін фольга мен сым анодтары химиялық және электрохимиялық шөгінділерге ұшырайды.

Көлемді кеуекті анодтар вакуумдағы металл ұнтағын, көбінесе танталды басу арқылы алынады. Электролиттің түріне қарай сұйық, «құрғақ» және «қатты» тотықты конденсаторлар бар.

Сұйық конденсаторлар К52 (1.4-сурет, а) сыртқы беттен 1, күміс катодтан 2, сұйық қышқылдық электролиттен ( $H_2SO_4$ ,  $HCl$ ) 3, тотығы бар таспадан 5 тұратын тантал анодтан 4 тұрады.

К50 «құрғақ» алюминий конденсаторлары (1.4-сурет, б) сыртқы корпусы - катодты 1, тұтқырлы электролитпен сіңірілген талшықты тығыздауыш 2- этиленгликоль қоспасы, бор қышқылы және мүсәтір спирті - бетінде оксидті таспасы бар алюминий анодты 3 өзінде қамтиды.



1.4-сурет. Оксид конденсаторларының құрылғысы:

а - сұйық К52 (1 - сыртқы корпус, 2 - күміс катодты, 3 - сұйық қышқылдық электролит, 4 - тантал аноды, 5 - оксидтік таспа); б - «құрғақ» алюминий К50 (1 - сыртқы катодты корпус, 2 - талшықты тығыздауыш, 3 - алюминий анод, 4 - оксидтік таспа); в - жартылай өткізгішті оксид К53 (1-катодты корпус, 2-көміртекті қабат, 3-электролит, 4-сарқылған қабат, 5 және жарымжеткізгіш, 6-анод); г - ионистор К58 (1 - корпус, 2 - электрод, 3 - алюминий фольгасы, 4 - диэлектрик)

К53 "қатты" (оксидті-жартылай өткізгіш) конденсаторлары (1.4, с-сурет) сыртқы катодты корпустаң 1 (Pb, Sn немесе Ag), ағынды қорғағышты қамтамасыз ететін көміртекті қабаттан 2,  $MnO_2$  қатты р-жартылай өткізгішті түріндегі 3 электролиттен, кері-алмастырылған р-п-торабында пайда болатын азайған қабаттан 4,  $MnO_2$  және п-жартылай өткізгішті 5 ( $Ta_2O_5$ ) құралған - тантал оксидінен жасалған анодтан 6 тұрады.

Оксид-жартылай өткізгіш конденсаторларының жұмыс жиілігі  $2 \cdot 10^5$  Гц, электролиттік алюминий  $1 \cdot 10^5$  Гц, электролиттік тантал конденсаторларының  $3 \cdot 10^4$  Гц жетеді.

Арнайы типтегі К58 ионисторының конденсаторы (1.4 з-сурет) 1 корпусынан тұрады, онда белсендірілген көмірдің электродтары 2 алюминий фольгамен 3 жабылып және диэлектрик 4 арқылы бөлінеді. Электродтардың кеуекті құрылымына байланысты (беттің аумағы  $\sim 2000 \text{ м}^2/\text{г}$ ) ионисторлардың сыйымдылығы өте жоғары (жүздеген фараддар) және өзін-өзі төмен зарядтау ағымы ( $\sim 1 \cdot 10^{-10} \text{ А}$ ) болады;

60...69 - газ тәріздес диэлектрлік, *вакуумды* (В, КВ, ВВ, К61) конденсаторлар. Сыйымдылықтың кіші мәніне қатысты жоғары вольтты ( $U_{\text{раб}} \sim 15...45 \text{ кВ}$ ,  $C \sim 25.500 \text{ пФ}$ ),  $\text{tg}\delta \sim 1 \cdot 10^{-5}$ ;  $\text{TKE} \sim 5 \cdot 10^{-5} 1/^\circ\text{C}$ ; олар бұзылғаннан кейін өздігінен қалпына келе алады;

70...79 – *таспалы және металтаспалдан* жасалған конденсаторлар. Құрылымдық орындалуы бойынша қағаз және металл қағаз конденсаторларына ұқсас. Диэлектрлік ретінде оларда полярлы емес полистиролдан (К70, К71), политетрофторэтиленнен (К72) жасалған органикалық қабықшалары және полярлы полиэтилентерфталат (К73), олардың электрлік оқшаулайтын қасиеттері жақсы:  $\epsilon = 2...4$ ,  $\text{tg}\delta = 2 \cdot 10^{-3}$  жиілігі  $f = 500 \text{ МГц}$ ;  $\rho = 1 \cdot 10^{17}...1 \cdot 10^{18} \text{ Ом} \cdot \text{см}$ . Осындай конденсаторлар қабығы жиі оқшаулағыш пленка болып табылады, ол ұштардан  $t \sim 150^\circ \text{ C}$  температура кезінде қысылады. Сыртқы пленкамен бірге ол монолитті массаны қалыптастырады. Фторопластты конденсаторлар жұмсақ қабықшадан немесе метал корпусқа, ал жоғары вольтты - керамикалық корпусқа орналастырылады. Полярлы емес таспалы конденсаторлардың жұмыс жиілігі  $1 \cdot 10^9$  Гц, полярлы -  $1 \cdot 10^7$  Гц жетеді.

3. Өзінің эволюциясы кезінде пайда болатын белгілі бір типтегі (субтип) құрамдас өзгерістерді белгілеудің идентификаторы.

4. Құрылымдық орындау түрінің белгілерін сәйкестендіргіш: «а» - бір бағытта шығарылатын өткізгіштер, «б» - әртүрлі бағыттарда шығарылатын өткізгіштер, «в» - беткі монтаждау үшін.

Оксид пен газ конденсаторларының жұмыс кернеуінің көрсеткіші. ГОСТ 9665-77 стандартпен 1-ден  $1 \cdot 10^4 \text{ В}$ -қа дейінгі 37 мәндерді қамтитын конденсаторлардың жұмыс кернеулерінің қатарын белгілейді.

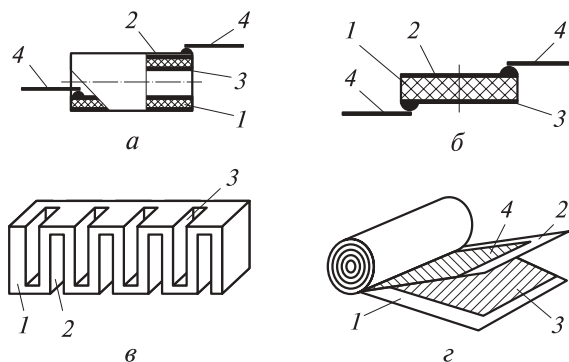
П100, П60, П33, МПО, М33, М47, М75, М150, М220, М330, М470, М750, М1500, М2200 және М3300 сияқты ТКЕ индикаторы оң (Р), нөлдік (МРО) немесе теріс (М) температура  $1^{\circ}\text{C}$  ауысқан кезде конденсатордың сыйымдылығының салыстырмалы өзгерісінің мәндері. Мысалы, М750 білдіреді  $-750 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ , ал П33 –  $33 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ .

Сегнетокерамика негізіндегі конденсаторлар үшін диэлектрлік  $\epsilon$ -нің өткізгітік мәні температураға тәуелді, Н10, Н20, Н30, Н50, Н70 және Н90 көрсеткіштері бар бірқатар ТКЕ индикаторлары енгізілді. Мұнда екі таңбалы сан салыстырмалы өзгерісті көрсетеді,  $-60...+85^{\circ}\text{C}$  температура диапазонындағы конденсатордың сыйымдылығының % -ы.

7. Конденсатор сыйымдылығының номиналды мәнінің көрсеткіші. Оксидтік конденсаторлар үшін екі номиналды мәндер жиынтығы белгіленеді: Е6 және Е12. Басқа конденсаторлар үшін алты номиналды қатардың мәндері белгіленген: Е6, Е12, Е24, Е48, Е96 және Е192.

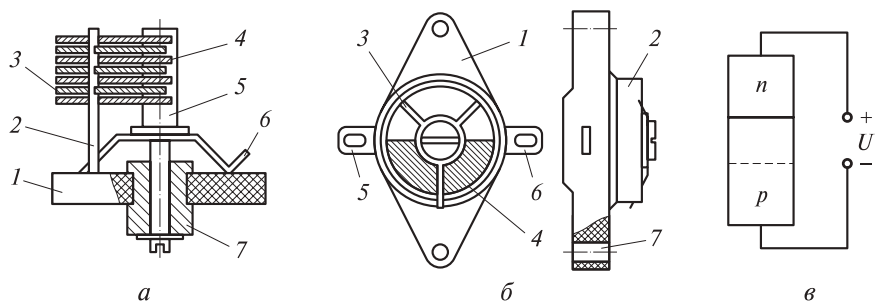
8. Номиналды сыйымдылықтың мәні жоғарыда көрсетілген қатарлардың біріне жататын конденсатордың дәлдік класының көрсеткіші.

9. Конденсацияның климаттық түрлерінің идентификаторы: «В» - барлық климаттық конструкция, яғни конденсаторды ең ауыр жұмыс жағдайында пайдалануға болады; «И» - оқшауланған.



1.5-сурет. Тұрақты сыйымдылықтың конденсаторлар құрылысы:

а - құбырлы (1 - керамикалық түтік, 2, 3 - күміс астар, 4 - икемді сым сыртқа шығарылған өткізгіштер); б - дисктік (1 - керамикалық диск, 2, 3 - күміс астар, 4 - икемді сым сыртқа шығарылған өткізгіштер); в -кесекшелі, көпшықпалы (1 - құйма керамикалық негіз, 2, 3 - күміс паста толтырылған ойықтар, күміс пластиналардың екі тобын қалыптастыру үшін керамикаға өртелген); г - металл қағаз орамы (1, 2 - қағаз немесе полимерлі таспадан жасалған негіз; 3, 4 - фольгадан жасалған қоршау немесе бүріккіш)



1.6.-сурет. Айнымалы сыйымдылық конденсаторының құралымы:  
 а — ауа диэлектригімен (1 — керамикалық негіз; 2 — бағана; 3 — статор тілімдері; 4 — ротор тілімдері; 5 — роторосі; 6 — токалғыш; 7 — тығын); б — қаттыдиэлектригімен (1 — керамикалық негіз; 2 — ротордискі; 3 — серіппе; 4 — ротор күмісінің қабаты; 5, 6 — шығарулар; 7 — бекітуге арналған тесік); в — жартылай өткізгіш конденсатор (варикап)

10. Автоматтандырылған құрастырылым бейімділіктің идентификаторы.

11. Конденсатордың электрлік, құрылымдық және пайдалану параметрлері туралы толық ақпаратты қамтитын негізгі құжаттың нөмірі мен түрі (ГОСТ, ТУ, ЧТУ).

Тұрақты сыйымдылықтың конденсатор конструкцияларының нұсқалары 1.5-суретте берілген.

Ауыспалы сыйымдылықтың конденсатор конструкцияларының нұсқалары 1.6-суретте бейнеленген.

Арнайы конденсатордың түрін, типтік номиналын және типтік өлшемін таңдаған кезде, оның функционалды мақсатын, оның электрлік (оның ішінде жиілігін) және пайдалану параметрлерін, орнату әдісін ескеру қажет. Конденсатордың электр жүктемесі кернеудің  $K_U$  номиналды мәніне қатысты жүктеме коэффициентінің мәнімен бағаланады. Эксплуатацияның әртүрлі шарттар үшін  $K_U = 0,7... 0,9$ .

## 1.5. Индуктивтілік шарғысы және трансформаторлар

Индуктивтілік катушкалар  $L$ -электрлік индуктивтіліктің тасымалдаушылары болып табылады. Электромагниттік индукция теориясы олардың жобаларын есептеудің теориялық негізі болып табылады. Әр түрлі конструкциялардың катушкаларының  $L$  индуктивтілігін есептеу үшін арнайы формулалар қолданылады, оларда жалпы тәуелділік болып табылады.

$$L = \mu \mu_0 n^2 f(s, l),$$

мұндағы  $\mu$  — магнитті ортаның өткізгіштігі;  $\mu_0$  — магнитті вакуумның тұрақтысы,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м;  $n$  — айналымдардың саны;  $f(s, l)$  —

шарғы конструкциясының параметрлеріне байланысты функция: бұрылыс киманың ауданы  $s$  және ұзындығы  $l$ .

Функция, катушкалар конструкциясының параметрлері: бұрылыс секциясының  $s$  ауданы және  $l$  ұзындығына байланысты. Индукторлары бар тізбектердің параметрлерін есептеу үшін бірнеше белгілі қатынастар береміз:

- катушкалар реакциясы, Ом,

$$X_L = j\omega L;$$

- катушкада жиналған, энергиясы, Дж,

$$W_L = 0,5 I^2 L;$$

- уақыттың тұрақты шамасы RL-тізбегінің

$$\tau = L/R;$$

- катушканы ұстап тұратын, тізбектегі тогы, А,

$$i_L = L^{-1} \int u_L dt;$$

- катушкадағы кернеуі, В,

$$u_L = L(di_L / dt);$$

- катушкадағы реактивті қысымы, вар,

$$P_{Lp} = UI \sin \varphi \approx \omega LI^2$$

- тізбектің табиғи тербелістерінің жиілігі, Гц,

$$f = (2\pi\sqrt{LC})^{-1}$$

- Диэлектрлік тангенс бұрышының  $\operatorname{tg} \delta$  шығыны және беріктілігі

$$Q = 1 / \operatorname{tg} \delta = \omega L / r$$

мұнда  $r$  — катушканың белсенді кедергісі, Ом;

Екі катушканың өзара индукция коэффициенті, Гн,

$$M = k \sqrt{L_1 L_2},$$

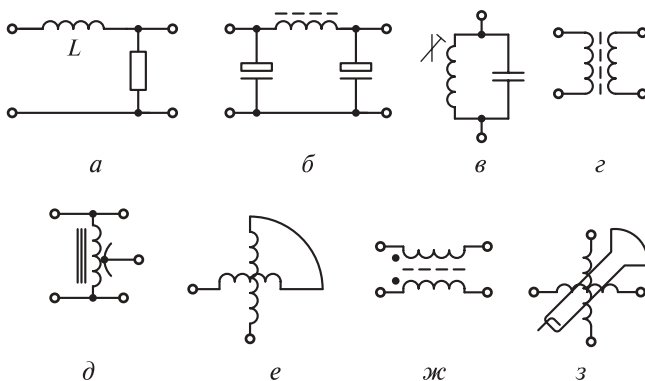
мұнда  $k$  — байланыс коэффициенті,  $k = 0 \dots \pm 1$ ;

- Катушканың индукциясы  $L(T)$  температура дрейфін есептегенде  $\Delta T$  индукция коэффициент температура мағынасын берілгенде (ТКИ) және индукцияның бастапқы мағынасында  $L(T_0)$

$$L(T) = L(T_0)[1 \pm (\text{ТКИ}) \Delta T].$$

Түйіндер мен құрылыстарда РЭҚИ индукция катушкалары және тағы басқа орама бұйымдар әр түрлі функцияларды орындайды, электрлік принциптік сызбаларда көрсетіледі олар УГО дан МС 2.743 — 82 (1.7 суреті).

Жіктеу кеңістігінде орама өнімдер функционалдық максаттарға бөлінеді, электрлік параметрлерге, конструкциялық орындауға және пайдалану шарттарына сәйкес бөлінеді. Осылайша, ЭКЖ-



1.7. Сурет БҰР, орама өнімдерінің әр түрлі функцияларын көрсетеді:

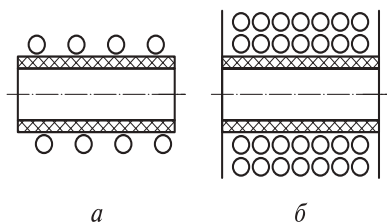
*a* — тапсырғыш уақыт тізбегінің элементі; *б* — төменгі ақау сүзгішінің элементі; *в* — кедергі пінінің катушкасы; *г* — күшті немесе келістіретін трансформатор; *д* — реттегіш кернеуі; *е* — вариометр; *ж* — қосарлы дроссель; *з* — электр сәулелі құбырдың итермелі катушка жүйесі

ның түйіндері мен құрылғылары жобаланған кезде, номинал және өлшем сияқты *дроссель* мен *трансформаторлардың*, сондай-ақ *пішіні* мен *сүзгіштердің* конструкцияларының түрі мен өлшемін, параметрлерін есептеу қажет. Стандартты орама өнімдері туралы толық ақпарат NTD-де қамтылған. Тапсырыс беру және бастапқы қолдану үшін, олар туралы кейбір мәліметтер моторлы өнімдердің осы түріне қарай өзгертін параметрлердің алфавиттік және сандық идентификаторларынан тұратын негізгі жазбада қамтылған.

- Орама өнімдерінің қолданыстағы алуан түрлері негізгі жазбаның жалпы формуласын ұсынуға мүмкіндік бермеді, резисторлар мен конденсаторлар сипаттамасына ұқсас келетін, өйткені әртүрлі орама өнімдері олардың тандап алынған номинал түрі және өлшем түрі тандайтын параметрлер әр түрлі болып келеді. Дроссельдің мұндай параметрлері оның индуктивтілігі және жұмыс токі, желілік трансформаторы - берілетін қуат және жұмыс кернеуі және импульстік трансформатор - берілген импульстің ұзақтығы болып табылады. Сондықтан басты жазбаның идентификаторларының мәндері әртүрлі.

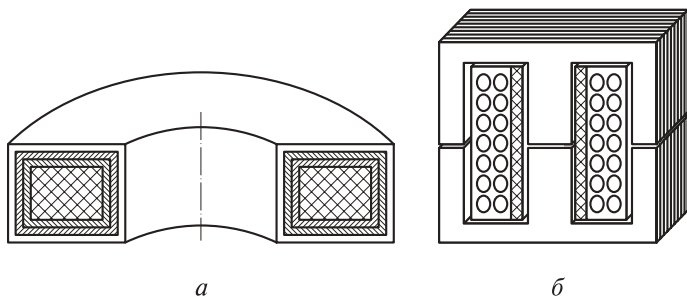
Тоғы бар катушкалардың немесе тізбектердің индуктивтілігін есептеу үшін айналымның конфигурациясын, магниттік тізбектің сипаттамаларын және параметрлерін ескеретін ең жиі шамамен формулалар немесе номограммалар қолданылады[11].

Басқа дизайнерлік бұйымдарды жобалау кезінде (1.8-1.10-суреттер) индуктивтіліктің немесе катушкалардың бұрылыстарының санын, сондай-ақ басылған өткізгіштер мен байланыс желілерінің индуктивтілігін есептеу қажет.



1.8. Сурет Соленоидальды катушкалар:

а — бір қабатты; б — көп қабатты



1.9. Сурет Магнит желісі тұйықталған катушкалар:

а — сақиналы; б — өзекті

Соленоидальды катушканың индукциясы  $L_c$   $D_c$  диаметрмен және  $l$  ұзындығымен Нагаока формуласымен анықтайды:

$$L_c = \mu\mu_0 k n^2 s / l,$$

мұнда  $k$  — коэффициент, қатынасқа байланысты  $1/D_c$ ;  $s = \pi D_c^2 / 4$ .

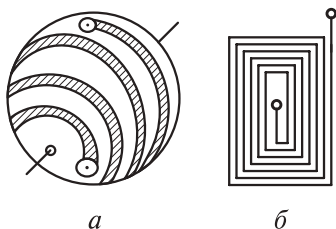
Тороидальды катушканың индукциясы

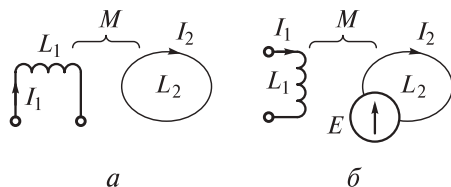
$$L_c = \mu\mu_0 n^2 S_c / l_{cp}$$

мұнда  $S_c$  — білік қиылысының көлденең ауданы;  $l_{cp}$  — шеңбер білігінің орташа ұзындығы,  $l_{cp} = \pi d_{cp}$  ( $d_{cp}$  — біліктің орташа диаметрі).

1.10. сурет Катушканың сирек түрі:

а — шар тәрізді; б — тегіс





1.11. Сурет. қысқа түйінді орама катушкасы: а — жұп «катушка — КЗ орама»; б — эквиваленттік жұптың сызбасы

Екі сымды байланыстың индуктивтілігі келесі формула бойынша есептеледі:

$$L_{LC} = \frac{\omega_0 l}{\pi} \ln \frac{2d}{\delta + 0.5w}$$

мұнда  $l$  - сызықтың ұзындығы;  $d$  - өткізгіштер арасындағы қашықтық;  $\delta$  және  $w$  - тиісінше өткізгіштің қалыңдығы мен ені.

Қысқа тұйықталған (КЗ) бұрылысты индуктивтілікке әсерін қарастырайық. «Катушка-КЗ орамасы» жұбының схемасы 1.11сур., а, және оның баламалы сұлбасы 1.11.б. суретте көрсетілген.

$L_1$  катушкасы арқылы айнаымалы ток өтетін  $I_1$  М арқылы өзара индуктивтілік арқылы КЗ орамамен  $L_2$  катушкасымен байланысты. Электр козғалтқыш күші (ЭКК)  $E = -j\omega M I_1$  КЗ орамаға тұйықталу кезінде индукцияланып, онда ток  $I_2$  жасайды. Өз кезегінде инволюциялық қарсыласуымен салыстырғанда, айналымның белсенді қарсылығын елемей,  $X_2 = j\omega L_2$  деп жазайық

$$I_2 = E/X_2 = -jMI_1/(j\omega L_2) = -MI_1/L_2.$$

Ұстап тұратын катушкалардың толық ағыны

$$\psi = \Phi_1 + \Phi_2 = L_1 I_1 + M I_2 = L_1 I_1 - M^2 I_1 / L_2 = I_1 (L_1 - M^2 / L_2).$$

Онда жұптың индуктивтілігі  $L = \psi / I_1 = L_1 - M^2 / L_2 = L_1 (1 - \kappa^2)$  Осылайша, катушкалардың жанында катушкалар КЗ ораманың болуы (изоляцияның бұзылуы, сыртқы қалқан) оның индуктивтілігін  $\kappa^2 L_1$  және  $\kappa=1$   $L=0$  кезінде төмендетеді.

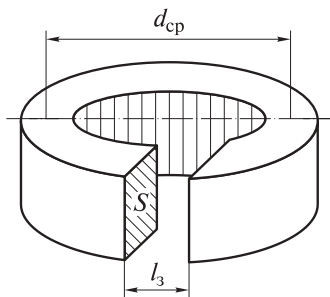
Айналмалы магнит тізбегіндегі  $I_3$  ауа ағынының катушкасының индуктивтілігіне әсерін қарастырайық (1.12-сурет). Бұл жағдайда магниттік схема магнитті кедергісі бар екі бөліктен тұрады. Білік

$$R_{M.C.} = \rho_M l_c / S =$$

$$= (l_{cp} - l_3) / (\mu \mu_0 S), (l_{cp} = \pi d_{cp}$$

$$\text{Және саңылау } R_{M.3.} = l_3) / (\mu_0 S).$$

$\Phi_3$  саңылауда ағысын есептейік, магниттік тізбегіне Ом заңын қолдана



1.12. Сур Біліктегі катушка әуе саңылаумен

отырып:

$$\Phi_3 = In / (R_{\text{м.с}} + R_{\text{МЗ}}) = In \mu \mu_0 S / \{ l_{\text{ср}} [1 + p(\mu - 1)] \}$$

мұнда  $p = l_3 / l_{\text{ср}}$ .

Тізбектер ағынның саны  $\psi_3 = p\Phi_3$ , онда индуктивтік

$$L_3 = \frac{\psi_3}{I} = \frac{\mu_0 n^2 S}{l_0} \frac{\mu}{1 + p(\mu - 1)} = L_0 \frac{\mu}{1 + p(\mu - 1)}.$$

Осылайша, саңылаудың болуы катушкалардың индуктивтілігін азайтады

### Микроэлектроника құралдары арқылы индуктивті компонентті енгізу

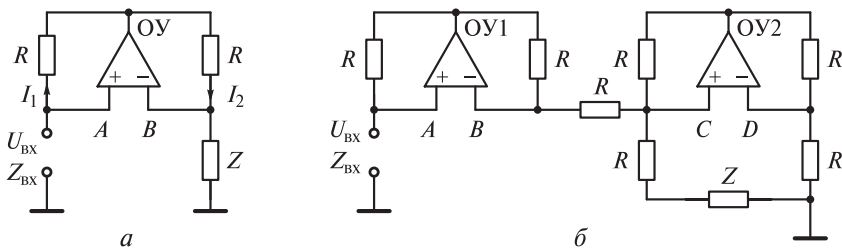
Микроэлектрониканың дамуымен микроқұрылғыларды өндіру технологиясы біріктірілген топтық технологиямен үйлесімді болатын индуктивті компонент құру қажет болды. Мұндай индуктивті компонент *гиратор* негізінде - жүктеме кедергісін кірістегі кері мәніне түрлендіретін төрт терминалы желіні жүзеге асыру мүмкін. Басқаша айтқанда, гироскопиялық жүктің импеданс сыйымдылығы болса, онда оны енгізу импеданс индуктивті болады, яғни, индуктивті болады. Гироскоптың кіріс тогы кіріс кернеуінің  $90^\circ$  артынан артта қалады.

Гиратордың қозғалу принципінің сипаттамасын теріс импенденсінің өзгеруінен (ТИӨ) операциялық күшетуіне сүйене отырып (ОК) Z импенденстің ауыстырмалы қысымын және кіргенде теріс мәнін сипаттайды:

$$Z_{\text{BX}} = -Z \quad (1.13, \text{ а сур}).$$

Расында,  $Z_{\text{bx}} = U_{\text{bx}} / I_{\text{bx}}$ ; себебі  $U_{AB} = 0$ , то  $I_1 R_1 + I_2 R_2 = 0$

бұдан  $I_1 = -I_2$ . Себебі кірісінде А және В ток ағып кетпейді, онда  $I_{\text{BX}} = I_1 = -I_2$ , ал кернеу  $U_{\text{BX}} = U_A = U_B = I_2 Z$ . Осыны есептегенде  $z_{\text{bx}} = I_2 Z / (-I_2) = -Z$



1.13. Сурет. Гиратордағы индукциялық элемент:  
а — теріс импенденсінің өзгеру сызбасы; б — гиратордың сызбасы;  
ОК — операциялық күшейткіш

1.13, б, суретте көрсетілген гираторекі (ТИӨ) және ОК1 и ОК2 тұрады, бірінің соңынан қосарланып. Алдыңғы есептеуді қолдана отырып, жазайық:

$$Z_{B-0} = R + \frac{-R(R+Z)}{R+Z-R} = -\frac{R^2}{Z},$$

онда 
$$Z_{BX} = -\left(\frac{R^2}{Z}\right) = \frac{R^2}{Z}$$

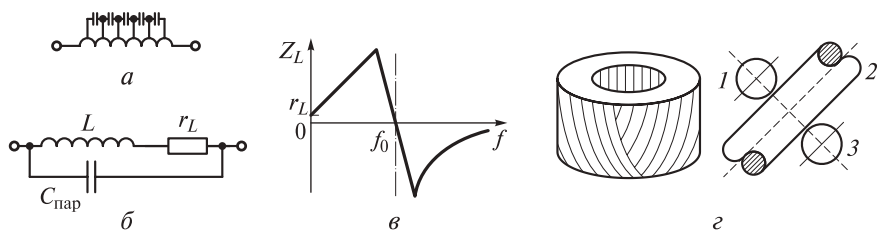
Негізінде, егер  $Z=1/(j\omega C)$ , онда  $Z_{BX}=j\omega CR^2=j\omega L_{\text{ЭКВ}}$ ; егер  $Z=j\omega L$ , онда  $Z_{BX}=R^2/(j\omega L)=1/(j\omega C_{\text{кв}})$ ; егер  $Z=R$ , онда  $Z_{BX}=R$ .

Осылайша, конденсаторды қосқанда  $C$  қуат түрінде  $Z$  импеданс гиратордыңкірісі  $Z_{BX}$  индуктивті болады.

### Индукциялық катушкардың паразиттік параметрлері

Кез-келген конструкция түрінде іске асырылған (дроссель, трансформатор, осцилляторлық тізбектің катушка кедергісі)  $ZL$  катушкасының импедансы кең жиілік диапазонында таза индуктивтік емес. Бұл катушкардың бұрылыстарының арасындағы паразиттік сыйымдылық байланысы, сондай-ақ катушкар мен құрылымның басқа элементтері арасындағы байланысты. Сонымен қатар, катушкардың конструкциясы элементтеріндегі энергия шығыны - орам және ядро бар. Өте жоғары жиіліктерде  $ZL$  мәніне электромагниттік энергияны катушкардың орамында таратудың соңғы уақыты әсер етуі мүмкін. Бұл жағдайда, катушкар конструкциясы бөлінген параметрлерге ие компонент ретінде қарастырылуы тиіс.

**Интервелді паразиттік сыйымдылық.** Бұл сыйымдылық әртүрлі потенциалдарда орналасқан орамдағы өткізгіштің учаскелері арасында бөлінеді (1.14а-сурет), бірақ оның жалпы әсерін  $C_{\text{пар}}$  конденсаторын жоғары жиіліктерде баламалы катушкар тізбегіне енгізу арқылы (1.14, б. сур) ескеруге болады.



1.14. Сур. Интервелді паразиттік катушканың сыйымдылығы:

а — катушка орамдары арасындағы көлемдік байланыс; б — жоғарғы ауытқулардағы катушканың эквиваленттік сызбасы; в — эквиваленттік пішінінн резонанстық қисығы; г — ұялы орамдағы катушканың құрылымы; 1 — 3 — орам қабаты

$C_{\text{пар}}$  конденсаторының болуы катуштың жұмыс ауқымын баламалы тізбектің жиілік / параллельдік резонансымен шектейді (1.14 в-сурет).

$C_{\text{пар}}$  мәнін төмендетудің бір жолы - катушкалардың ұялы айналмалы орамаларын пайдалану (1.14, г), іргелес қабаттардың айналуы ортогоналды тәртіпте орналасқанда. Бұл жағдайда 1 және 2, 2 және 3-топтар арасындағы паразиттік сыйымдылық қабаттардың шағын контакт аймағына байланысты шағын болады. 1 және 3-топтар арасындағы паразиттік сыйымдылық олардың арасындағы салыстырмалы түрде үлкен қашықтыққа байланысты кішкентай.

**Қатардағы шығындар.** Қаптамада сақталатын энергияның бір бөлігінің *шағырауына* байланысты оның орамасының, ядро мен диэлектриктердің жоғалуы - бұл жылу энергиясына немесе радиацияға кері қайтарылмайтын және катушкалардың сапа факторына әсер етеді. Сапа

$$Q = P_p / P_a$$

онда  $P_p$  - катушкалардың реактивті қуатының орташа мәні,  $P_p = UI \sin \varphi$ ;  $P_a$  - белсенді шығындардың қуаты,  $P_a = UI \cos \varphi$ ;  $\varphi$ -ток пен кернеу арасындағы фазалық жылжу бұрышы.

Мінсіз катушкалар үшін  $\varphi = \pi/2$  бұрышы нақты катушкалар үшін –  $\varphi < \pi/2$ .  $\Phi$  бұрышы  $\varphi$ -нан  $\pi/2$ -ке толтырылған бұрыш  $\delta$  жоғалту бұрышы деп аталады.  $\delta \ll \pi/2$ ,  $\tan \delta \sim \delta$ , одан кейін  $Q = 1/\delta$  немесе катушаның импеданс компоненттері арқылы

$$Q = \omega L / r_L$$

мұндағы  $r_L$  - жиілікте ю катушкалардың орамасының белсенді  $\omega$  кедергісі.

Ораманың  $r_L$  кедергісімен катушкалардың *белсенді* жоғалуы тері әсерінен байланысты жиіліктің  $\omega$  артуымен байланысты болады. Бұл шығынның төмендеуінің бір жолы - катушканы орауға арналған «литценд-рат» сым - көп қабатты сымның, оның әрқайсысы оқшауланған.

*Магнитизациялауды* өзекте қалпына келтіру үшін ядро жоғалту магнит материалының гистерезисіне және оның магнит тұтқырлығына байланысты, ол сыртқы өрістің әсерінен негізгі материалдың магниттік күйіндегі өзгерістердің кешігуінде көрінеді.

*Өзектегі ток* жоғалуы магнит тізбегінде немесе экранда қысқа тұйықталған катушка болып келеді. Магниттік схемада кішкене ауа ағынының болуы осы түрдегі жоғалуды айтарлықтай азайтады, бұл сонымен қатар катушкалардың өлшемдерімен салыстырғанда салыстырмалы түрде үлкен экран өлшемдері арқылы жеңілдетіледі. *Диэлектрлік* шығындар катушкалардың құрылымында диэлектрлік материалдардың болуы және жетілмеуіне, сондай-ақ электр өрісінің болуы. Бұл жағдайда  $C_{\text{пар}}$  катушкасының паразиттік сыйымдылығы

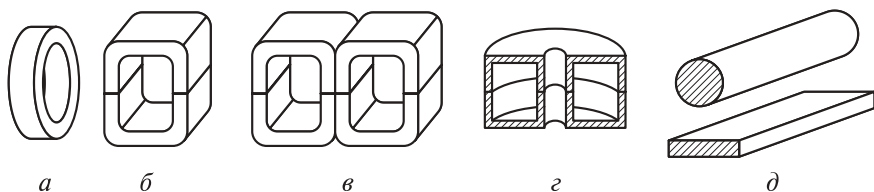
шығындармен сыйымдылық ретінде қарастырылуы тиіс. Төмен шығындармен (радиокерамика, полистирол) материалдарды пайдалану немесе қолдау қоршауын қабылдамау (әсіресе жоғары реактивті қуаттарда) осы түрдің жоғалуын азайтуы мүмкін.

### Магнит өткізгіштер

Магниттік схеманың түрін таңдағанда, өнімнің мәнін, жұмыс жиілігін, катушкалар параметрлерін реттеудің қажеттілігін және техникалық мүмкіндіктерді ескеру қажет. Өз кезегінде, магнит тізбегінің мөлшері берілетін қуатқа, қажетті катушкалардың индуктивтілігіне және оның негізгі дизайндағы орналасуына байланысты. Магниттік тізбектердің маңызды электрлік параметрлері - магнит өткізгіштігі, қанықтылық индукциясы, жұмыс жиілігі.

Дроссельдер, индукторлар және трансформаторларға арналған магниттік контурлық конструкциялар 1.15. суретте көрсетілген. Олардың геометриялық өлшемдері, сондай-ақ магнитті өткізгіштігінің  $P$  номиналды мәндері біріңғайланған және қатарларды құрайды.

Жабық магниттік тізбектердің артықшылықтары шағын қаңғыбас өрістер (магнит өрісі жерсіндірілген) және олардың мақалалар оралатын кішігірім өлшемдері болып табылады. Алайда, олар технологиялық бұйымдар, сондай-ақ үлкен термиялық тұрақтылығы белдік өзектілік негізінде жасалған өнімдер өте қиын.  $P_n$  магниттік тізбек параметрлерін анықтау және жоғалту және жылу жағдайын орамасының алдын ала анықталған жүктеме қуатта трансформатордың параметрлерін есептеу кезінде. қолданбалы кіріс кернеу  $f$  жиілігіне байланысты:  $f=50...1 \cdot 10^3$  Гц бар - брондалған және өзекті және  $f = 400 ... 105$  Гц – тороидальды магниттік өрістерінде қолданады. Магниттік индукция  $B_m$  шамасы бар магнитті ядролық материал үшін синусоидальды кіріс кернеуімен,  $j$  орамдарының ағымдағы тығыздығы және негізгі терезенің мінсіз толтырылуы үшін



1.15. Сур Магнит өрісінің конструкциясы:

$a$  — сақиналы;  $б$  — тұйықталған өзекті;  $в$  — құрышты;  $г$  — электро магниттік құрышты;  $д$  — өзекті ферриттік

мысалы, құрышты типті трансформатор үшін магнит тізбегінің өлшемі  $S_0 S_s = P_n k_n / (20 f B_m j)$ , таңдалады, мұнда  $S_0$  - негізгі терезенің көлденең қимасы;  $S_c$  - болаттың көлденең қимасы;  $k_n > 1$  - трансформатордың тиімділігіне ПЭК байланысты коэффициент.  $p_n k_n$  өнімі *трансформатордың жалпы қуаты* деп аталады.

Трансформатор орамасындағы индукцияға арналған кернеудің ЭМӨ айналым саны,  $w_0 = 2,5 / f B_m S_c$ ). Сонан соң кернеудің төмендеуін есепке алмағанда, бастапқы және қайталама орамдардың бұрылыстарының саны  $w_1 = w_0 U_1$ ,  $w_2 = w_0 U_2$ .

Трансформатордың бастапқы және қайталама орамасының ток  $I_{xx}$  жүктемелік ток күшін ескерместен формулалармен анықталады:

$$I_1 = P_n / (\eta U_1); I_2 = P_n / (\eta U_2).$$

Орама сымы мен диаметр қиылысы:

$$s_1 = I_1 / j, d_1 = 1,13(s_1)^{0.5}; s_2 = I_2 / j, d_2 = 1,13(s_2)^{0.5}.$$

Содан кейін орамалардың параметрлері есептеледі - қабаттың биіктігі, қабаттағы бұрылыстар саны, қабаттардың саны және орамның қалыңдығы. Содан кейін, орамалар арасындағы кернеу шамасы бойынша қабаттасқан және интервалды оқшаулағыш пленка қабатының қалыңдығымен саны таңдалып, катушаның қалыңдығы есептеледі.

Егер катушкалардың қалыңдығы рұқсат етілген мәннен асып кетсе, онда магнит тізбегінің басқа түрі таңдалып, трансформатор параметрлері, белсенді шығындар және жылу жағдайлары анықталған.

## 1.6. Пьезоэлектрлік элементтер

Пьезоэлектрлік элементі (ПЭ) жұмыс істеу принципі алға құбылыстар негізінде және пьезоэффект түрлі градус, пьезоэлектр эсерлер кері отырып - анизотропты пьезодиэлектрик (кварц) пьезоөткізгіштік және пьезокерамикалық күйде негізделеді. Осы материалдардағы *тікелей пьезоэлектрлік* эсердің пайда болуы бір мезгілде ақысыз зарядтардың пайда болуымен механикалық күшінің әрекет етуі кезінде жалпы дипольдің электрлік сәті пайда болуына немесе өзгеруіне байланысты. Өз кезегінде, *кері пьезоэлектрлік* эсердің феномені электрлік өрістің дипольді құрайтын зарядтардың гравитациялық орталықтар арасындағы орташа қашықтығы эсерінен, механикалық кернеулердің немесе элементтердің геометриялық өлшемдеріндегі өзгерістердің бір мезгілде өзгеруімен байланысты.

Бұл жағдайда кері пьезоэффекттің феномені *электрофенцияның*

құбылысымен ерекшеленуі керек, яғни, электр өрісінің әсерінен диэлектриктердің деформациясы. Деформация мен өріс арасындағы пьезоэффекта сызықтық тәуелділік бар, ал электрлендіру кезінде - шаршы. Сонымен қатар, электрлендіру кезінде деформацияның белгісі өрістің бағытына байланысты емес және пьезоэлектрлік әсер өрістің белгісіне байланысты болғанда. Ақыр соңында, электроструктура ерікті құрылыстың диэлектриктерінде, тіпті сұйықтар мен газдарда мүмкін болады, ал пьезоэлектрлік әсер тек қатты диэлектриктерде, негізінен кристалдай, байқалады.

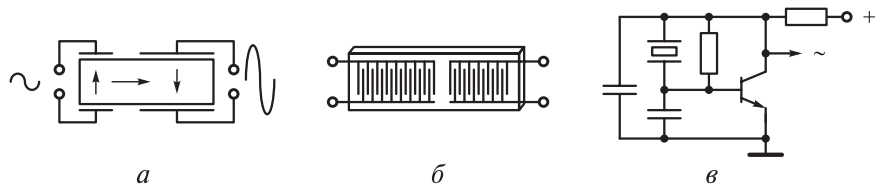
Пьезоэлектрлік қасиеттер *электросегнетик* домендік құрылымы бар, өзiгiнен жасалған (Кюри температурасына дейiн) поляризациясы бар заттардың кристалдық диэлектриктерiнде айқын көрiнедi.

*Пьезоэлектрлік жартылай өткізгіштерде* фотонды және электрондардың акустоэлектрондық өзара әрекеті ультрадыбысты күшейту немесе сіңіру әсерін тудырады. Олардың сезімталдығы жеңіл және акустикалық (ультрадыбыстық) толқындардың акусто-оптикалық өзара әрекеттесуіне (акусто-оптикалық құрылғылар - дефлекторлар, модуляторлар, процессорлар) мүмкіндік береді.

ЭКЖ-де ПЭ құру және пайдаланудағы прогресс, сонымен қатар электронды ақпаратты өңдеу құралдарын көбінесе электрлік емес сипатта болатын технологиялық объектілермен энергияны үйлестіру үшін қажет энергияны түрлендіру түрлендіргіштерінде (ЭТТ) жалпы технологиялық қажеттіліктермен байланысты.

Электромеханикалық (ЭТТ) электромагниттімен өз дамуында өзін таусылды және күрделі микроинициализация проблемаларын шешуге көмектесе алмады. Атап айтқанда, қатаң күйдегі электромагниттік механизмді құру мүмкін емес, ол негізінен катушкалар мен өзектік өзара қозғалуын талап етеді. ПЭ қосымшаларының мысалдары 1.16-суретте келтірілген.

Жасанды арзан пьезоэлектриктердің, атап айтқанда, пьезокерамиктердің пайда болуымен ПЭ негізінде ПЭД дамыту мүмкін болды. Оның негізінде жаңа қатты күйдегі ПЭД-қозғалтқыштар мен микроманипуляторлар, ток түрлендіргіштер, кернеулер, тербеліс жиіліктері, қозғалыс параметрлері және механикалық кернеулердің сенсорлары жасалды.



1.16. Сурет. Пьезоэлектрлік элементер:

*а* — пьезотрансформаторлар; *б* — кідіру сызығы; *в* — генератор сызбадағы кварцтік резонаторы

Бұл құрылғылар электромеханикалық ПЭД-мен салыстырғанда бәсекеге қабілетті пайдалану сипаттамаларына ие: жылу энергиясына, иондаушы сәулеленуге, агрессивті медиаға; салыстырмалы түрде аз массасы және жалпы өлшемдері; түрлі функциялары бар.

Осылайша, ЦБТС-4 керамикасының негізінде ТПЭН трансформаторларын төмендету (120-дан 5-ке ... 48 В-қа дейін) 15 см<sup>3</sup> көлемінде жұмыс істейтін 60,80 кГц жиілікте 20 Вт-қа дейін электр энергиясын жібереді. Трансформаторлар ТРЕ маркасының қуатын 45 кГц жиілікте 2,5 Вт дейін ұлғайту (40 Вт-тан 1,5.5кВ дейін) 35 см<sup>3</sup> көлемін алады.

Стандартты К151 ИМС бумасында жинақталған көлемдік және беткі акустикалық толқындарға арналған интегралдық кварц фильгірлері 80 дБ дейін ұстап тұру сигналын жоғарылатып, 8 дБ дейін жоғалтуды енгізеді.

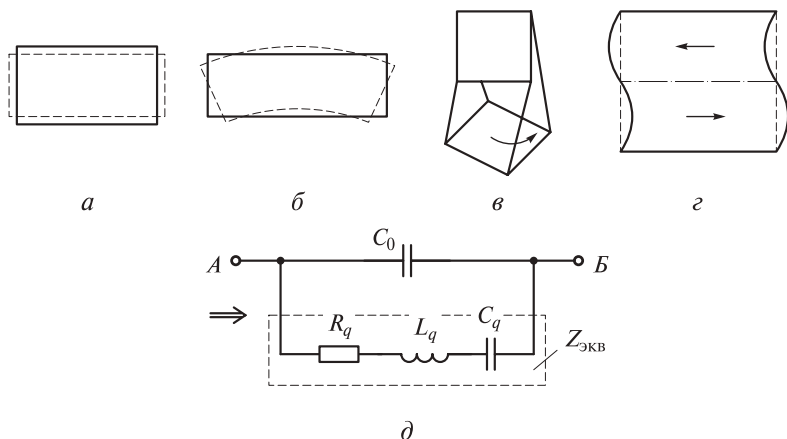
Сонымен қатар, ПЭ негізіндегі пьезоэлектрлік микрофондар, телефондар, дауыс зорайтқыштар, ультрадыбыстық сәуле шығарғыштар, релелер, ауыспалы датчиктер, жылдамдықтар, үдеткіш және басқа құрылғылар жасалды.

*Кварц резанаторлар*(КР) РЕС элементтері жиілігі генераторлар беруге тұрақтандыру және құрылғыларды қабылдау ретінде пайдаланылады. SiO<sub>2</sub> сусыз кремний диоксиді, - алты бұрышты пирамиданың және ромбоэдралар тіркесімі болып табылатын пішіні пластиналар КР өндіру үшін бастапқы материалдық табиғи кварц болып табылады. әр түрлі осьте өткізгіштік ауытқулар салдарынан түрлі кварц қасиеттері мен осы ось көрінісі (оптикалық  $z$  - пирамида қырларының ромбоэдралары арқылы өтеді - пирамида және механикалық  $x_b$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ -шетіне өтеді - ромбоэдрарныңшындары, электр  $y_b$ ,  $y_2$ ,  $y_3$  арқылы өтеді).

КР жұмысының принципі электр осьтері бойымен жүретін кварцтағы тікелей және кері пьезоэлектрлік әсерлердің құбылыстарына негізделген. Бұл жағдайда кристалдан кесілген пластиналар КР тақтасының жазықтық осьтердің бір бағытымен сәйкес келеді, бірақ  $x_u$  жазықтыққа әртүрлі бұрыштармен сәйкес келеді. КР-даәр түрлі тербелістер пайда болуы мүмкін (сурет 1.17), оның формасы КР өлшеміне және жиілік диапазонына байланысты.

КР дәйекті баламалы контурының параметрлерінің мәндері (1.17, д сур) 1.3.кестеде берілген.

Сапалылығы пішіні  $Q_q = 2\pi f L_q / R_q = 1 / (2\pi C_q R_q)$  пьезоэлектрлік қабаттардағы ішкі үйкелудің жоғалуына және акустикалық берілудің жоғалуына байланысты, бұл пластинаны эвакуациялау арқылы жойылады. Жіктелу кеңістігінде КР жиілік диапазонына (төмен жиіліктік - 0,4 МГц дейін, жоғары жиілігі - 0,4 ... 100 МГц және микротолқынды жиілік - 100 МГц-ден жоғары), жиіліктің тұрақтылығы (қарапайым және дәл), дизайн (газ толтырылған және вакуум) және жұмыс жағдайлары



1.17. Сур. Кварцты резанаторлардың механикалық ауытқулардың түрлері:  
**а** — көлденең; **б** — иілген; **в** — бұранды; **г** — жылжымалы; **д** — КР эквивалентті  
 электрлік сызбасы

(әсердің қатандығының төрт тобы). Бұл мәліметтердің бір бөлігі негізгі жазуда бар. Олардың жартысы негізгі жазбаларда бар. Классификаторлық кеңестіктегі КР мазмұнын негізгі екі резанаторлардың жазбаларында қарастырайық: РК76-ЭБ-15БВ- 20,48 М-В-В-У333815339ТУ және К1-4-А-М-5Д2 М-В-РЦ3.383.255ТУ ( 1.4 кесте).

1.4 Кестеде келесі классификациялық позициясының мәндер кеңестігі көрсетілген.

Кесте 1.3

| Ауытқу<br>жылігі | Эквивалент пішіннің параметрлері |                  |                  |                  |                      |
|------------------|----------------------------------|------------------|------------------|------------------|----------------------|
| $f, \text{МГц}$  | $C_q \cdot 10^2, \text{пФ}$      | $L_q, \text{Гн}$ | $R_q, \text{Ом}$ | $C_0, \text{пФ}$ | $Q_{\text{q, мың.}}$ |
| 0,1              | 4,55                             | 55,6             | 2 300            | 5                | 15                   |
| 0,4              | 1,66                             | 9,5              | 440              | 10               | 54                   |
| 0,8              | 3,09                             | 1,28             | 70               | 9,2              | 94                   |
| 1                | 2                                | 1,25             | 180              | 4                | 44                   |
| 5                | 6,20                             | 0,016            | 10               | 4,8              | 50                   |
| 10               | 0,9                              | 0,028            | 19               | 3,7              | 93                   |

| Негізгі жазбаның нөмірі | Классификациялық позициясының кеңістігі |    |    |    |   |
|-------------------------|-----------------------------------------|----|----|----|---|
|                         | 1                                       | 2  | 3  | 4  | 5 |
| 1                       | РК                                      | 76 | ЭБ | 15 | Б |
| 2                       | К                                       | 1  | —  | 4  | А |

1.3 кестенің соңы

| Негізгі жазбаның нөмірі | Классификациялық позициясының кеңістігі |         |   |   |      |
|-------------------------|-----------------------------------------|---------|---|---|------|
|                         | 6                                       | 7       | 8 | 9 | 10   |
| 1                       | В                                       | 20,48 М | В | В | № ТУ |
| 2                       | М                                       | 5,12 М  | В | — | № ТУ |

1. «ҚР» идентификаторы ЭРК жиынтығының кеңістігінде кварц резонаторларын белгілейді.

2. Идентификатор түрінде (резонатор түрінің тіркеу нөмірі).

3. ҚР-ның жобалық түрлендіру белгілерінің идентификаторы: ЭБ – шыны түрінде (1 ... 5 МГц), КА - металл баллоны (5 ... 70 МГц).

4. Бастапқы жиіліктегі  $\Delta f_0$  (ауытқу) ауытқуынан дәлдік сыныбының идентификаторы (барлығы 15 сынып).

5. Жұмыс температурасының диапазонын анықтаушы (барлығы 14 сынып).

6. Жұмыс температурасының интервалында  $\Delta f_0$  жиілігін күту класының тағайындау идентификаторы (барлығы 25 сынып).

7. КР жиілігінің номиналды көрсеткіші және ауытқу режимінің шифры (килогерцте - бірінші режимде, мегагерцте - екінші және одан жоғары режимдерде)

8. КР электр параметрлермен ықшам диск нұсқасын анықтаудың идентификаторы.

9. Климаттық өнімділік түрінің идентификаторы: «В» - қатал жұмыс жағдайында КР-ді пайдалануға мүмкіндік беретін жоба/

10. КР жобалау кезінде осы ЭРК пайдаланылатын негізгі құжаттың (ТУ, ЧТУ) нөмірі мен түрі КР эксплуатациялық электрлік, құрылымдық және пайдалану параметрлері туралы толық ақпаратты қамтиды. Белгілі бір ықшам диапазонның КР түрі қандай да бір температурада ұстау үшін қосымша құндылықтар мен қажеттілікті ескере отырып, мәнге және жиілік тұрақтылығына, жұмыс жағдайына, электрлік параметрлерге, орнату әдісіне қойылатын талаптарды ескере отырып таңдалады. КР электрлік жүктемесі реактивті қуаттылықпен оның

номиналды мәніне қатысты  $K_{p_p}$  коэффициентінің мәні бойынша бағаланады. Әр түрлі жұмыс жағдайлары үшін  $K_{p_p} = 0,7...0,9$  [21].

## Коммутациялы құрылғылар

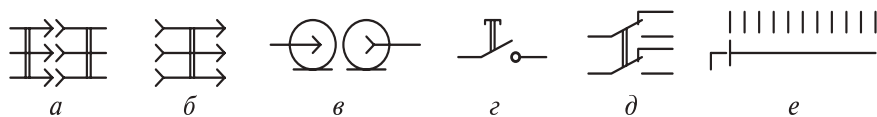
Коммутация құрылғылары (КҚ) электр тізбектерін қосу, ажырату және ауыстыру үшін арналған. Олардың әрекеті принципі электр байланысының феноменіне негізделеді - бір-бірімен байланысқан екі өткізгіштер арасындағы ток (КҚ байланысымен) немесе үзіліссіз тасымалдағыштың (байланысы жоқ КҚ) модуляция феноменіне негізделген. КҚ жіктеу кеңістігі МС 2.755 - 87 сәйкес ШБ схемаларында көрсетілген келесі түрлерді қамтиды:

- Тұрақты байланыс және механикалық қолмен жетегі бар КҚ байланысы (1.18-сурет);
- электромагниттік жетегімен КҚ байланысы (1.19-сурет);
- Қолмен басқарылатын басқыш түймесі жоқ ҚББ түйіспесіз ажырату қосқышы (1.20 сурет);

Электронды КҚ (1.21 сурет);

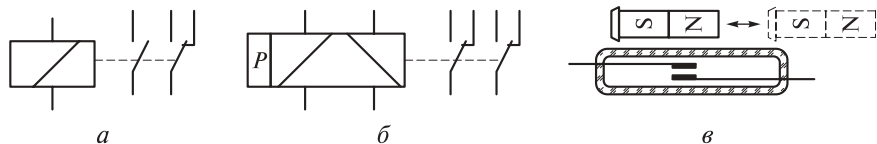
магнитострикционды және электрожылыту КҚ (1.22 суреті).

Түрі мен типіне қарамастан, кез-келген КҚ екі басты түйіннен тұрады (1.22-сурет): коммутациялық әрекет орын алатын нақты коммутациялық түйін (КТ) және бұл әрекет арқылы басқару түйіні (БТ). Осы түйіндерді орындау және біріктірудің әртүрлі сындарлы және технологиялық тәсілдерінің негізінде қазіргі заманғы КТ-ның әртүрлілігі қалыптасты.



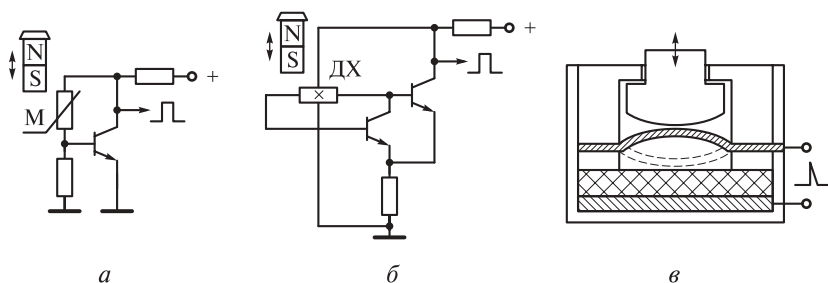
1.18. сурет. ШГБКТ үнемі байланыспен

(а — қосқыш НЧ; б — еңгізу; в — қосқыш ВЧ) және қол механизм желісі (г — тетік; д — екі полюсті ауыстырып-қосқышы; е — көп позициялы ауыстырып-қосқышы)



1.19. Сур.ШГБ КТ электромагнитті желісімен:

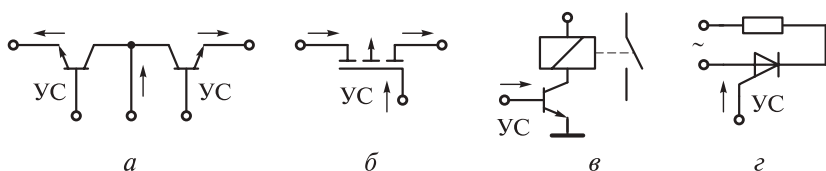
а — реле; б — дистанциондық ауыстырып-қосқышы; в — геркон



1.20-сурет. Магниторезистор негізіндегі КЖ

(а), Холл датчигі (б), және электреттігі (в):

М —магнитті басқарылатын резистор; ДХ — Холл датчигі



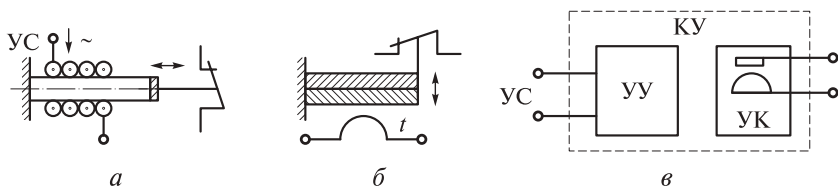
Сур. 1.21. Электронды КТ:

а — токтатқыш; б — ток кілті; в — транзисторлық кілт; г — тиристорлық кілт; ББ —басқару белгісі

КТ түрін, түрін және өлшемін дұрыс таңдау үшін келесі параметрлерді ескеру керек:

- КТ шығыс параметрінің мәнін кезең-кезеңмен өзгерту үшін қажетті ең төменгі кіріс энергиясының  $E_{\min} = P_{\text{упр}} / \text{Шин}$ , мәніне тең сандық сезгіштік;  $P_{\text{упр}}$  - басқару сигналының күші қажет;

- қайтару коэффициенті  $K_{\text{с}} = X_{\text{отп}} / X_{\text{сраб}} < 1$ , КТ-ның гистерезис қасиеттерін сипаттайды;  $K_{\text{в}} = 1$  кезінде басқару жүйесінің жұмысы  $K_{\text{в}} \ll 1$  сезгіштігі мен жылдамдығының төмендеуі үшін тұрақсыз болады;



1.22. Сур ШГБ магнитоэлектрионды (а) және электрожылытқыш (б) КУжәне жалпы құрылымдық сызбасы КУ (в); УС — басқару белгісі; УУ —басқару түйіні; УК — комутация түйіні

•  $t_{\text{ср}}$  жауап уақыты және босату  $t_{\text{отп}}$  - басқарушы сигналдың басқару блогын пайдалану (қалпына келтіру) сәтіне қосылуға (өшіруге) қолданылатын сәттен бастап КТ уақытына келуі;

• ашық күйдегі коммутациялық түйіннің гальваникалық оқшаулану дәрежесін сипаттайтын контактсыз КУ рельдік сипаттамасының көптігі:  $K_Y = Y_{\text{max}}/Y_{\text{min}}$ ;

• ауысу қуаты  $P_{\kappa} = U_{\text{раз}} I_{\text{зам}}$  - контактілердегі кернеудің ашық күйдегі ток көзінен жабық жағдайда байланыс жұбы арқылы;  $1 \cdot 10^{12} \dots 1 \cdot 10^3$  А ағыны және  $10 \text{ Л} \dots 10^3$  В кернеуі бар жаңа коммутаторлар;

•  $K_p = P_{\kappa}/P_{\text{упр}}$  күшейту коэффициенті;

• коммутациялық тізбекте жүктеме түрі - белсенді, сыйымдылықты немесе индуктивтілікті; сыйымдылық схемасы жабылған кезде, КТ ағымдық ток индуктивтикалық тізбектің ашылған кезде, кернеудің кернеуі КТ ашық дөңес қалыптасуы кезінде пайда болады; Бұл құбылыстардың екеуі байланыстардың тез тозуына ықпал етеді;

• байланыстың «құрғақ» аударым қарсылығы  $R_{\text{п.к}} = r (H_B/N)^{0.5}$  мұнда  $r$ - материалдық қарсыласу байланыс, Ом·м;  $H_B$  - Бринелл байланыс материал қаттылығын, Н/м<sup>2</sup>; шағын және тұрақты мәнін қолдану, ең төменгі сигнал бұрмалап теру, ауысу арқылы шағын жабысу (пісіру) жоқтығы, ешқандай жеке ЭҚК, (дәнекерлеу) кіру болмаған және коммутация процесінде байланыстарды бет эрозиясы -  $N$  - көшу контакт үшін жалпы талаптар арасында байланыс жұптың қысу күші. байланысы жоқ КТ үшін өтпелі кедергісі мәні ортада (жартылай) байланыс материал өткізгіштігінің байланыс және ондаған Ом бірліктеріне жетеді;

• коммутациялық және басқару түйіндерінің гальваникалық оқшаулануына төзімділік  $R_{\text{тр}} = 1 \cdot 10^2 \dots 1 \cdot 10^{12}$  Ом; салыстырмалы түрде аз  $R_{\text{тр}}$  у байланыссыз КТ үшін, салыстырмалы түрде үлкен - байланыс КТ үшін;

•  $F_k$  жиілігін өзгерту:  $F_k \sim 1 \cdot 10^2 \text{ Гц}$  КТ контактілі контроллерлер үшін,  $F \sim 1 \cdot 10^8 \text{ Гц}$  КТ контактілі емес басқарушы қондырғылар үшін;

• жұмыс уақытының ұзақтығы ( $10^5$  сағатқа дейін), коммутациялық циклдардың саны ( $1 \cdot 10^5 \dots 1 \cdot 10^8$ ), басқарылатын жүйенің ұзаққа созылуы ( $1$  сағатқа дейін  $10^2$  сағатқа дейін);

• конструктивті және параметрлік үйлесімділік мүмкіндігі. Бұдан басқа, әрбір КТ үшін қолдану аймақтары және жұмыс істейтін ең ұзақ жұмыс жағдайлары тұрақсыздандыратын әсер етудің негізгі факторлары - климаттық және механикалық факторлар үшін анықталады.

Әрбір КТ туралы толық ақпарат НТҚ-та қамтылған. Тапсырыс беру және бастапқы қолдану үшін, кейбір ақпарат осы түрге байланысты өзгертін КТ параметрлерінің алфавиттік және сандық идентификаторларынан тұратын басты жазбада бар. Түрлі байланыс

түрлеріне және байланыс түрлеріне КТ (реле, қосқыштар, қолмен жұмыс істейтін қосқыштар) негізгі жазбалардың нысандарын біріктіруге мүмкіндік бермеді, олардың құрылымдары әртүрлі. Мысалы: «Релес РЭК-60 РС4.569.435 - № ТУ»; «ПКБ9 контактісіз ауысып-қосуы»; «СНП34-69/132х12-В-21-В қосқышы»; «РСА-50 штекері»; «РПС-43 қашықтан басқару құралы».

Ауыстырып-қосқыштар ВТ-39-3-4-В-№ ТУ және П2К(А)-Н-4-20-6-6-№ ТУ коммутаторының негізгі жазуының екі мысалында қолмен басқарылатын қосқыштардың жіктеу кеңістігінің мазмұнын қарастырайық (1.5-кестеде). 1.5. Кестеде жіктеу кеңістігінің позицияларының келесі белгілері қолданылады.

1.КТ түріндегі индикаторлар (П — ауыстырып-қосқыш, В — қосқыш).

2.КТ түріндегі индикаторлар (К — тетік, Т — тумблер).

3.Эволюция барысында туындаған осы түрдегі (тип түрі) құрамдас бөлікті модификациялауды белгілеу идентификаторы.

4.Дамуы барысында көрінетін аталмыш түр (кіші түр) аясында түрлену компонентін белгілеу сәкестендіргіші.

5.Байланыс топтарының немесе коммутациялық полюстердің санының индикаторы.

6.Қадам белгісі, мм.

7.Жалпы планқадағы ауыстырып-қосқыштың көрсеткіш саны.

8.Монтаж түрінің идентификаторы («а» — ірі, «б» — жазба).

9.Барлық климаттық орындаудың идентификаторы (В).

10.Негізгі жеткізілім құжатының индексі (МС, ТШ, ЖТШ).

1.5 Кесте

| Негізгі жазбаның нөмері | Классификациялық позициясының кеңістігі |    |    |   |   |
|-------------------------|-----------------------------------------|----|----|---|---|
|                         | 1                                       | 2  | 3  | 4 | 5 |
| 1                       | П                                       | 2К | —  | Н | 4 |
| 2                       | В                                       | Т  | 39 | 3 | 4 |

1.5 кестенің соңы

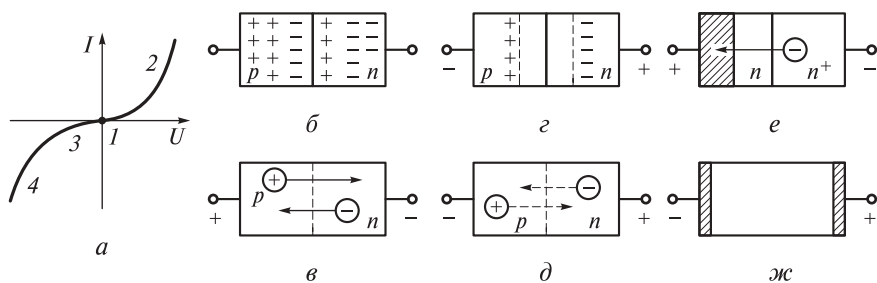
| Негізгі жазбаның нөмері | Классификациялық позициясының кеңістігі |   |   |   |      |
|-------------------------|-----------------------------------------|---|---|---|------|
|                         | 6                                       | 7 | 8 | 9 | 10   |
| 1                       | 20                                      | 6 | б | — | № ТШ |
| 2                       | —                                       | — | — | В | № ТШ |

Белгілі бір КТ түрін, түрімен өлшемін таңдаған кезде, оның функционалды мақсаты, электрлік және параметрлеріне қойылатын талаптар пайдалану және орнату әдісі ескеріледі. КТ электр жүктемесі коммутациялық тораптың номиналды мәніне қатысты ауыстырылған қуаттың  $K_n^{(p)}$  жүктеме коэффициентінің мәнімен бағаланады. Әр түрлі жұмыс жағдайында  $K_n^{(p)} = 0,7...0,9$  [14] болады.

## 1.8. Жартылай өткізгіш диодтар

Жартылай өткізгіш диодтар (ЖӨД) р—n- ауысу негізінде орындалатын, өткізгіштігі әр-түрлі-яғни электронды (n) және тесікті (p) жартылай өткізгіш материалдардан құрылған (ЖӨД) сызықсыз симметриялы емес вольт-амперлік сипаттамадағы (BAC) (1.23,а сур.) компоненттер құрамы. Қолданыстағы ЖӨД алғашқы материалдарының сан алуан түрлері р—n- ауысу құрылымы мен параметрлерін, олардың электрлік, құрылымдық және пайдалану параметрлерін және қолдану саласын анықтайды. ЖӨД жасау үшін жартылай өткізгіш материалдар қолданылады: германий (Ge), кремний (Si), галлий арсениді (GaAs), индийни обаты (InNb).

Қарапайым *түзейткіш* р—n- ауысуы төрт жағдайдың бірінде болуы мүмкін екенін еске салайық (1.23,б-д сур.): сәйкес бір салмақта (4 BAC), тікелей қосылу (1-2 BAC учаскесі), кері қосылу (1-3BAC учаскесі) және басқарылатын ойық (3 учаске-4 BAC)



1.23. сурет.р—n-ауысымының әрекет ету қағидатына түсінік беру:

а — BAC; б — бір салмақты жағдайда зарядтарды орналастыру; в — тікелей қосылу барысында заряд тасымалдаушының қозғалысы; г — кері қосылу барысында заряд тасымалдаушыларды орналастыру; д — басқарылатын тесіктің жағдайы; е — түзейткіш байланыс «жартылай өткізгіш—металл» (Шоттки диоды); ж — түзейтпейтін байланыс «жартылай өткізгіш —металл» (Гана диоды); 1... 4 — диодтардың сан-алуан түлерінің жұмыс нүктелері.

$p$ —«түзейткіш контакті негізіндегі ЖӨД басқа, негізгі тасымалдаушыға, сонымен қатар *түзейтпейтін* (омикалық) байланыс «жартылай өткізгіш — металл (Ганна диоды) байланыс негізіндегі жұмыс атқаратын (1.23,е сур.) түзейткіш жартылай өткізгіш—металлбайланысы негізіндегі (Шоттки диоды) (1.23,ж сур.) ЖӨД бар.

$p$ —«түзейткіш контактіне ауысуы және оған жататын облыстарда келесі физикалық процестерді туындайды:

- тікелей кернеуді ұлғайта отырып тікелей токтың сызықсыз өсуі;
- кері кернеуді ұлғайта отырып жартылай өткізгіш атомдарын иондау барысында зарядты тасымалдаушының көбейту;
- $p$ —«кері қайту, сонымен қатар нақты жағдайларда және тікелей кернеу барысында түзейткіш контактісінің потенциалдық тосқауыл арқылы тасымалдаушыларын туннельдеу;
- ауысуға жататын тұстағы кезекті негізгі емес зарядты тасушыларды кезекті тарау бойынша жинақтау;
- заряд тасушылардың сәуле шығарғыш сияпаттамасын.

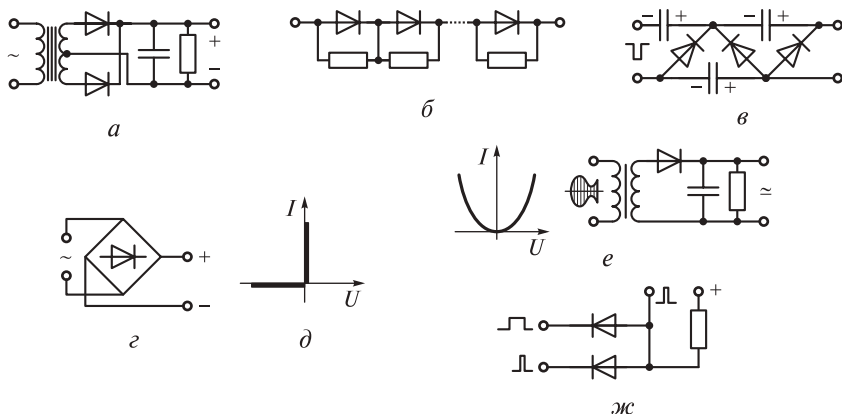
Бұл әсерлер тораптар мен РЭҚ құрылғыларында МЕСТ 2.730-74. бойынша ШГБ белгіленетін ЖӨД сан алуан түрлерінің негізіне жатады. ЖӨД жіктеуін ВАС жұмыс нүктесінің тәртібі бойынша олардың топтастыру арқылы қызметтік тағайындалу бойынша қарастырамыз.

### **ВАС тармақтарында тікелей және кері жұмыс істейтін ЖӨД**

**Түзеткіш диодтар, тіреулер және блоктар.** Бұл диодтар кернеу түзеткіштерінің сызбаларымен жұмыс жасауға арналған, жабық күйде нөлге тең болуы тиіс және алшақ тұрғанда-шексіз рөл атқаратын кілттің рөлін атқарады. Әдеттегідей, бұл Si немесе Ge негізіндегі үлкен тікелей токқа және кері кернеуге есептелген *жазықтық* диодтар.

Түзеткіш тіреулер және блоктартүзеткіш диодтар мен бейтарап компоненттерінің белгілі бір түйісу жиынтығын қамтитын құрылымдық ресімделген қымталған тораптардан тұрады. 1.24, *a-г* суретінде жазық диодтарда түзеткіштің, жоғары вольтті тіреудің, кернеуді ұлғайтқыш, көпірдің сызбалары көрсетілген.

Нақты түзеткіш диодтың ВАС шартты ВАС кілтінен өзгеше болғандықтан,  $K_{\text{д}}$  диодының электрлік деңгейі жүктемесін екі параметр бойынша бағаланады:  $I_{\text{пр}}$  тікелей жұмыс тоғы және кері жұмыс кернеуі және  $U_{\text{обр}}$ .



1.24 сур. Жартылай өткізгіш диодтар бойынша сызбалар:  
 а — түзеткіш; б — жоғары вольтті тіреу; в — кернеуді көбейткіш; г —  
 түзеткіш белдік; д — түзеткіш диодтың шартты ВАС; е — амплитудалық-  
 модуляцияланған белгі детекторы; ж — сәйкестік сызбасы

$$K_H^{(I)} = \frac{I_{\text{пр}}}{I_{\text{пр. доп}}}; K_H^{(U)} = \frac{U_{\text{пр}}}{U_{\text{пр. доп}}};$$

**Детекторлы диодтар.** Квадраттық немесе сызықтық детекторлауға арналған сызықтық элемент ретінде амплитудалық-модуляцияланған белгі (1.24, е сур.) детекторы сызбаларында жұмыс жасау үшін тағайындалған.

Азғантай белгі режимінде ВАС детектор диодының тікелей тармағы параболаға жақын болуы қажет. Квадраттық детектор белгісі нәтижесінде  $x = (1 + m \sin Qt) \sin \omega t$  (где  $0 < m < 1$  — модуляциялау жіктеуі;  $Q$  — пайдалы белгі жиілігі,  $\omega$  — көтеруші ауытқу жиілігі) белгі частота несущего колебания) сигнал

$$y = x^2 = 0,5[1 + 0,5m^2 + 2m \sin \Omega t - 0,5m^2 \cos 2\Omega t - (1 + 0,5m^2) \cos 2\omega t - \dots].$$

Қосылғыш  $2m \sin Qt$  пайдалы белгі, ал теріс қосылғыш  $0,5m^2 \cos 2Qt$  — зиянды белгі, бірақ қалай аз болса, солай  $m$  жіктеу модуляциясы аз; жиілігі  $2\omega$  жоғары жиілікті қосылғыштар жеңіл сүзілуі мүмкін. Үлкен белгі режимінде детекторлық ВАС тікелей тармағы  $y = |x|$  функциясына жақын болуы қажет. Сонда осы белгі үшін сызықтық детекторлауды аламыз

$$y = |x| = \frac{2}{\pi} \left\{ 1 + m \sin \Omega t - \sum_{k=1}^{\infty} [\cos 2k\omega t + 0.5m \sin(2k\omega \pm \Omega)t] \right\}$$

Соңғы түрінде жоғары жиілікті қосылғыштар 2кю соммасы жеңіл сүзілуі мүмкін.

**Импульстік диодтар.** Үйлесулер сызбасымен жұмыс жасау үшін тағайындалған (1.24,ж сур.). Импульсті диодтардың ерекшеленетін белгілері-электрдың ауысудың аз алаңдары және базадағы айнымалы тасымалдаушы зарядтың уақыты. Тікелей кедергі уақытын белгілеу  $t_{пр}$  және барьерлік ауысу сыйымдылығына тәуелді  $C_{пер}$  кері кедергіні қалпына келтіру

Осы параметрлер бойынша импульсті диодтар алты топқа бөлінеді:

$t_{пр} < 1$  нс,  $t_{пр} = 1...5$  нс,  $t_{пр} = 5...30$  нс,  $t_{пр} = 30...150$  нс,  $t_{пр} = 150...500$  нс и  $t_{пр} > 500$  нс. Импульсті диодтар (нүктелі, балқымалы, микробалқымалы, диффуздық және басқа) және Шоттки жазықтық диодтар бөлінеді. Минималды ауысу сыйымдылығы-микробалку және нүктелі диодтарда.

**АЖЖ диодтар.** Бұл АЖЖ құрылғыларында өндіру, дабылдарды детекторлау және параметрлік күшейту, дабылдардың жиілігін түрлендіру және көбейту, сонымен қатар АЖЖ қуаттылығын шектеу және қайта қосуды орындайтын арнайы ЖӨД сыныбы.  $C_{пар}$  және  $X_{выв}$  паразиттік параметрлері қандай минимумға түйісуарқасында коксиальды құрылымдыққа ие болады. Тасымалдаушылық ширақтығы көп GaAs бастапқы материал болып табылады, сондықтан жиодтардың жұмыс жиілігі 300 МГц асады.

## ВАС тікелей тармақтарында жұмыс жасайтын ЖӨД

**Сәуле шығарғыш оптоэлектронды құрылғылар (СОЭҚ).** Электр қутын жарықты когерентті емес немесе когерентті сәулелендіруде (лазерлік) түрлендіруге арналған.

СОЭҚ *когерентті емес* сәулелендірудің әрекет ету қағидаты  $p-n$  құрылымының базалық саласында негізделмеген тасымалдаушылардың инъекциясының пайда болуына негізделген және толқын ұзындығымен кванта жарығы (фотон) түрінде артық ілеспе қуат бөлетін тасушылар кезекті өздігінен қайта әрекет еткен кезде

$$\lambda = hc / \Delta E,$$

мұндағы  $h$ — тұрақты Планка,  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  Дж-с;  $c$  — вакуумдағы жарық жылдамдығы, м/с;  $\Delta E$  —жартылай өткізгін тыйым салынған зонасының ені, эВ ( $\Delta E > 1,8$  эВ).

СОЭҚ жасау үшін  $A^{III}B^V$  біріктіруін және мына коспалардың, мысалы: SiC ( $\Delta E = 3$  эВ), GaAs ( $\Delta E = 1,43$  эВ), GaP, GaAsP ( $\Delta E = 2$  эВ), GaAsAl, GaN ( $\Delta E = 3,4$  эВ) қатты бірігуін қолданылады.

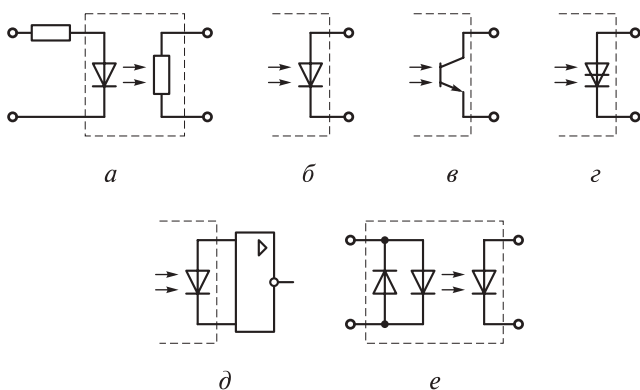
СОЭҚ құрылымы жек сәулелендіру немесе матрицтер белгі синтездеу индикаторы (шифр АЛС) түрлерінде орындалған. Ашық ауысудағы кернеу  $U_{np} \approx 1,3$  В, тікелей ток  $I_{np} \approx 15$  мА.

**Жартылай өткізгіш лазерлер.** СОЭҚ когерентті сәулелендірулер осы лазерлер болып табылады. Әрекет ету қағидаты р және n сәулелендіру аймақтарының арасында орналасқан және таратушылар жарықтық сәулелендіруді бөлу арқылы ілесетін келесі мәжбүрлі (дем беруші) сияқты инверсттік таратушы жиілігімен жартылай өткізгіш пайда болған белсенді аймаққа зардтың негізгі емес таратушыларын инежекциясының пайда болуына негізделген.

**Оптопарлар.** Гальвандық босатылған диодтық сәулелендіру және жарық қабылдағыштан тұратын, яғни фоторезистор, фотодиод, фототранзистор, фотодинистор немесе күшейткіші бар фотодиодретінде қолданылатын микроқұрастырымдар (1.25, а-д сур.).

Оптопарларды байланыс тораптарында дабыл және жүктеме көзінен гальвандық айыруды қамтамасыз ету үшін қолданылады. Оптопарлардың электрлік параметрлері: гальваникалық оқшаулық кедергі ( $1 \cdot 10^{12}$  Ом дейінгі), кері кернеу (5 кВ дейін) және үдеу және белгі фронтының бәсеңдеу (1 мкс кем). уақыты. Кері кернеуден сәулелендіруді қорғау және байланыс торабын қайта полюстеу үшін қосарланған сәуле таратушысы бар сәуле таратушы қолданылады (1.25, е сурет).

**Стабисторлар.** Стабисторлар ВАС тікелей тармақтары бар тіктігі үлкен ЖӨД, яғни оларды  $\sim 1,5 \dots 2$  В. тұрақты кернеу көзі ретінде қолданылады.



1.25 сурет. Оптопар жарығының қабылдағыштарының сызбасы:

а — фоторезистор; б — фотодиод; в — фототранзистор; г — фотодинистор; д — күшейткіші бар фотодиод; е — қосарланған сәуле таратушы үшін фотодиод

## ВАС кері тармақтарында жұмыс жасайтын ЖӨД

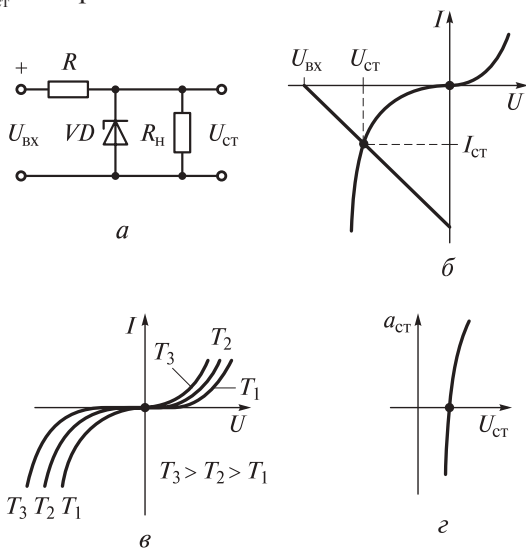
**Стабилитрондар.** Бұл туннельдік немесер—«-ауысуының көшкінді ойығының ВАХ тікелей тармақтары бар тіктігі үлкен ЖӨД (1.23,а 3-4 учаскесі сур. қарау). Мұнда кернеу ауысу арқылы тоқ айтарлықтай өзгеру барысында аз өзгереді, сондықтан стабилитрондарды тірек кернеуінің көзі ретінде қолданылады. Стабилитронды қосу сызбасы және берілген мәнде оның  $U_{\text{BX}}$  кіру кернеуі бойынша жұмыс нүктелерінің орналасуын графикалық анықтау 1.23,а,б суретінде келтірілген.  $R_H \gg R$  барысында тұрақтандыру кернеуі  $U_{\text{CT}} R_H$  тәуелді емес.

ВАХ тұқымдасы 1.23,в суреттенде көрсетілген, қоршаған ортаның үш мәні үшін түзелген. Тікелей және кері тармақтардың кернеу температуралық коэффициенттерінің (КТК) әр-түрлі белгілері бар; бұл қарсы (негізгімен ілесіп) екі немесе одан да көп ауысуларды қосып, температура өзгеру барысында  $U_{\text{CT}}$  дрейф кернеулердің орнын толтыруға жол береді.

$a_{\text{CT}}$  тұрақтылықтың КТК мәні стабилитронның сыныбын анықтайды:

бірінші ( $a_{\text{CT}} < 0,005 \text{ \%}/^\circ\text{C}$ ), екінші ( $a_{\text{CT}} < 0,05 \text{ \%}/^\circ\text{C}$ ) және үшінші ( $a_{\text{CT}} < 0,2 \text{ \%}/^\circ\text{C}$ ).

$a_{\text{CT}}$  белгісі және мәне ауысу тесігінің түріне байланысты. 1.26,г суретте көрсетілгендей, кейбір мәннен аз тұрақтылық кернеуінде ( $U_{\text{CT}} < 6,5 \text{ В}$ )  $a_{\text{CT}}$  — теріс.



1.26 сурет. Стабилитрон:

а — қосылу сызбасы; б — жұмыс нүктесінің орны; в — температуралық дрейф ВАС; г — тұрақтылық кернеуінің температуралық коэффициенті.

Бұл тыйым салынған зона енінің кемуінен температура көтеріліп, кернеуі кемиді, туннельдік ауысудың механизмі бұзылатынын көрсетеді. Тұрақтылық  $6,5 \text{ В а}_{\text{ст}}$  астам кернелген кезде — оң. Бұл еркін жүгіріс тасушы ұзындығы температура көтерілген кезде ауыспалы тесіп өтуге жету үшін өріс кернеуінің ұлғаюын қажет ететін көшкінді бұзылудың бар екенін түсіндіреді.

Сонымен қатар ауыспалы кернеу амплитудасын екіжақты шектеуге арналған *екіанодты* стабилитродар бар.

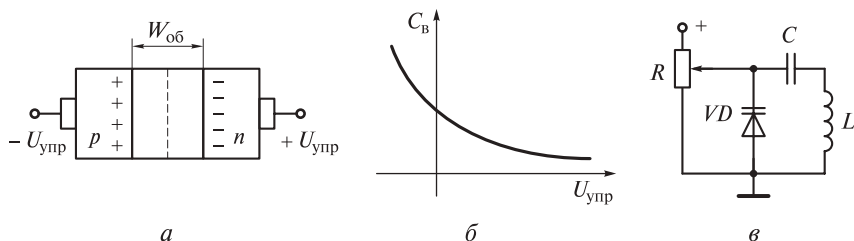
Стабилитронның электрлік жүктеме деңгейін қуаттылығы  $K_{\text{н.мош}}$   $= P_{\text{ст}}/P_{\text{стдоп}}$  жүктеме коэффициентімен бағаланады.  $P_{\text{стдоп}}$  қуаты стабилитрон корпусының түріне байланысты.

**Гүріл генераторлары.** Гүріл генераторының қызметін атқаратын ЖӨД жұмыс нүктесі 3—4 ВАХ учаскесінде оның майыстырылған орнында болу қажет (1.23, 1 сур. қарау). Бұл учаскеде ЖӨД соқпа иондануының арқасында көшкінді бұзылудың алғашқы деңгейінде болады. Бұл процестің тұрақсыздығы гүрілді және кері токқа тәуелді жиілік сызығын тока  $I_{\text{обр}} = 0,01 \dots 1 \text{ мА}$  тудырады.

Гүріл генераторының негізгі электрлік параметрлері: шекаралық жиілік  $f_{\text{ср}}$  (до 5 МГц — «розовый» шум), гүрілдің спектрлік тығыздығы  $S_{\text{ш}}$  (В/Гц) және оның температуралық коэффициенті  $\text{ТК } S_{\text{ш}}$ .

**Варикаптар.** Кері араласқан ауысуды сызықсыз басқарылатын конденсатор ретінде пайдаланатын кері тармақты шағын тікті ЖӨД (1.23, а, 3. учаске сур. қарау)

Варикаптың бастапқы сыйымдылығы (1.27, а сур)  $C_0 = \epsilon \epsilon_0 S / W_{\text{об}}$ , где  $S$  — ауысу алаңы;  $W_{\text{об}}$  — біріккен қабат алаңы. 1.27, б суретінде  $C_{\text{в}}$  варикап сыйымдылығының  $U_{\text{упр}}$  вида  $C_{\text{в}} = C_0 [\phi_0 / (\phi_0 - U_{\text{упр}})]^m$  басқару кернеуіне тәуелділігі келтірілген, мұндағы  $\phi_0$  — әлеуетті барьер, В;  $m$  — ауысу түрін сипаттайтын коэффициент: : шапшаң ауысу үшін  $m = 0,5$ , байсалды ауысу үшін  $m = 0,33$ .



1.27 сурет. Варикап:

а — құрылым; б — басқару сипаттамасы; в — қосылу сызбасы

Ауытқушылық контур жиілігін қайта құру үшін вариакпты қосу сызбасының нұсқасы 1.27, в сур. көрсетілген.

Вариакптардың негізгі электрлік параметрлері:  $C_{\text{в}}^{\text{max}}$  және  $C_{\text{в}}^{\text{min}}$  — сыйымдылықтың ең көпжәне ең аз мәні (диапазондағы қайта құру  $U_{\text{нр min...}} U_{\text{нр max}}$ ) және олардың — вариакп сыйымдылығының коэффициенті  $K_{\text{СВ}}$ ,  $Q_{\text{В}}$  төзімділігі,  $f_{\text{max}}$  ең көп жұмыс жиілігі.

Электрлік жүктеу деңгейін кернеу бойынша жүктеме коэффициентімен бағаланады:

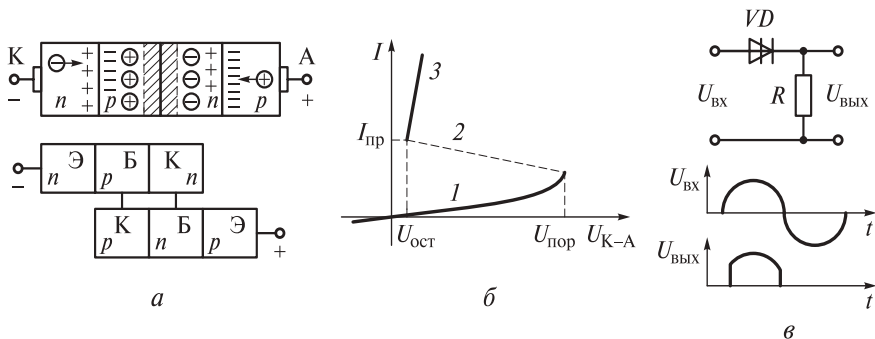
$$K_{\text{н.ж.т.р.}} = U_{\text{нр. max}} / U_{\text{нр. доп.}}$$

Бастапқы сыйымдылықтың аз мәніне және  $K_{\text{СВ}}$  мәніне қатысты вариакптар ВЧ генераторларын және СВЧ диапазондар жиілігі қайта электрлік құру үшін қолданылады.

### ЖӨДZ-және N-тәрізді ВАС

**Динисторла және тиристорлар.** Динистор— $n-p-n$ — $p$ -құрылымының төрт қабатты негізіндегі басқарылмайтын қайта қосылғыш екі полюстік. Кіру кернеуі шектік мәнге жеткен кезде және тоқ бойынша оң ішкі кері байланыс әрекетінің арқасында аз дифференциалді кедергімен өткізбейтін жағдайдан өткізгіш жағдайға ауысады, яғни шын мәнінде түйіспесіз коммутация құрылғысы болып табылады.

Динистордың әрекет ету қағидаты келесіден тұрады (1.28 сур.). К катоды және А аноды арасындағы  $U_{\text{К-А}}$  кернеуі қарама-қарсылықта болу барысында, 1.28, а суретінде көрсетілгендей, бұл кернеудік көп бөлігі орталық (коллекторлық) кері араласқан ауысуға құлайды. Сондықтан 1 ВАС (1.28, б сур.) учаскесі ВАС ЖӨД кері тармағын көрсетеді.



Динистор

а — құрылым; б — ВАС; в — қосылу сызбасы және уақытша жұмыс диаграммасы; 1... 3 — ВАС учаскелері; К — катод; А — анод; Б — база

$n-p-n$  и  $p-n-p$  — транзисторлар эквивалентті тікелей ығысқан эмитерлік ауысуында, яғни  $U_{K-A}=0$  барысында бірқалыпты жағдайда болса,  $U_{K-A}$  ұлғайған кезде кернеудің тікелей түсуі өсетін болады. Сонымен қатар  $n$ -эмитерінен  $p$ -базасына инжекторланатын электрондардың жазының әсер етуі бойынша коллектордың ауысуға диффузияланады және  $n$ -базасына түседі.

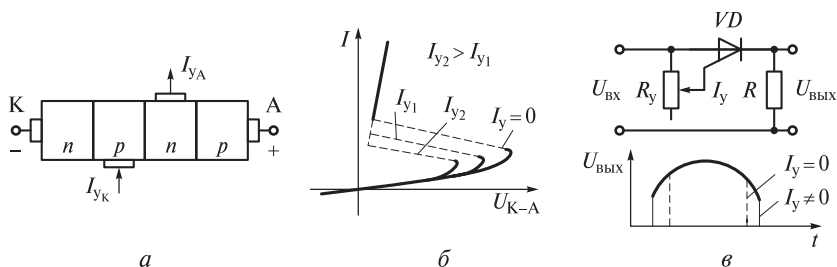
Электрондардың динисторлық құрылым бойынша одан әрі қозғалуына оң жақ эмитерлік ауысудың кішкене потенциалдық тосқауылы кедергі жасайды, сондықтан  $n$ -базалық потенциалдық ойыққа тап болған электрондардың бөлшегі артық теріс заряд береді. Бұл заряд, оң жақ эмитерлік ауысудың бірқалыпты жағдайынан потенциалдық тосқауыл биіктігі төмендете отырып, тесіктер инжекторларының  $p$ -эмиттерінен  $n$ -базасына ұлғаюына ықпал етеді. Инжекторланған тесіктер жазықтықтың әсер етуімен коллекторлық ауысуды диффузиялайды және  $p$ -базасына түседі.

$p$ -базасында  $n$ -эмиттерінен  $p$ -базасына электрондар инжекциясының ұлғаюына мүмкіндік беретін артық оң заряд жинақталып, сол жақ эмитерлік ауысудағы кішкене потенциалдық тосқауыл олардың әрі қарай қозғалуына кедергі жасайды. Осылайша, динистор құрылымында тоқ бойынша оң кері байланыс бар, яғни оның арқасында базалық аймақтарда тікелей бағытта коллекторлық ауысудың ығысуына мүмкіндік туғызатын әркелкі тасушылар пайда болады.  $U_{K-A} = U_{\text{пор}}$  барысында,  $n-p-n(a_1)$ - и  $p-n-p(a_2)$  эквиваленттілігі а тоғы бойынша суммарный коэффициент-транзисторлар бірлікке тең болады, динистор аз дифференциалды кедергілік жағдайында (1.28, б, 3 ВАС учаскесі сур. қараңыз) динистор төмен вольтті ( $U_{\text{ост}} = 0,5... 1,5 \text{ В}$ ) қайта қосылу болады

Егер  $U_{K-A} < U_{\text{откл}}$ , динистордың өшіріледі.

Теріс кедергісі бар 2 ВАС учаскесі (1.28, б сур. қарау) динистрден, күшейткіш және олардың негізінде генераторлық құрылғыдан тұратын электрлік тізбектердегі жоғалтуды өтеу мүмкіндігін дәлелдейді. Бұл туралы одан әрі айтылатын болады. Сонымен қатар симметриялық динисторлар-диактар бар. 1.28, в суретінде динистрдің қосылу сызбасы және кіру және шығудағы уақытша кернеу диаграммасы көрсетілген.

Тиристорларда кез-келген базалық аймақта (немесе екеуінде) қосымша электродтың  $I_y$  есебінен қосылу сәтен басқару мүмкіндігі (1.29, а сур) бар. Тиристордың қосылу жағдайы:  $\alpha_1 + \alpha_2 + I_y (\partial \alpha_1 / \partial I)$  болып табылады. 1.29, б суретінде  $I_y$  тоғының әр-түрлі мәні үшін құрастырылған ВАС үйірі көрсетілген, 1.29, в суретінде-тиристордың қосылу сызбасы және кернеудің ақытша диаграммалары көрсетілген, Сонымен бірге симметриялық тиристорлар -си-мисторлар-триактар бар.



1.29-сурет. Тиристор:

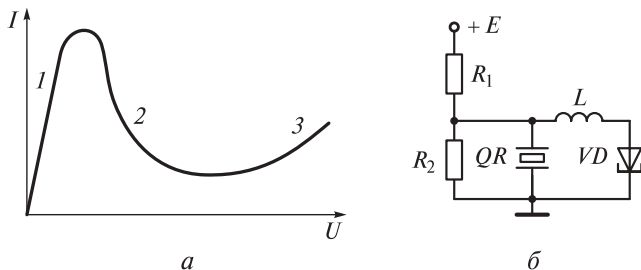
а — құрылым; б — ВАХ; в — қосылу схемасы және жұмыстың уақытша диаграммасы; К — катод; А — анод

$I_y$ ,  $I_{пр}$  (до  $1 \cdot 10^3$  А),  $U_{ост}$ , кері кернеу и  $_{обр}$ , коммутациялаушы қуат  $P_{комм}$ , әлсіреп бара жатқан қуат  $P_0$  динистрлер мен тиристорлердің негізгі электрлік параметрлері болып табылады.

$$K_{H.мощн.} = P_{комм} / P_0$$

**Туннельдік диодтар.** Қоспа қоюлануы ауысу жуандығы  $1 \cdot 10^{20} / \text{см}^3$ , с малой ( $1 \cdot 10^{-2}$  мкм) жететін, токтың өсуі бойынша (1.30, а, 1 учаске сур.) туннельдік тармақтарды жасау арқылы тыйым салынған зона арқылы (аз тікелей кернеу барысында) олардың энергиясын өзгертпестен заряд тасушылардың-квантомеханикалық ауысумен туннельденуіні мүмкіндік беретін, Ge немесе GaAs жартылай өткізгіш кеңестігі негізіндегі ЖӨД.

Тікелей кернеудің одан әрі ұлғаюы кезінде тікелей ток инжекторлық тармақтарының (1.30, а, 3 ВАС учаске сур.) және қолдануға мүмкіндік беретін теріс кернеулі (2учаске ВАХ) учаскесінде жоғары ауытқуды күшейту және тудыруға арналған туннельдік диодтардың пайда болуын көруге болады



1.30. Сурет. Туннельдік диод

а — ВАС; б — кварцті генератордың сызбасы; 1 — туннельдік тармақ; 2 — теріс импедансты тармақ; 3 — ауысудың тікелей тармағы

Тоқтың туннельдік құрушылардың температурадан әлсіз тәуелділігін ескере отырып, ыстыққа төзімді межелік құрылғыны жасау үшін туннельдік диодтарды қолдануға болады.

### Құрылымдық құжаттамада ЖӨД белгілеу.

Электрлік сызбалардағы ЖӨД шартты кестелік белгілерін МЕСТ 2.730-73 ережелейді. Нақты ЖӨД туралы түбегейлі мәліметтер НТҚ-ТЖ немесе ЖТЖ айтылған. Тапсырыс беру және алғашқы қолдану үшін ЖӨД туралы мәліметтер ЖӨД деркетемелер өзгертілген, ЖӨД әріптік және сандық параметрлерінің сәйкестігінен тұратын негізгі жазбада көрсетілген. Диодтың негізгі жазбасы ретінде 2Д510А, оптопарлар АОТ123А, туннельдік диодты ГИ305Б, стабилитронды КС133А1 және тиристорды 2У201В (1.6 кесте) деп ЖӨД жіктеу кеңестігінің құрамын қарастырамыз.

1.6 кестесінде жіктеу кеңестігінің келесі мәндері қолданылған:

1. Бастапқы жартылай өткізгіш материалының сәйкестігі және қолдану салалары: 1(Г) — Ge; 2(К) — Si; 3(А) — GaAs, сәйкес ЖӨД арнайы (сандар) және кең пайдалану (әріптер) үшін;

2. ЖӨД қызметтік мақсатта тағайындалу сәйкестігі: А — СВЧ диодтар; В — варикаптар; Г — гүріл генераторлары; Д — түзейткіш, детекторлық және импульстік диодтар; И — туннельдік және қайтарымды диодтар; Л, ЛС — сәуле шығарғыш диодтар және матрицтер; О — оптопарлар; С — стабилитрондар; У — динисторлар және тиристорлар; Ц — жоғары вольтті тіреулер және блоктар.

3. фотоқабылдағыш оптопар түріндегі сәйкестік: Д — фотодиод; Р — фоторезистор; Т — транзистор; У — динистор.

4. Өзіндік қолдану мәнді сәйкестік: стабилитрон қуаттылығы, импульстік диодының кері кедергісін қалыпқа келтіру уақыт бойынша топтар, туннельдік және АЖЖ диодтардың қызметтік тағайындалуы, гүріл генераторының жұмыс жиілік аймақтары.

1.6 кесте.

| Негізгі жазба | Жіктік кеңестік бағдары |   |   |   |    |    |   |   |      |
|---------------|-------------------------|---|---|---|----|----|---|---|------|
|               | 1                       | 2 | 3 | 4 | 5  | 6  | 7 | 8 | 9    |
| 2Д510А        | 2                       | Д | — | 5 | 10 | —  | А | — | № ТУ |
| АОТ123А       | А                       | О | Т | 1 | 23 | —  | А | — | № ТУ |
| ГИ305Б        | Г                       | И | — | 3 | 05 | —  | Б | — | № ТУ |
| КС133А5       | К                       | С | — | 1 | —  | 33 | А | 5 | № ТУ |
| 2У201В        | 2                       | У | — | 2 | 01 | —  | В | — | № ТУ |

5.Әзірлеудің реттік нөмірі.

6.Стабилитронды тұрақтандыру кернеуі(мұнда  $U_{cm} = 3,3 \text{ В}$ ).

7.Ақауларды іріктеуден кейінгі параметр мәнін жіктеу.

8.Корпуссыз орындау түрін жіктеу, бөлек, - Корпустық емес орындау түрін сәйкестендіргіш, соның ішінде, 5 —құрамында кристалл жоқ иірмелі шығаруы бар кристалл.

9. Негізгі құрылымдық құжаттың нөмірі (ТЖ, ЖТЖ).

## 1.9. Транзисторлар

*Транзистор* — бір немесе бірнеше белсенді  $p$ — $n$ -ауысуы бар, электр белгілер қуатын күшейтуге арналған сызықсыз жартылай өткізгіш. 1948 жылы Д.Бардин, У.Бреттейн және У.Шокли (АҚШ) жасаған *қос полярлы* транзисторда жұмыс тоғы *негізгі емес* заряд тасушының қозғалысынан пайда болған; 1960 жылы Д.Каиб и М.Аталл (АҚШ) жасаған *бір тасымалды*, жұмыс тоғы *негізгі* заряд тасушының қозғалысынан пайда болған.

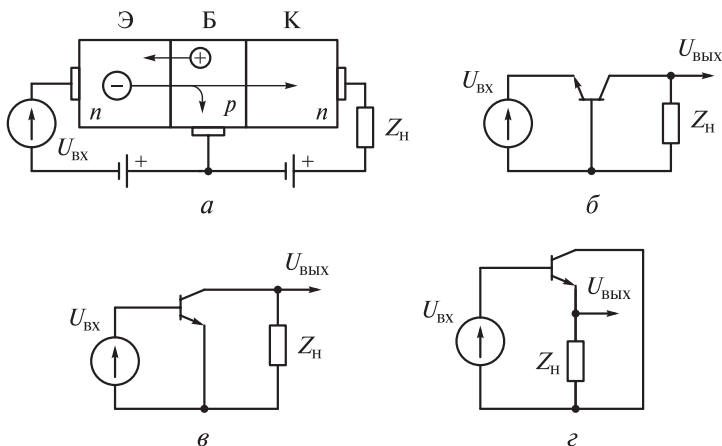
Электронды лапманың орынан ауыстарған транзисторлар РЭҚ құрылымдың түрлерін едәуір өзгертті, оларды жасау және жобалау тәсілдері оның қасиеттерінің, яғни: қуатты аз шығындау, габаритті көлемі және технологиялық әзірлеу массасына арқасында.

Сонымен оларды РЭҚ құрылымына қолдану олардың параметрлері температуралық және радиациялық тәуелділігіне, басқар тізбектерде тоқты пайдалану, өз гүрілін байланысты бірнеше жағдайлар туғызады.

## Қосполярлық транзисторлар

Қосполярлы транзисторлардың (ҚТ) алуан түрі және параметрлері —электрлік,құрылымдық және қолдану-бастапқы және қоспалы материалдар параметрлеріне, сонымен қатар транзистордарды жасаушы  $p$ — $n$  ауысуларының құрылымы мен қасиеттеріне уағдалы.

ҚТ типтік құрылымы (1.31,а сур) үш саладан тұрады: эмиттер (Э), база (Б) және коллектор (К), жасаушы ек  $p$ —«-ауысу. Кез-келген ҚТ қосылу сызбасында Э-Б ауысуы тікелей бағытта, ал Б-К ауысуы кері бағыттақосылған.ҚТ күшейткін және жиілік қасиеттерінде оның базалық саласындағы процестер әсер тигізеді:эмиттерден ( $n$ ) негізгі емес тасушы инежекциясы, олардың бөлігін ( $p$ ) базасының негізгі тасушыларымен ұсыну, олардың дрейфі элетрлік кеңестік және коллектор саласына тартылуы әрекетінен.



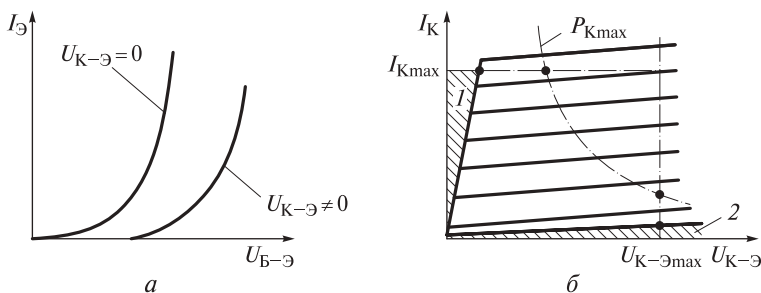
1.31 сур. Қосполярлы транзистор:

*a* —құрылым; *б* —жалпы базаға қосылу сызбасы; *в* —жалпы эмиттермен қосылу сызбасы; *г* — жалпы коллектормен қосылу сызбасы; Э — эмиттер; Б — база; К — коллектор

ҚТ жұмыс жасау сараптамасы оның физикалық модельдермен эквиваленттік көрінісінде: Эберса—Молла, Т-тәрізді және белгі көзі және жүктемеге қатысты қосылудың әр-түрлі сызбасына арналған белсенді сызықты төрт полюстіктің рәсімді моделі: жалпы базалы (ЖБ), жалпы эмиттерлі (ЖЭ) немесе жалпы коллекторлы (ЖК).

Әр қосылу сызбасына өзінің артықшылығы және кемшіліктері бар (1.31,б-г сур.). ЖБ сызбасы ең кең жолақты, дегенмен қуатты кіру белгісін талап етеді. ЭЭ сызбасы (1.31,в сурет) токтың, кернеу және белгі қуатын күшейту мүмкіндігін қамтамасыз етеді, дегенмен ол тар жолақты және сәйкес кішкене кіру және үлкен кіру кернеуі бар. ЖК сызбасы (1.31,г сур. қарау) сәйкес үлкен және аз кіру кернеуі бар, дегенмен оның күшейту коэффициенті кернеу бойынша бірліктен кем.

ҚТ негізіндегі кез-келген сызбамен жұмыс жасау үшін оның кіру және шығу сипаттама тегі бойынша тұрақты токқа байланысты (белгі болмағандағы жұмыс нүктесінің күйі) режим тапсыру қажет. Жұмыс нүктесі табылатын кеңестік-максималды рұқсат етілетін коллектор тоғы  $I_{Kmax}$ , коллектор кернеуі- эмиттер  $U_{K-Этаx}$  және коллектордағы қуат  $P_{Kтаx}$  қанықтыру 1 және бөлу 2 аймақтарымен шектелген. Сонымен бірге, кіру сипаттамасы бойынша ҚТ күшейткіш қасиеттерін сипаттайтын  $S_{құлдилығын}$  есептеуге болады.



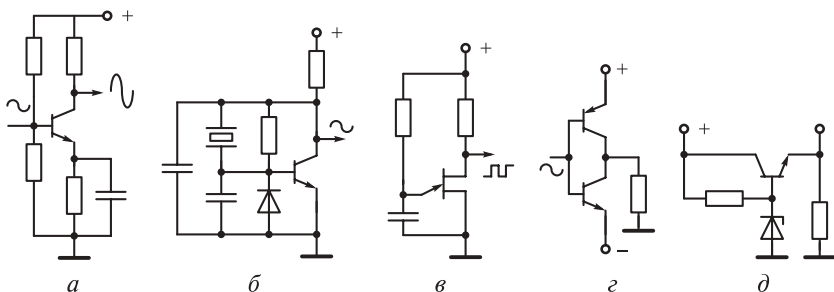
1.32 сурет. Қосполярлы транзистор:

*a* — кіру ВАС; *б* — шығу ВАС; 1 — қанығу аумағы;  
2 — айыру аумағы

ҚТ РЭЖ қызмет ету торабында қолдану бойынша мысалдар келтірілген. ҚТ түрін таңдау барысында оның қызметтік тағайындалуын және оның параметрлеріне талаптарды:  $U_{К-Э}$  кернеуін,  $I_K$  тоғын,  $P_K$  қуатын,  $U_{Э-Бобр}$  кері кернеуін,  $\alpha$  және  $\beta$  коэффициенттерін күшейтуі,  $f_a$  және  $f_p$  шекаралық күшейту жиілігінің  $T_{max}$  максималды температурасына және  $R_{т.к}$  корпусның жылылыққа кедергісін, сонымен қатар транзисторды орнату және монтаждау тәсілінескеру қажет.

ҚТ электрлік жүктемесін коллекторда әлсірейтін коллектор — эмиттер  $U_{К-Э}$ , коллектора  $I_K$  тоғына және  $P_K$  қуатына кернеуі бойынша жүктеме коэффициенттерімен бағалайды:

$$K_H^{(U_{К-Э})} = \frac{U_{К-Э}}{U_{К-Эdon}} \leq 0,7; K_H^{(I_K)} = \frac{I_K}{I_{Kdon}} \leq 0,7; K_H^{(P_K)} = \frac{P_K}{P_{Kdon}} \leq 0,7;$$



1.33. сурет. Қосполярлы транзисторларда қызмет аткару торапбары:

*a* — кернеуді күшейткіш; *б* — синусоидальдық белгі генераторы; *в* — релаксациялық генератор; *г* — екі тактілік қуатты күшейткіш; *д* — кернеу тұрақтандырығышы

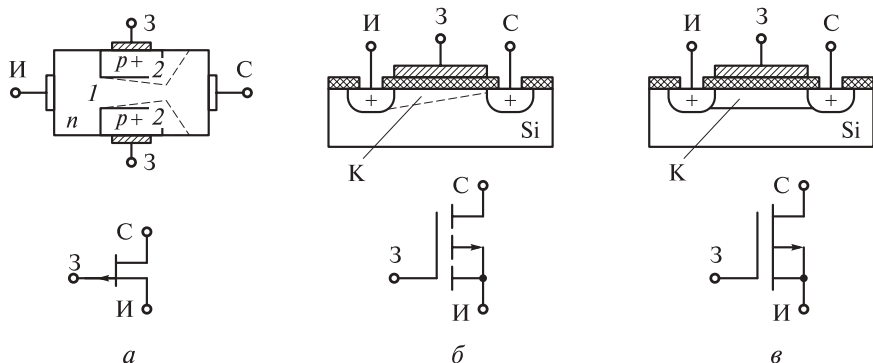
Қуатты транзисторлар үшін анықтама әдебиеттерде транзистор корпусымен шашылып тарайтын және радиаторға орнатылған транзистор корпусымен шашылып таралуы мүмкін қуатты айтады. Қысқа аралықта шашылып тарайтын, жабық күйден ашық күйге және кері қайта қосылатын шарықтаулы қуат бұл транзисторлардың басты параметрі болып табылады.

## Кеңестік транзисторлары

Кеңестік транзисторлардың сан алуан түрлері және параметрлері (ҚТ) бастапқы және қоспалы материалдар, сонымен қатар транзисторларды жасаушы құрылымға және белсені аумақ қасиеттеріне шартталған.

ҚТ басқарушы  $p-n$ -ауысуымен бірге үш бағыты бар (1.34, а сур.): И бастау мен С ағысы арасындағы 1  $p$ -немесе  $n$ -түріндегі өткізгіш канал, және екі кері жылжыталған 2  $p-n$ -ауысуы. Басқару электродында 3 жапқышында кернеуді өзгерте отырып,  $p-n$ -ауысу біріккен қабаттарының жалпақтығын өзгерту арқылы ағыс тоғын басқаруға болады. Оқшауланған бекітпелі және индукцияланған каналы (1.34 б сур.) бар ҚТ үш бағыты бар: шектен асатын 3 мәніндегі бекітпе-электрод басқарушыдағы кернеуге жеткенде жасалуы мүмкін И және С ағысының арасында орналасқан К  $p$ -немесе  $n$ -түріндегі өткізгіш канал.

Оқшауланған бекітпелі және индукцияланған каналы бар ҚТ сонымен қатар үш бағыты бар (1.34 в сурет): шектен асатын 3 мәніндегі бекітпе-электрод басқарушыда кернеу жоқ кезінде жасалуы мүмкін И және С ағысының арасында орналасқан К  $p$ -немесе  $n$ -түріндегі өткізгіш канал.



1.34 сур. Өрістік транзисторлар және олардың ШГБ:

а — басқарушылық им  $p-n$  — и-ауысуы; б — оқшауланған бекітпелі және индукцияланған каналымен; в — оқшауланған бекітпелі және кіріктіріме каналымен; 1 — өткізгіш канал; 2 — керіығысқан ауысулар; И — бастау; С — ағу; 3 — бекітпе; К — канал

ҚТ БТ дан түбегейлі ерекшеліктері: ҚТ жинақтау және өткізгіштердің сору белгілерінің жоқтығы, яғни оның тез әрекет етуі және тоқ бойынша күшейтудің жоқтығын едәуір жоғарлатады.

Тасушылардың қозғалысын электр өрісі каналдың модуляциялаушы өткізгішін басқаратындықтан, ҚТ кернеумен басқарылатын (электронды лампаға ұқсас) тоқ көзі болып табылады.

ҚТ сызбаларының параметрлерін есептеу үшін кіру  $I_C = f(U_{3-и})$  және шығу сипаттамалар  $I_C = f(U_{C-и})$  тобы қажет.

### **Өріс транзисторларын РЭҚ құрылымдарында қолдану тәртібі**

ҚТ түрін және қосылу сызбасын таңдау сызбадағы қызметтерді орныдау, белгі жиілігінің сызығына, пайдалану шарттарына және монтаждау тәсіліне байланысты. ҚТ электрлік жүктемесі ағу-бастау  $U_{C-и}$  кернеуі,  $I_C$  ағу тоғы бойынша және ағыстық әлсіреу  $P_C$  қуаты бойынша жүктеме коэффициентімен бағаланады:

$$K_H^{(U_{C-и})} = \frac{U_{C-и}}{U_{C-и доп}} \leq 0,7; K_H^{(I_C)} = \frac{I_C}{I_{C доп}} \leq 0,7; K_H^{(P_C)} = \frac{P_C}{P_{C доп}} \leq 0,7;$$

ҚТ -ның жақсы жақтары оны кең қолдануға себеп болады:

жоғары кіру қарсыласуы, күшейтудің аса жоғары шектес жиілігі, пені  $W$  және ұзындығы  $L (S \sim W/L \text{ құламасы})$  геометриялық көлемдердің нақтылығымен анықталатын параметрлердің шағын шашуы, гүріл деңгейінің төмен деңгейі, шағын паразиттік параметрлер.

ҚТ кемшіліктері: каналдың көп қарсыласуы, төмен радиациялық тіреу және арнайы қорғау шарасын талап ететін статистикалық электрлік әрекет етуінен бекітпе астындағы диэлектрикті тесу мүмкіндігі.

### **Транзисторлардың шартты белгілері**

Электрлік сызбаларда транзисторлардың графикалық шартты белгілері МЕСТ 2.730-73 регламенттелген. Нақты транзистор туралы нақты мәлімет НТҚ қарастырылған.

Тапсырыс беру және алғашқы қолдануға арналған мәліметтер деректемесі бойынша өзгертін транзистордың әріптік және сандық сәйкестендіргіш параметрлерінен тұратын негізгі жазбада болады. Негізгі жазылымдағы мысал ретінде транзисторлардың жіктілік кенестік мазмұнын қарастыралық (1.7 кесте).

| Транзистордың негізгі жазбасы | Топтасу кеңестігінің бағыты |   |   |   |    |   |   |      |
|-------------------------------|-----------------------------|---|---|---|----|---|---|------|
|                               | 1                           | 2 | 3 | 4 | 5  | 6 | 7 | 8    |
| 2Т504А-5                      | 2                           | Т | — | 5 | 04 | А | 5 | № ТУ |
| ГТС609Б                       | Г                           | Т | С | 6 | 09 | Б | — | № ТУ |
| ЗП224А                        | 3                           | П | — | 2 | 24 | А | — | № ТУ |
| КП907Б                        | К                           | П | — | 9 | 07 | Б | — | № ТУ |

| Қуат                 | Жілілік     |                    |               |
|----------------------|-------------|--------------------|---------------|
|                      | 3 МГц дейін | 3 тен 30 МГц дейін | 30 МГц жоғары |
| 0,3 Вт дейін         | 1           | 2                  | 3             |
| 0,3 тен 1,5 Вт дейін | 4           | 5                  | 6             |
| 1,5 Вт жоғары        | 7           | 8                  | 9             |

1.7 кестеде топтасу кеңестігінің келесі бағыттары қолданылған:

Бастапқы жартылай өткізгіш материалдың және қолдану аймағының сәйкестендіргіші (1.6 кестені қарау).

Транзистор түріндегі сәйкестендіргіш (Т — қосполярлық; П — өрістік.

Жинақтау белгісі (бір корпуста екі және одан астам транзисторлар).

Сипаттамалық қолдану белгілерін сәйкестендіргіш—қуаттылығы бойынша және тез рәкет ету тобы . 1.8 кестесінде МЕСТ 11336.919 — 81 бойынша сәйкестендіргіш мәндері келтірілген.

Жасау бойынша реттік нөмірі.

Әзірлегеннен кейінгі параметр мәнін сәйкестендіргіш.

Ерекше корпуссыз орындау түрін сәйкестендіргіш, 5 — кристалл ұстағышсыз және сырқа өткізгішсіз түйісу алаңдары.

Негізгі құрылымдық құжаттың нөмірі (ТЖ, ЖТЖ).

### 1.10. Интегралдық шағын сызбалар

Интегралдық шағын сызбалар (ИШС) (ИМС) —сандық (digitaldevice— DD) және ұқсас (analogdevice— AD)белгілерді өңдеуге арналған интегралды-топтық технология әдістерімен әзірленген РЭҚ қызметтік және құрылымдық аяқталған компоненттер.

#### Сандық ИШС

Сандық ИШС (СИШС) — екі код түріндегі белгілермен логикалық және арифметикалық операцияларды орындайтын-комбинациялық

және реттілік. Мұндай операцияларға (1.35 сур): дизъюнкция, конъюнкция, кідіру, бірігу, жылжу, сақтау жатады. МЕСТ 2.743 — 82 СИШС ШГБ белгіленеді.

Кіру белгісінің инсерсиясы қарапайым базалық операция болып табылады, ал осы операцияны орындайтын қызметтік торап-инвентор-базалық логикалық элемент деп аталады (БЛЭ).

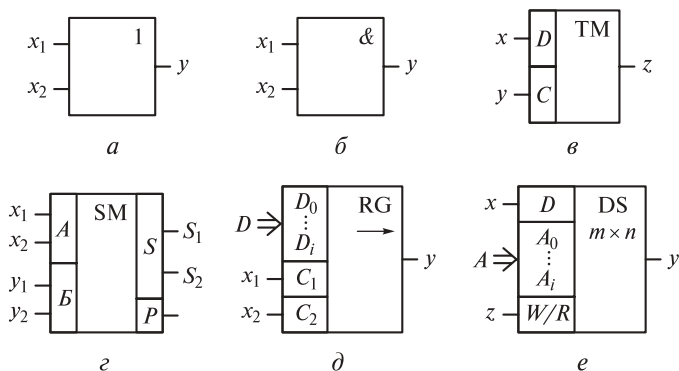
БЛЭ сызбасы және параметрлері СИШС электрлік, құрылымдық, технологиялық және қолдану параметрлерін және олардың дамуы тез әрекет етушілік, шығындалатын қуат, кедергігі төтеп бергіштік және компоненттер тығыздығына антагеникалық талаптардың әсер етуі бойынша жүруін анықтайды.

Қазіргі таңда келесі логика түрлерін (1.36 сур.) жүзеге асыратын БЛЭ негізіне СИШС шығарылады: ТТЛ (ТТЛШ), ЭБЛ-эмиттерлік-байланысқан логика, И<sup>2</sup>Л — интегралдық инежекторлық логика, n-МДП — n-каналдық және транзисторлар негізіндегі логика және к-МДП — интегралдық инежекторлық логика және к-МДП — өрістік транзисторлардың *комплементарлы жұбы* негізіндегі логика.

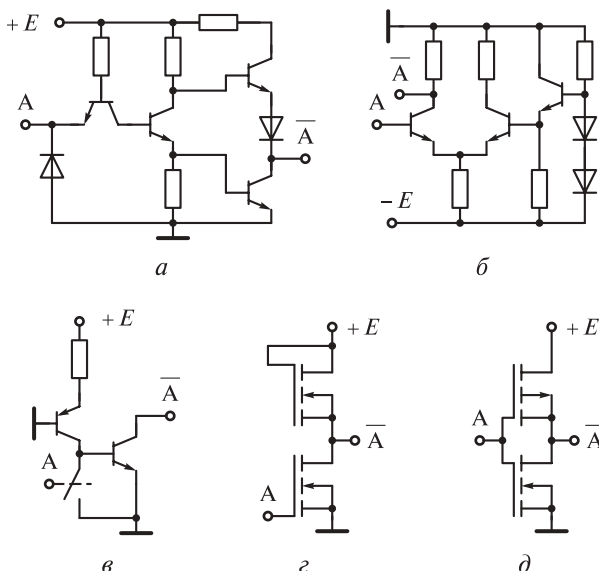
1.9 кестесінде осы БЛЭ маңызды параметрлері көрсетілген:

Көректендіру кернеуі  $U_{пит}$  пайдаланылатын қуат  $P_0$  қайта қосылу кедергісінің уақыты  $t_{зад}$  кедергіге төзімділік қоры  $U_{ном}$  компоненттер тығыздығы  $m_{комп}$  СИШС сериясындағы қызметтік аяқталған  $N_{ф.у}$  тораптар қоры.

БЛЭ әр түрі үшін параметр басқа түрлерден ерекше етіп көрсететін қанық курсивпен белгіленген. Орташа жиілікті ИШС БЛЭ ТТЛ негізінде бірден бірінші пайда болған. Сондықтан олар қызметтік тораптар саны бойынша озыққа жатады.



1.35сурет.Сандық ИШС орындалатын ШГБ операциялары:  
а — дизъюнкция; б — конъюнкция; в — кідіру; г — бірігу; д — жылжу;  
е — сақтау



1.36 сурет.Базалық логикалық элементтер сызбасы:  
а- ТТЛ (ТТЛШ); б - ЭСЛ; в - И<sup>2</sup>Л; г - және-МДП; д- к-МДП

БЛЭ ТТЛШ негізінде ИШС қуатты тұтынуы және тез әрекет ету көрсеткіштердің ең жақсысын қанығу болмайтындарды транзисторларды Шоттки диодтарымен қолданудың арқасында мүмкін болды. Аса тез әрекет ететін ИШС БЛЭ ЭСЛ негізінде жүктеме резисторларында қарсыласуды ұлғайтудың арқасында дифференциалдық жұптар транзисторлардың қанықпаған жағдайымен қамтамасыз етіледі, яғни бұл пайдаланатын қуаттың көбейтіп, кедергіге төзімділікті төмендетеді.

1.9 кесте

| Вид<br>БЛЭ       | БЛЭ негізгі параметрлері |                    |                       |             |              |                               |                  |
|------------------|--------------------------|--------------------|-----------------------|-------------|--------------|-------------------------------|------------------|
|                  | Упит, В                  | $P_{\theta}$ , мВт | $t_{\text{зад}}$ , нс | W0, пДж     | U пом, В     | $m_{\text{комп, вент./мм}^2}$ | N <sub>ф.у</sub> |
| ТТЛ              | $5 \pm 0,5$              | $\approx 30$       | $\approx 35$          | 1000        | 1,5          | 15                            | $\approx 100$    |
| ТТЛШ             | $5 \pm 0,5$              | $\approx 6$        | $\approx 12$          | 70          | 1,2          | 15                            | $\approx 60$     |
| ЭСЛ              | $-5,2 \pm 0,5$           | $\approx 50$       | $\approx 1$           | 50          | 0,5          | 15                            | $\approx 40$     |
| И <sup>2</sup> Л | $1,5 \pm 0,1$            | 0,05               | $\approx 1$           | <b>0,05</b> | 0,2          | 100                           | $\approx 10$     |
| и-МДП            | $5 \pm 0,5$              | $\approx 5$        | $\approx 5$           | 25          | 2... 3       | <b>150</b>                    | $\approx 25$     |
| к-МДП            | <b>3... 15</b>           | $\approx 50$ нВт   | $\approx 130$         | -           | <b>&lt;4</b> | 70                            | $\approx 40$     |

Болмашыдан тыс кернеудің және резисторлардың болмауының арқасында, дегенмен кедергіге төзімділіккер аз кезінде БЛЭ И²Л негізінде ИШС қуатты тұтынуы және тез әрекет етуі арқылы ең жақсы көрсеткішке қол жеткізілді.

Инвентордың алатын шағын алаңының арқасында БЛЭ n-МДП негізіндегі ИШС құрастыру жоғары тығыздығына қол жеткізілді.

БЛЭn-МДПнегізіндегі ИШС коректену кернеуінің үлкен диапазоны оларды қосымша келісімсіз ИШС бірге ұқсастармен қолдануға мүмкіндік беретін инвентор транзисторларының коректену тізбегіне толығымен симметриялық қосылуына негізделген; статикалық режимдегі инвентор арқылы келетін тоқтың практикалық болмауы ең жоғары кедергіге төзімділікті қамтамасыз етеді.

### Ұқсас ИШС

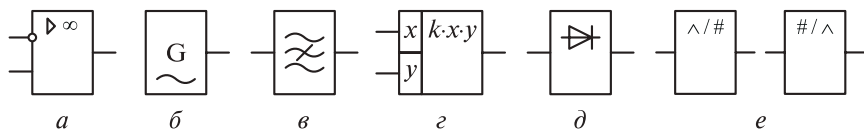
Ұқсас ИШС (ҰИШС) үздіксіз сан алуан жағдайда белгілермен операцияларды орындайды.

Мұндай операцияларға (1.37 сур.): күшейту, генерация, сүзу, көбейту, детектрлеу, ұқсас-сандық және сандық-құқсас қайта түрлендіру және басқалар жатады. Сонымен қатар, ҰИШС ток көздері және ЭҚК, тұрақтандырғышлар және матрицалар жатады. ШГБ ұқсас жлекменттерін МЕСТ 2.759-82 белгілейді.

ҰИШС сызбалық техникасында *өзара келісу және сызбалық техникалық артықтық* қағидаттары жүзеге асырырылған. Бірнші қағидатқа сәйкес ҰИШС элементтерінің электрлік параметрлері қатаң түрде үйлесімді немесе температура өзгергенде кең диапазонда тең болуы қажет. Екінші қағидатқа сәйкес,

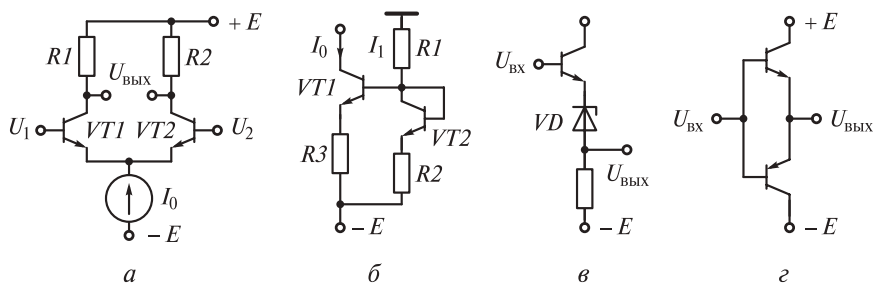
Жеке конденсаторлардың және жоғары омды резисторлардың істен шығуына байланысты шарасыз жүзеге асырушылық тұрақты ток бойынша каскадтар режимін қосымша белсенді компоненттерді енгізу есебінен келістіреді.

Кез-келген қиындықта ҰИШС жасау үшін функционалдық тораптардың шектеулі жиынтығын қолданады (1.38 сур.): ҚТ немесе ПТ жұбының өзара келісу негізінде дифференциалдық каскады,



1.37сур.ИШС ұқсастармен орындалтын ШГБ операциялар:

*a* — белгіні күшейту; *б* — генерация; *в* —сүзу; *г* —белгілердің көбейтілуі;  
*д* — детектрлеу; *е* — ұқсас-сандық және сандық ұқсасқайта түрлендіру



1.38 сур. ИШС ұқсастық функционалдық тораптар сызбасы:

*а* — дифференциалдық каскад; *б* — ток эталоны; *в* — деңгейлік жылжу каскады; *г* — шығу каскады

КТ жұбының өзара келісу негізіндегі жоғары температуралық тұрақтылығы бар ток эталоны, кернеудің деңгейлік жылжу каскады, шығу каскады және модификациялар.

*Дифференциалдық каскад* (ДК)  $U_1$  және  $U_2$  белгілерінің әртүрлілігін күшейтуге арналған. ҰИШС барлық күшейткіш шығу каскадтарының күшейту параметрлері және олардың тұрақтылығы тәуелді ДК және  $I_0$  ток эталоны бар. ҰИШС барлық кіру күшейткіш каскадтарында күшейту параметрлері мен оларға тәуелді тұрақтылық ДК және ток  $I_0$  тұрады.

$VT1$  және  $VT2$  ДК транзисторлары бірдей, ал кедергі  $R_1 = R_2$  болуы қажет.  $U_1$  және  $U_2$  кернеулері тең болған жағдайда ДК теңдеседі, яғни  $U_{вых0}$  транзистор коллекторларындағы кернеудің әртүрлілігі нөлге тең болады.

*Ток эталоны* (ТЭ) жоғары омдық жүктеме резистордың сызықтық емес эквиваленті болып табылады, ол ДК үшін тұрақты ток көзін қамтамасыз етеді.

ТЭ сызбасы  $I_0$  тоғы орнатылатын және ДК параметрлерінің қайталануын қамтамасыз ететін ОЭ сызбасы бойынша каскадтан және жалпы кедергісі 20 кОм –нан аспайтын бірнеше резисторлардан тұрады: К күшейту коэффициентінен және  $R_{вх}$  кіру кедергісі.

*Кернеу деңгейін жылжыту каскады* ауыспалы кернеудің күшейту бұрмаланбау үшін қажетті тұрақты күшейту (белгіні тұрақты құраушының жылжуын өтемдеуші) каскадтары бойынша режимді келістіруді қамтамасыз етеді. Кернеудің төменгі және жоғарғы жылжытылуы қолданылады (1.38 сур). Көбінесе жылжыту сызбасын ЭК негізінде құрайды.

*Шығу каскады* (1.38, г сур) В немесе АВ күшейту режиміндегі екі тактілі қуатты күшейту. Бірінші режим үлкен ПЭК, сонымен қатар бірталай сызықсыз бұрмалауды қамтамасыз етеді. Екінші режимде ПЭК кем болған жағдайда, сызықсыз бұрмалауда кем болады. Осы каскадта екі транзистор да ОК сызбасы бойынша қосылған және сондықтан да кіруі үлкен және шығуы кіші кернеуге ие. Дегенмен транзисторлар базаларын біріктіру бірнеше жағдайларды ескермеуге болатын сызықсыз бұрмалауға әкеледі.

## Құрылымдық құжаттамадағы ИШС шарттық белгілері

ИШС туралы жан-жақты мәліметтер НТҚ-ТЖ, ЖТЖ айылған.

Тапсырыс беру және алғашқы қолдануға арналған мәліметтер ИШС әріпті және сандық параметрлері сәйкестігінен тұратын, осы түр шегінде өзгертін негізгі жазбада көрсетілген.

СИШС КМ155ТМ2 және ҰИШС КР140УД5 негізгі жазбасын мысал түрінде ИШС жіктілік кеңестігінің мазмұнын қарастыралық (1.10 кесте).

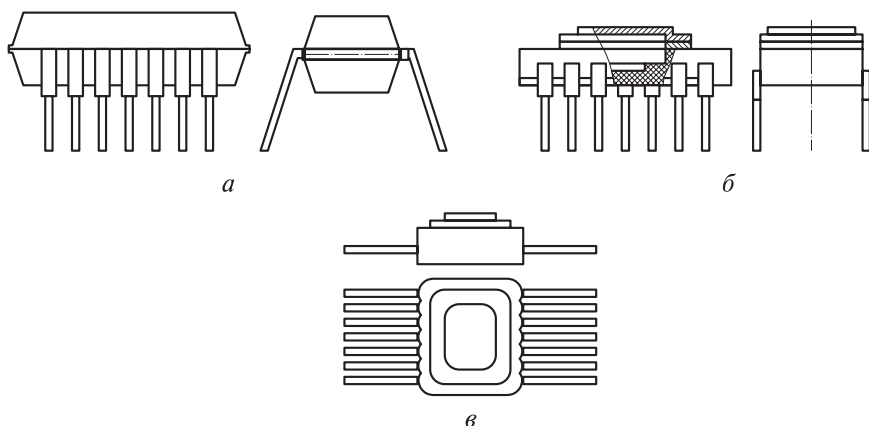
1.10 кестеде келесі жіктеу кеңестігінің белгілері қолданылған.

1. Пайдалынаын бағыт сәйкестігі (К — кеңінен қолданылатын; ОЖ немесе арнайы қолданылатын бейнесіз ; Э — экспорттық орындау (2,54 қадам және 1,27 мм)).

2. Корпус түріндегі сәйкестендіру (материалмен, санмен және қорытындыларды орналастыру тәрібімен, монтаждау тәсілімен ерекшеленеді): А — пластмассалы жазық; Р — полимерлі DIP (1.39, а сурет);

1.10 кесте

| Жазбаның<br>негізгі нөмірі | Классификациялық позициясының кеңістігі |   |   |    |    |   |      |
|----------------------------|-----------------------------------------|---|---|----|----|---|------|
|                            | 1                                       | 2 | 3 | 4  | 5  | 6 | 7    |
| КМ155ТМ2                   | К                                       | М | 1 | 55 | ТМ | 2 | № ТУ |
| КР140УД5                   | К                                       | Р | 1 | 40 | УД | 5 | № ТУ |



1.39 сурет ИШС корпустарының түрлері:  
а — полимерлік DIP; б — металдыкерамикалық DIP;  
в — металлөйнекті жазық

М — металдыкерамикалық DIP (1.39, б сурет); С — әйнекті керамикалық жазықты; Н — төрт жаққа шығармасы бар шағын металдыкерамикалық; Ф — шағын пластмассалы; әріпсіз — металды әйнекті (1.39, в сурет); Б — корпуссыз оындау және басқалар.

3. Чиптің конструкторлық-технологиялық орындау сәйкестендіргіші: 1, 5, 6 — жартылай өткізгіштер; 2, 4, 8 — гибридік, 3 — үлдірлі; 7 — корпуссыз орындалатын жартылай өткізгіштік.

4. Өндеудің реттік нөмірін сәйкестендіргіш (екі немесе үш сан).

5. Функционалдык тағайындалған сәйкестендіргіш: ГОСТ 18683 — 83 сәйкес, ТМ — D-триггер; УД — операциялық күшейткіш және т.б.

6. Өндеудің реттік нөмірін сәйкестендіргіш.

7. Негізгі конструкторлық құжаттың нөмірі (ТЖ, ЖТЖ).

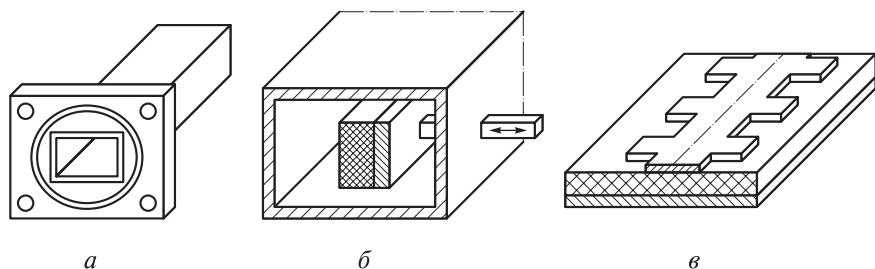
### **1.11. Өте жоғары жиілікті құрылғылардың және и функционалдык электрониканың ЭРК**

ӨЖЖ құрылғыларына толқын диапозондарын құру, жеткізу, қабылдау және дециметрлік, сантиметрлік және миллиметрлік өндеу жатады. ӨЖЖ құрылғыларының трактілерде функционалдык өзгеруі мағынасы бойынша генерация, күшейту, байланыс тораптары бойынша, жиіліктің өзгеруі, сүзу, детектрлеу және басқа сияқты төменгі жиілік трактілеріне қатысты мағынасы бойынша айырмашылығы жоқ. Дегенмен, ӨЖЖ пайда болатын ЭРК түзілісі, олардың формасы, көлемдері және электрлік параметрлері тракт бойынша өтетін электрлі магниттік (жиілік, фаза, поляризация) толқын параметрлерімен келісуі қажет. Тек осы жағдайда ғана ол бұрмаланбайды және өткізілуді жоғалтпайды.

Бейтарап ӨЖЖ ЭРК бұдан бұрын қарастырылған дискерттік шоғырланған жұптары бар ЭРК-ден негіздік айырмашылығы, ӨЖЖ ЭРК *таратылған* параметрлері бар компоненттері болып табылуында.

ӨЖЖ құрылғыларының ЭРК трактісіне мысалдар 1.40 суретте келтірілген. Белсенді құрылғылар ретінде барьерлі Шоттки (күшейткіштер), Шоттки диодтары (детекторлар, қоспалар), туннельдік және Ганна көшкінді өту диоды (күшейткіштер, генераторлар),  $p-i-n$ -диодтар (модуляторлар, фаза айналдырғаштар, қайта қосылғыштар) өрістік транзисторлар қолданылады.

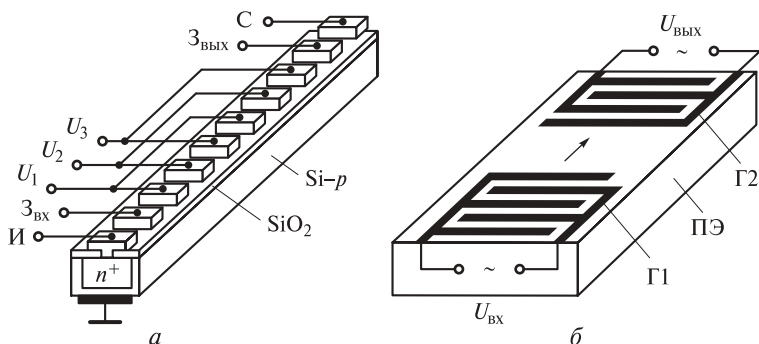
ӨЖЖ ЭРК патронды және таблетка тәрізді металдыкерамикалық және металдыәйнекті корпустарға ресімделген, осының арқасында олардың паразиттік параметрлері өте шағын, яғни 300 ГГц дейін жиілікте диапозонда жұмыс жасайтын электронды құрылғыларды жасауға жол береді.



1.40 сурет. ӨЖЖ құрылғыларының ЭРК трактіне мысалдар:  
*a* — толқын арнасы; *б* — аттенуатор; *в* — шағынсыздықты сүзгіш

Шағын сызықты жиілерде белсенді құрылғылардың корпуссыз құрылымдары қолданылады. Бұл компоненттердің жұмыс жасау қағидаттарымен ӨЖЖ техникасы бойынша арнайы әдебиеттен көріп танысуға болады. Қатты денелі функционалдық электрониканың компоненттері бірыңғай ортада, мысалы, электрлік зарядтарды жартылай өткізгіш пакеттерге орналастыру және пьезоэлектрикте (ПЭ) акустикалық тоқындарды тарату сияқты белгілердің ұқсас түрленуін орындайды. Бірінші процесс негізінде сызықтар мен матрицалар-зарядтық байланыс құрылғысының (ЗБҚ) қызметін атқарады. Екінші процес негізінде *беткі акустикалық толқын құрылғылары*, (БАТ) қызметін атқарады.

БАТ құрылымы бірнеше бекітпелі МДЖ-транзисторынан тұрады (1.41, а сур. ), яғни онда қажетті И және С ағу электродтарынан басқа, сатылы басқарушы кернеудің әсерімен қатамасыз етілетін  $U_1$ ,  $U_2$  и  $U_3$  заряд пакеттерінің ауыстырылуы,  $3_{\text{вх}}$  кіру бекітпесіне инжекторлық белгі беру сияқты бекітпелер бар.



1.41 сурет. Функционалдық электроника аспаптары:  
*a* — ЗБА сызғыш; *б* — ПАВ кідіру сызғы; 3 — бекітпе; С — ағын; И — бастау; Г — ирек тісті бастырма

Шығу кернеуінде зарядтық өзгеру  $3_{\text{вых}}$  шығу бекітпесінің көмегімен ағынында болады. Әр бекітпеде зарядтық пакеттерде оптикалық белгіден болуы да мүмкін. Бұл механизм жұмыс жасайтын барлық бейнекамера матрицтері ЗБҚ негізінде.

ББЗ құрылғысына мысал ПЭ (1.41,6 сур.) *кідіру сызығы* болып табылады. Акустикалық толқынға ПЭ беткі жағымен шағын жылдамдықта ( $\sim 3$  мм/мкс) тарайтын, ирек тісті Г1 бастырманың көмегімен өзгертін  $U_{\text{вх}}$  кіру белгісі бірнеше кідіру уақытынан соң оған жетеді. Екінші Г2 ирек тісті акустикалық белгінің көмегімен белгі электрлік  $U_{\text{вх}}$  белгісіне өзгереді. Осындай бұру сызықтарының негізінде трансверсальді және дисперсиялық сүзгіштер жасалады.

Функционалдық электрониканың жеке құрылғылар сыныбы оптикалық және акустикалық өзгерістер және белгілерді сәйкестендіру өңдеу операцияларын орындайтын эхопроцессорлар жасайды.

## 1.12. Импорттық электрлі радиокomпоненттер

Бұдан бұрынғы бөлімдерде ЭРК отандық түрлеріне мысал ретінде негізгі электрлік, құрылымдық және қолдану параметрлері қарастырылды. Дегенмен қазіргі таңда РЭК шығаратын Ресеу кәсіпорындары мен ұйымдары, сонымен қатар шетел фирмалары нарыққа шығаратын әскери тағайындалатын бейтарап және белсенді ЭРК қолданылады. Қатаң бәсекелестіктің арқасында бұл компоненттердің сапасы өте жоғары, ал олардың түрлік, түрлік номиналдар және түрлік көлемдер номенклатурасын сипаттау оның алуан түрлілігі бойынша мүмкін емес. Сондай-ақ шетелдік ЭРК белгілеу жүйесі және маркалау отандықтан біршама басқаша.

Жартылай өткізгіш құрылғылар үшін сандық және әріптік сәйкестендіргіштен тұратын индекс түрінде JEDEC (АҚШ) белгіленеді: бірінші сан — сан  $p-n$ -ауысулар (1 — диод; 2 — транзистор; 3 — тиристор);  $N$  әріпі; сериялық нөмір (екі — төрт сан), құрылғы туралы қандай да бір ақпарат жоқ электронды өнеркәсіп ассоциациясы тіркеген (EIA); құрылғылардың бір түрінің әр-түрлі параметрлер бойынша типонаминалға бөлуі.

Association International Pro Electron Еуропа ассоциациясы жартылай өткізгіштерді белгілеу бойынша өз жүйелерін қолданылады: екі әріппен және үш санмен (100 ден 999-ға дейін) — кең қолданылатын тұрмыстық аппаратура үшін; үш әріппен және екі санмен (10 нан 99-ға дейін) — өндірістік және арнайы аппаратура үшін. Бірінші әріп материалды білдіреді (Ge — A, Si — B, GaAs — C, InN — D), екінші

әріп— құрылғы түрін (детекторлы диодтар — А, транзисторлар НЧ қуатты — D, сәулелендіргіш — Q, стабилитрондар — Z).

Кейбір түрлерді белгілеу үшін (стабилитроны, мощные диоды, тиристоры) негізгі белгіге құрылғы туралы негізгі мәліметтерден тұратын сызық немесе дробь арқылы код қосылады. Мысалы, стабилитрон үшін номиналды кернеу және оған қол жеткізу пайызбен белгіленеді: BZJ85-C6V8 —тіркеу нөмірі 85 арнайы тағайындалған кремнилі стабилитрон, тұрақтандыру кернеуі 6,8 В және кернеуге қол жеткізу (C)  $\pm 5\%$ . ВТХ10- 200 тиристордар белгісінде соңғы сан қосылу кернеуінің мәнін көрсетеді.

Жапонияның өзіндік белгі стандарты бар— JIS-C.7012.

Шағын габаритті және жартылай өткізгіш диодтарды маркалау үшін сандық және әріптік белгінің орнына түті сызықтық кодтауды қолданады. Олардың ені, өзара орны, диод шығару орын және түсі қорытындылардың қарама-қарсылығына қосымша сілтей отырып, диодтың әріптік-сандық сипаттамасына бір мағыналы сәйкес болады.

### Бақылау сұрақтары

1. ВАСр — n-ауысуының сипаттамалық учаскесін атаңыз.
2. Басқарушы кернеудің әсерінен  $p$ — n-ауысу вариацияның қай бағыты өзгереді?
3. ҚПТ және КТ арасындағы негіздік ерекшелік неде?
4. Қосполяры және кеңестік транзисторлардың қай бағыттағы құрылымы сыртқы факторлардың әсеріне көбінесе сезімтал?
5. ЭРК электрлік жүктемесін қандай параметрлер бойынша бағалайды?
6. Қандай белгі кеңестіктерінде сандық және ұқсас интегралдық шағын сызбалар қызмет атқарады?
7. Базалық логикалық элемент дегеніміз не? Олардың түрлерін атаңыз..
8. ИШС-те транзисторлық әсер пайда болуының механизмі қандай?
9. СИШС жүк түсу қабілеті бойынша шегін көрсетіңіз.
10. СИШС «кедергіге төзімділік қоры» дегеніміз не?
11. Сызбалық техниканың ұқсастық қағидаттарын атаңыз.
12. Өндіруші ИШС тұтынушыға қандай күйде жеткізеді?

## Радиоэлектрондық жүйелердің құрылымы

### Функционалдық және құрылымдық белгілері бойынша РЭҚ жіктеу

Радиоэлектрлік жүйелер ақпараттарды өткізу, қабылдау және қайта өзгерту үшін шартты жиілік диапазонында (толқын ұзынды.) от  $3 \cdot 10^3$  Гц ( $1 \cdot 10^5$  м) до  $3 \cdot 10^3$  ГГц (0,1 мм) электрлі магниттік ауытқу қолданылатын *бұйымдар* сыныбына жатады.

МЕСТ 26632—85 стандартымен *радиотехника және электроника* қағидаттары белгіленген негіздегі бұйым және оның құрамдас бөлігі ретінде «радиоэлектрондық құралдар» сөзінің мағынасы анықталды. Осы стандартпен РЭҚ *шағындалу деңгейі* белгіленді:

Функционалдық күрделілігі бойынша — жүйелерге, кешендерге, құрылғылар мен тораптарға:

*радиоэлектроды жүйе* — РЭҚ, өзара әрекет ететін, бірыңғай бүтін пайда болатын, кіріс құралдарын тиімді таңдау және техникалық міндеттерді шешу барысында пайдалану мақсатында құрылымын қайта өзгерту қасиеттері бар, функционалдық өзара әрекет етуші автономды радиоэлектронды құрылғылардың негізінен тұрады;

*Радиоэлектродық кешен* — РЭҚ, жұмыс жасау және техникалық міндеттерді шешу үшін тағайындалған қабілеттерді сақтау функционалдық өзара әрекет етуші автономды радиоэлектронды құрылғылардың негізінен тұрады;

*радиоэлектрондық құрылғы* — РЭҚ, олардың негізінде және көтергіш құрылымда орындалатын ақпаратты немесе техникалық міндеттерді жіберу, қабылдау, қайта өзгерту қызметтерін жүзеге асыратын функционалдық аяқталған жинақтау бірлігінен тұрады;

*радиоэлектрондық торап* — РЭҚ, белінің қайта өзгеру қызметін жүзеге асыратын және өздігінен қолдану міндеті жоқ функционалдық аяқталған жинақтау бірлігінен тұрады;

Құрылымдық күрделілігі бойынша — шкафтарға (тіреу, тумбалар), қаңқалар (рамалар, блоктар) және ұяшықтар (нөлдік, бірінші, екінші және үшінші деңгейлі модульдер) (2.1. сур.):

Үшінші деңгей (2.1, а сур.) радиоэлектрондық жүйелер мен кешендерді орналастыру үшін тағайындалған-радиоэлектрондық *шкаф* (*тіреу, тумба, пульт*).

Үшінші деңгейлі базалық көтергіш құрылым негізінде жасалған

(БНК-3) және өзара ауыстырмалы құрылымдық қасиеті бар функционалдық аяқталған радиоэлектрондық шкаф үшін деңгейлі радиоэлектронды модуль (3- РЭМ) деп аталады;

Екінші деңгей (2.1, б сурет) — радиоэлектронды құралдарды орналастыруға арналған радиоэлектрондық қаңқа (*рама, корзина*). БНК-2 негізінде орындалған функционалдық аяқталған радиоэлектрондық блок (2.1, в сур), өзара ауыстырмалы құрылымдық қасиеті бар және оны радиоэлектронды модуль деп атайды (РЭМ-2);

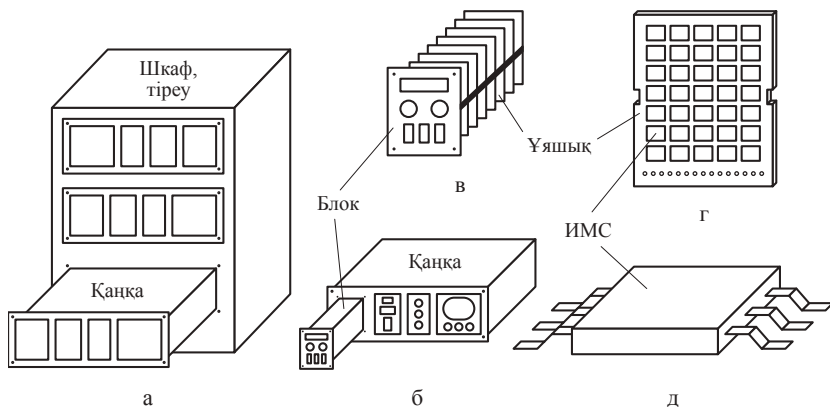
Бірінші деңгей (2.1, г сур.) — радиоэлектронды тораптарды орналастыруға арналған радиоэлектронды ұяшық.

БНК-1 негізінде орындалған және өзара ауыстырмалы құрылымдық қасиеті бар функционалдық аяқталған радиоэлектрондық ұяшықты (*кассета*) бірінші деңгейлі радиоэлектронды модуль деп атайды (РЭМ-1);

Нөлдік деңгей (2.1, д сур.) — БНК-1 мен көлемдік жағынан үйлестіргіш және өзара ауыстырмалы құрылымдық қасиеті бар функционалдық және құрылымдық аяқталған РЭҚ (ИШС, *шағын жиынтық, шағынсызба*) нөлдік деңгейлі радиоэлектронды модуль деп аталады (РЭМ-0);

Сонымен қатар кіктелу кеңестігінде РЭҚ:

- *қолдану бағыттары бойынша:* радиобайланыс және радиотаратқыш, теледидар және бейне техника, радиолокация және радионавигация, радиобасқару и радиотелеметрия, радиоөлшеу, радиоастрономия және радиометеорология және басқа болып бөлінеді;



2.1. Сурет. РЭҚ бойынша деңгейлерді ықшамдаудың құрылымдық күрделілігі  
а-радиоэлектрондық шкаф, б-радиоэлектрондық қаңқа, в-радиоэлектрондық блок,  
г-радиоэлектрондық ұяшық, д- шағынсызба

- *орындайтын қызметтері бойынша:* электрлі магниттік ауытқуларды сәулелендіру және қабылдау, ауытқуларды күшейту және өзгерту, ауытқуларды басқару, ақпараттарды өңдеу, қуат көзімен қамтуды бақылау және диагностикалау;

- *орнату нысандары:* жерасты (стационарлық, тасылатын, тасылданатын), теңіз, ұшқыштық-вертолеттіке, ракеталық-ғарыштық.

Айтылған жіктеулер жеткілікті емес, дегенмен РЭҚ қазіргі таңдағы қолданылатын негізгі түрлерін қамтиды.

## **2.2. РЭҚ жалпы сипаттама және олардың құрылымдары мен технологияларының дамыту кезеңдері**

Заманауи ғылыми-технологиялық прогресс радиоэлектроника жетістіктерімен, олардың тұрақты түрде күрделенуімен, РЭҚ барлық салаларда және өндірісте енгізуілуімен тығыз байланысты. Бір уақытта сапаға, беріктік, сериялық жарамдылығы және РЭҚ бәсекелестікке төтеп беруіне деген талап өсіп келеді:

- *сапа* — бұйымға белгіленген және болжалған талаптарды қанағаттандыру қабілетіне қатысты параметрлер және сипаттамалар негізі;

- *беріктік*—бұйымды пайдалану барысындағы қолайсыз жағдайларға қарсы тұруына қатысты бұйымның параметрлік және сипаттамалық негізі;

- *сериялық жарамдылығы*—заманауи өндіріс жағдайларында сериялық және жаппай шығарылуы бойынша бұйымның параметрлік және сипаттамалық негізі;

- *бәсекеге қабілеттілігі*—өтім нарығы үшін бәсекелестік күрес жағдайында бұйымның кіріспен қамтамасыз ету қабілеті.

Сонымен бірге бұйымдарды жобалау және жасау мерзімдері де маңызды көрсеткіш болып табылады. Осыған орай, РЭҚ құрылымдық және технологиялық жобалау салаларында түбегейлі сипаттағы мәселелер бар, яғни оларды тиімді шешу де осы саладағы прогресс анықтайды. РЭҚ сериялық және жаппай өндірісін ұйымдастыру, оларға жүктелген беріктік деңгейін және бәсекеге қабілеттілікті қамтамасыз етуі РЭҚ үшін маңызды болып табылады.

Өндіріс қуаттылығы (оның бастапқы сатысына тән өндірісті дамытудың *экстенсивті* жолы), өсіру есебінен немесе жаңа технологиялар және өндірісті ұйымдастыру әдістемелері, технологиялық процестерді автоматтандыру және механизациялау (заманауи өндіріске тән дамытудың *қарқынды* жолы) есебінен *сериялық және жаппай* өндірісті ұйымдастыру мүмкін.

Сонымен қатар РЭҚ құрылымын жобалауда блокты әдістемеден *функционалды-тораптық және функционалды-модульдік* әдістемеге көшу болды.

Ұзақ уақыт бойы РЭҚ құрылымы мен технологиясын әзірлеу нақты құрылғыға жеген жеке талаптарды қолдану бойынша жүргізілді. Құрылымды оны стандарттау және унификациялау мақсатында бөлшектеу блок деңгейіне дейін (әдістеме атауы осылайша пайда болған) ғана жүргізілді. Блоктық құрылым жинақтау және монтаждаудың технологиялық процестерін автоматтандыруға мүмкіндік бермеді және оның күрделену шамасына байланысты қолдану талаптарын қанағаттандырды жоғалтты.

РЭҚ функционалды-тораптық және функционалды-модульдік құрылымға көшуі оларды жинақтау және монтаждаудың процестерін автоматтандыруға, бағасын төмендетуге, беріктігін көтеруге және жасалу мерзімдерін қысқартуға мүмкіндік туғызды. РЭҚ жобалау барысында әр-түрлі мақсаттағы РЭҚ үшін бірдей тораптардан құрастырылған функционалдық сызбалар жасала бастады.

Сонымен бірге, бұл тораптардың тізімі шектеулі болды, яғни олар қалыптасу үшін қолайлы жағдай болды.

Қазіргі таңда дискреттік ЭКК және ИШС негізінде қалыптастырылған функционалдық тораптар (ҚФТ) жаппай шығару жүргізілуде.

Заманауи РЭҚ (мысалы, АЖЖ құрылғыларды шағын жиынтықтау устройств микросборки) мамандандырылған функционалдық тораптары жалпы саннан 20 % аспайтын санды құрайды. Бірнеше жағдайларда олар УКТ сияқты құрылымдық-технологиялық базада: базалық матрицалық кристалдар (БМК) немесе бағдарламаланатын логикалық интералды сызбалар негізінде жүзеге асырылған (БЛИС).

Берілген беріктік деңгейін қамтамасыз ету мәселесі РЭҚ жасау барысында әрқашанда негізгінің бірі болды және оны шешу қиындығы олардың күрделену, қолдану шарттарын қаталдандыру шамасына байланысты өсе берді. Ең алдымен ЭРК беріктігін жоғарлату есебінен тіндеттелген РЭҚ беріктік деңгейіне жетуге болады. Дискретті компоненттерден жинақталған УКТ қолданған жағдайда да элементтердің электрлік жүгін төмендету және олардың сыртқы жағдайлардан жақсы қорғау есебінен РЭҚ беріктігін жоғарлатылды.

1950 жж. аяғында жартылай өткізгіш ИШС пайда болуына байланысты «шағын электрониканың» ғылыми-техникалық бағыттарының пайда болуы РЭҚ беріктігін шұғыл көтеруге мүмкін туғызды.

Бұған интегралдық-топтық әдістемелерімен, өндірістің жоғары өндіріс мәдениеті және заманауи автоматтандырылған жобалау

жүйесін (АЖОЖ) пайдалану арқылы құрылымды жобалау процестерін толығымен автоматтандыру және беткі жақта жартылай өткізгіш пластинада (чипте) құрастырылған белсенді және бейтарап компоненттерінің санының көбеюі себеп болды.

РЭҚ беріктігін одан әрі жоғарлату жаңа физикалық қағидаттар негізінде қызмет атқаратын, яғни жүзеге асырылуы берік, зор және қуат жұмсайтын механикалық тораптар, мотолы бұйымдар, байланыс элементтерін пайдаладан бас тартуға мүмкіндік беретін *қуат тегін қайта өзгертушілерді* жасау және енгізу байланысты.

Отандық РЭҚ бәскеге қабілеттілігіне не әсер етеді, яғни тауарлардың еркін нарықта дамуына байланысты тек соңғы уақыттарда ғана оны жоғарлату мәселесі өндіріс алдына қойылды. КСРО кезеңінде тауар өндірушілер арасында бәсекелестіктің болмауы отандық радиоэлектрлік өнімдер , бірінші орында тұрмыстық РЭҚ сапасына жағымсыз әсер етті. Дегенмен, сол кезде үлкен қаржылық шығынның есебінен әскери мақсаттағы РЭҚ жоғары сапаға ие болды. РЭҚ *заманы* туралы олардың әр-түрлі даму кезеңдерде жасалуы бойынша айтуға болады. Осы уақытқа дейін бесінші замандас РЭҚ жасалған және қызмет атқарады. Әр жаңа замандастың пайда болуы пайдалы белгінің (реле, радиолампа, транзистор, шағын сызба) қуатын күшейте алатын *белсенді* ЭРК түрінің пайда болуына байланысты. Сонымен қатар, әр РЭҚ заманы үшін құрылымдық орындалу түрі, оларды жасау бойынша базалық технологиялық процестер, жобалау әдістемелері және жобалау жүйесіне тән. Осы қолдану құралдарын таратушы жаңа нысандардың пайда болуына байланысты оларды қолдану шарттары күрделенеді және қызмет атқару мерзімі ұлғаяды. Отандық және шетел РЭҚ жеке даму кезеңдерінің пайда болуы сәттері және ұзақтығы бірнеше себептермен бір бірінен біршама ерекше. 1970 жж. жобаланған отандық шағын электрониканың шетелдіктен қалысуы қазір де бар. Дегенмен, жалпы даму үрдісі жағымды.

### 2.3. РЭҚ өмірлік циклі

Кез келген басқа бұйым сияқты РЭҚ-да да белгілі бір кезеңдерді ретке келтіру реттілігі бар өзінің өмірлік циклы бар: тапсырманы қою — жобалау — дайындау және сынау — пайдалану — кәдеге жарату.

Кезеңдердің мазмұны мен ұзақтығы, олардың нәтижелілігі мен өзара байланысы РЭҚ нақты түрімен, жалпы жіктеудегі олардың орнымен, мақсатты функциясы, жобалау басталған сәтіндегі қол жеткізілген техниканың осы саласындағы ғылыми-техникалық және технологиялық деңгейлерімен, сондай-ақ жобалаудың нормативтік және технологиялық базасының жай-күйімен анықталады.

Қоғамдық қажеттілік немесе өзге түрде техникалық құралдар

ықпалымен туындаған міндеттер қою кезеңінде олардың мақсатты функциясын қалыптастырады, сондай-ақ бұл қаражат қанағаттандырылуы тиіс талаптар жиынтығы: функционалдық, эксплуатациялық, конструктивтік, технологиялық, эргономикалық, эстетикалық, экономикалық және экологиялық. Бірінші кезеңді орындау нәтижесі тапсырыс беруші мен дайындаушы арасында келісілген барлық талаптар маңызы болып табылады.

Жобалық кезеңде дайындаушы осы талаптардың үлкен бөлігін жүзеге асырады. Осы кезең нәтижесі болып табылады шығару үшін бұйымның тәжірибелік үлгісін немесе оны сериялық өндіріске іске қосуға қажетті конструкторлық-технологиялық және бағдарламалық құжаттардың толық жиынтығы. Жобалау кезеңі ең маңызды болып табылады, оны орындау барысында дайындаушы бұйым конструкциясы және оны дайындау технологиясы бойынша негізгі техникалық шешімдер қабылдайды.

Бұйымдарды дайындау және сынау кезеңдерінде дайындаушы өндірістік базасы жағдайына, шикізат, материалдар және жинақтайтын бұйымдардың сапасына, технологиялық тәртіп сақтауға тәуелді технологиялық, эстетикалық және экономикалық талаптарды іске асырады.

Бұйымдарды пайдалану кезеңінде нақты пайдалану жағдайларында және берілген уақыт ішінде жұмыс істеу оның қабілеті расталады (немесе расталмайды).

Өзінің ресурсын өндіруші немесе моральдық ескірген бұйымның кәдеге жарату кезеңі, оның өмірлік циклінің логикалық қорытындысы және қазіргі қоғамның күрделі экологиялық мәселелінің бірі болып табылады.

Бұйымдардың өмірлік циклінің жекелеген кезеңдеріндегі оған қойылатын талаптар бөлігін іске асыру мүмкін емес немесе экономикалық тұрғыдан қисынсыз болуы мүмкін, не бұйымның сапасы, сенімділігі мен басқа да сипаттамаларын арттыру бойынша қосымша мүмкіндіктер пайда болуы мүмкін. Бұйымдарды құрудың нақты процесінде әрқашан жекелеген кезеңдерінің бастапқы параметрлерін өзгерту (түзету) мүмкіндігі бар. Бұл көптеген бұйымдардың өмірлік циклінің жүйелік қасиетіне әсер етеді.

## **2.4. РЭҚ жобалау, өндіру және пайдалану объекті ретінде**

Бұйымдардың кез келген тәжірибелік-конструкторлық бәсекеге қабілетті әзірлеу (ТКЭ) түпкі мақсаты пайдалылықтың берілген деңгейімен сериялық өндіріске оны іске қосу болып табылады. Бұл ретте нарығында бұйымның бәсекеге қабілеттілік оның жоғары сапасы (функционалдық, тұтынушылық қасиеттер жиынтығы)

есебінен қамтамасыз етіледі, жоғары сенімділігі (пайдалану қасиеттер жиынтығы), сериялық пайдалылығы, технологиялылығы (конструктивті-технологиялық қасиеттер жиынтығы) және төмен өзіндік құны (әзірлеудің экономикалық тиімділігі).

Осындай бәсекеге қабілетті бұйымдарды әзірлеу күрделілігі, ең алдымен, нақты жобалық тапсырмаларды шешу үшін арналған бастапқы деректердің бастауыш тұрақсыздығымен негізделген. Жобалық кезенді орындау барысында (дәйекті шығару және алғыжобаны қорғау, эскиздік, техникалық және жұмыс жобалар) осы белгісіздікті бірте-бірте жояды, бірақ жобалаудың жекелеген міндеттерінің шешімдерінің өзара тәуелділігі сериялық өнім шығарылатын және оны пайдалануға болатын сәтке дейін сақталуы мүмкін.

Қазіргі заманғы РЭҚ әзірлеу тәжірибесі, мысалы, ЭРК элементтік базасын және конструкцияларының дамуының жай-күйі мен перспективаларын есепке алмағанда, құрылғылардың принципалды схемаларын жобалаудың тиімсіздігін және орынсыздығын көрсетті; өз кезегінде, конструкция бойынша шешімді өндірістің технологиялық мүмкіндіктерін ескере отырып, қабылдау керек. Сондықтан бәсекеге қабілетті РЭҚ әзірлеуін есептеулер, модельдеу, макеттеу, тәжірибелі үлгілерді дайындау және оларды сынау, басқа да зерттеу әдістерін қамтитын схемалардың, конструкциялар мен технологиялардың кешенді жобалық зерттеу орындау қажет.

РЭҚ құруға осындай жүйелі ұсыну үшін Т теориялық алғышарты РЭҚ-ды үлкен немесе күрделі техникалық жүйе ретінде ұсыну болып табылады. Осы көзқарас негізінде жобалау кезеңдері және сериялық РЭҚ дайындау іске асырылады, анықтайды осы кезеңдердің жекелеген сатылар жүйелілігін қатаң орындауын анықтайды.

Олардың сериялық үлгілерін дайындау шығару кезіндегі КЖБ РЭҚ кезеңдерінің мазмұнын қарастырайық. КЖБ жобалау сатысының барысында КЖБ орындауға жалпы техникалық тапсырма (ТТ) және жеке ТТ (ЖТТ) әзірлеу және келісу пайда болған, әзірлеу және қорғауды орындайды:

- жобаны әзірлеудегі техникалық және техника-экономикалық негіздеуі мазмұны болып табылатын *техникалық ұсыныстар (ТҰ) немесе алғыжоба*;

- оның жұмыс істеу мүмкіндіктері мен тәжірибелік жүзеге асыру негізінде қабылданған негізгі техникалық шешімдер мазмұны болып табылатын беретін құрылысы бұйымдар туралы жасалған *жалпы түсінік эскиздік жоба (ЭП)*;

бұйымдар құрылысы, оның жұмыс істеу принциптері, дайындау тәсілдері және сынау әдістері туралы толық түсінік беретін қабылданған техникалық шешімдердің мазмұны болып табылатын

*техникалық жоба (ТЖ).*

Жобалау сатысының әрбір кезеңін орындағаннан кейін кейінгі кезеңдері орындау үшін бастапқы болып табылатын техникалық құжаттама (сипаттама, схемалар, сызбалар, нұсқаулықтар, сынақ хаттамалары) ресімделеді. Бұл ретте жобалық кезеңдердің әрқайсысын орындау үшін жобаның айқындығының деңгейі ұлғаюына қарай саны артатын әртүрлі мамандар қатысады, ал хабардар болу дәрежесі тұтастай алғанда азаяды.

*Жұмыс сатысын* орындау барысында бұйымның тәжірибелі үлгісіне конструкторлық және технологиялық құжаттаманың (КҚ, ТҚ) толық жиынтығын шығарады, оларды дайындайды және оған *алдын ала сынау* өткізеді және құжаттаманы түзетеді. Үлгіні өндеуден кейін оған *қабылдау сынақтарын* жүргізеді, олардың нәтижелері бойынша құжаттаманы тағы да түзетеді және оны сериялық дайындау үшін зауытқа береді. Зауытта *орналастыратын сериясын* дайындайды және бұрын байқалмаған кемшіліктерін анықтай отырып, сынайды. Сынау нәтижелері бойынша құжаттаманың соңғы түзету жүргізіледі және зауытқа құжаттардың түпнұсқасын тапсырады.

Белгіленген сериялық өндіріс сатысында бұйымның *бассериясын* дайындайды және авторлық қадағалаумен сынайды, және тек содан кейін ғана зауыт бұйымның *сериялық* өндірісін бастайды.

## 2.5. РЭҚ көтеруші конструкциясы

Көтеруші құрылмалар (ҰҚ) тұрақты жұмыс істеуі және пайдалану шарттарының қолайсыз факторларының әсер етуінен қорғауын қамтамасыз ету мақсатында ЭРҚ және басқа да құрамдас бөліктеріне бұйымдарды орналастыру, құрастыру және коммутациялау үшін арналған [17].

БНК РЭҚ жүйе құру МЕМСТ 26765.20 орнатылған. НК тағайындауымен айқындалатын талаптардан басқа, сондай-ақ олар міндетті:

- эргономика және техникалық эстетика талаптарға сай болу;

**эргономика** — өндіріс жағдайында адам және оның қызметі зерттейтін ғылым; құралдарды, шарттары мен адам ең жоғары тиімділігін қамтамасыз ететін еңбек процесін онтайландыру бойынша ұсыныстар әзірлейді;

**техникалық эстетика** — өнеркәсіптік өндіріс құралдарымен құралатын үйлесімді нысан ортасын қалыптастырудың әлеуметтік-мәдени, техникалық және эстетикалық мәселелерін зерттейтін ғылым;

- **технологиялық** болу, нақтырақ айтқанда, МЕМСТ 19.205 сәйкес сол мақсаттағы еңбек шығындары, құралдары, материалдар және өндірістің техникалық даярлығы, дайындау, пайдалануды және

жөндеудегі бұйымдардың бір типті конструкцияларының тиісті көрсеткіштерімен салыстырғанда аз болса, дайындау, пайдалану және жөндеудің қабылданған жағдайында сапа көрсеткіштерінің белгіленген мәндерін қол жеткізуді қамтамасыз ету;

*зияткерлік әлеуетке ие болу*, т. е. бұйым конструкциясында жаңа техникалық шешімдердің құқықтық қорғауын қамтамасыз ететін патенттік тазалық қабілеті болу және отандық және шетелдік ғылыми-техникалық жетістіктерді пайдалану тәртібін сақтауға;

беріктік пен орнықтылықтың берілген параметрлерді сақтау кезінде ең төменгі салмағы мен габариттік өлшемдер болуы;

«...пайдасына белгілі бір салада қызметін реттеу мақсатында және барлық мүдделі тараптардың қатысуы кезінде ережелерді белгілеу және қолдану бойынша іс-шаралар жүйесі» ретінде түсінетін *стандарттау* талаптарына жауап беру (МЕМСТ 1.0); стандарттау түрлері болып шектеу, типтеу, агрегаттау және біріздендіру табылады:

**шектеу** — қолданылатын бөлшектердің, материалдардың, жартылай фабрикаттар мен жинақтаушы бұйымдар номенклатурасын азайту мақсатындағы қаралатын жиынтықтың белгілі бірқатар объектілер түрлерінің жалпы санын қысқарту;

**типтеу** — бұйымдардың (үдерістер) бірқатары үшін ортақ техникалық параметрлері негізінде типтік конструкциялар немесе технологиялық процестер әзірлеу; типтеу үлгісі болып БНК негізіндегі РЭҚ конструкциялар әзірлеу табылады;

**агрегаттау** — дайындау үшін мамандандырылған өндірісі ұйымдастырылуы мүмкін функционалды аяқталған құрылғылар түрінде түрлі бұйымдарда пайдалану үшін жарамды жалпы тораптарды мүшелеп бөлу және құрылымдық ресімдеу; агрегаттаудың алғышарты болып табылады түйіндер мен модульдердің, схемалы және сындарлы біріздендірудің функционалдық және өлшемдік өзара ауыстырымдылықтың принциптеріне негізделген РЭҚ конструкцияларын жобалаудың базалық әдісі;

**біріздендіру** — рациональдық санды әрекеттегілердегідей функционалдық бірдей мақсаттағы объектілердің әзірленіп жатқан түрлерін белгілейтін және объектілер номенклатурасын қысқартуға бағытталған, демек, олардың сериялық өндіріске жарамдылығын арттыру, өндірістің еңбек сыйымдылығы төмендеуі, өнімнің сапасын арттырудың стандарттау әдісі.

## 2.6. РЭҚ көтеріші конструкциясы дамуы

РЭҚ тірек конструкциялары дамуы келесілердің әсерімен жүргізілді:

- РЭҚ ұрпақ ауысымы;
- РЭҚ пайдалану шарттары және қолдану облыстарын кеңейту;

• азаматтық және әскери мақсатта РЭҚ сериялық және жаппай өндірістерде артып келе жатқан мұқтаждық;

• РЭҚ сенімділік арттыру талаптары;

• РЭҚ конструкциялар мен технологиялардың автоматтандырылған жобалау әдістері мен құралдарының пайда болуы және дамуы;

• ішіндегі және модуль арасы коммутация тәсілдерін дамыту.

2.1. Кестеде РЭҚ бірнеше *ұрпағының* конструкцияларының ерекшеліктері көрсетілген. Әрбір жаңа ұрпақтың пайда болуы және дамыту кесте 2.1. жартылай қалың қаріппен белгіленген жаңа активті элементтің пайда болуына байланысты. РЭҚ әрбір ұрпағы үшін көтеруші конструкцияларының және монтаждау қосылыстардың өздерінің түрлері, оларды жобалау әдістері мен құралдары тән.

Ғылым мен техника саласындағы халықаралық кооперация конструкциялық жүйелерінің (КЖ) туындауына алып келген техникалық құралдардың (өлшеу, есептеуіш) электр және құрылымдық параметрлерін біріздендіруді талап етті

Кесте 2.1

| РЭҚ<br>ұрпағы | Белсенді элемент<br>типі                                                               | Көтеруші<br>конструкция түрі                                                 | Монтаждық<br>байланыс түрі                                                                  | Жобалау тәсілі<br>мен құралы                                   |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| I             | <b>Радиолампа,<br/>реле</b>                                                            | Жалпы шасси,<br>блок, тұрақ,<br>шкаф                                         | Көлемді монтаж,<br>дәнекерлеу, пісіру                                                       | Блокты,<br>колмен<br>басқарылатын                              |
| II            | <b>Транзистор,<br/>радиолампа</b>                                                      | Баспа платасы,<br>қаңқа, тумба,<br>тұрақ негізінде<br>ұяшық                  | Көлемді және<br>баспа монтаж,<br>баспа шығымы                                               | Функци<br>ональдық-<br>түйінді,<br>колмен<br>басқарылатын      |
| III           | <b>имс,<br/>транзистор</b>                                                             | Микрожинақ,<br>көпқабатты БП,<br>модуль, блок,<br>тұрақ                      | Баспа монтажи,<br>пісіру<br>«толқынмен»                                                     | Функци<br>онально-<br>түйінді,<br>САПР                         |
| IV            | <b>мпк</b>                                                                             | Көпқабатты<br>БП (32 қабат),<br>микрожинақ,<br>модуль, блок,<br>қаңқа, пульт | Баспа и беттік<br>монтаждау,<br>шлейф, кросс-<br>плата                                      | Функци<br>ональды-<br>модульді,<br>сквозные<br>САПР            |
| V             | <b>Програм-<br/>маланған БИС,<br/>микро<br/>электрониканың<br/>АЖЖ<br/>құрылғылары</b> | Көпқабатты БП<br>(4...8 қабат),<br>микрожинақ,<br>модуль, блок,<br>пульт     | Беттік монтаждау,<br>жалпақ шлейфтер<br>мен кабельдер,<br>талшық,<br>микросызықты<br>желісі | Функци<br>ональды-<br>модульді,<br>интегриро<br>ванные<br>САПР |

Жалпы «жүйе» деп кез келген тәсілмен мүшелеу кезінде жүйе бөлшектерінің бірде-бірі ие емес бірегей жүйелік қасиеті иеленген және бөлшектер қасиеттерінен шықпайтын кез-келген табиғат объекті (немесе кез-келген табиғатты, соның ішінде әр түрлі табиғат объектілер жиынтығы) аталады. Қазіргі РЭҚ мына белгілері көтергендіктен функционалдық және конструктивтік жүйелері болып табылады:

- оны құрудың қабылданған қағидаттарына сәйкес көптеген байланыстар (баспа монтажі, кабельдер) арқылы жоғары деңгей конструкциясына (блок, тумба) біріктірілген төменгі деңгейдегі көптеген конструктивтік элементтерінен (ЭРҚ, ұяшықтар, модульдер) тұрады;

- ықшамдаудың қабылданған принципіне сәйкес иерархиялық бағынышты құрылымдық деңгейлерінен тұрады;

- конструктивті деңгейлер арасында белгілі бір байланыс пен қарым-қатынас бар;

- пайдалану шарттарының сыртқы тұрақсыздандыру факторларының әсеріне қарсы тұратын мінез-құлық нақтылығына ие: МЕМСТ 21552 сәйкес механикалық және климаттық, МЕМСТ 18298 сәйкес радиациялық;

- басқа жүйе бөлігі болып табылады; өзіндік РЭҚ «конструкциясы» олардың материалдық іске асуы сияқты, РЭҚ жүйе бөлігі болып табылады; ақырында, «көтеруші конструкция» - олардың бірлесіп пайдалану үшін арналған төменгі деңгейдегі конструктивтік элементтерінің орналастырылуын және бекітілуін қамтамасыз ететін РЭҚ жалпы конструкциясының бөлігі;

- үнемі даму үстінде болады (жаңарту, моральдық және физикалық қартаю).

Бұрын болған отандық КЖ салалық болып табылған және бір-бірінен бірқатар белгілері бойынша айырылған — деңгейлерінің саны, олардың атауы мен мазмұны, конструкциялық күрделілігі. Өлшемдік қатарларында келісу болмауы түрлі КС конструкцияларының өзара алмасушылық мүмкін емес етіп жасады. КС біріздендіру үшін арналған қазіргі заманғы негіз құрылымдық иерархияның барлық түрлері нормалдастыратын Халықаралық электротехникалық комиссияның ХЭК 297 стандарты болып табылады.

## **2.7. Конструкциялық жүйелерін салу принциптері**

Конструкциялық жүйелер жинақтылық, варианттылық және өлшемді-модульдік үйлестіру принциптері негізінде салынған.

Жинақтылық принципіне сәйкес сындарлы иерархиядағы төменгі деңгейдегі конструкциялық элементтер жоғары деңгейдегі конструкциялық элементтерге «кіруі» тиіс; бұл ретте мынадай құрастыру белгілері бар РЭҚ конструктивтік элементтерінің

жинақтығының төрт деңгейін ажыратады:

1) баспа платалар, ұяшықтар бұйымдардың қалыстасу жазықтықтарының бірінде қатысатын және МЖИ кристалдарын, корпусталған НЖИ, дискретті ЭРК және бұйым конструкциясы қалыптасуында тікелей қатыспайтын микрожинақ құрастыру үшін арналған;

2) жабдықтың қосалқы қалыптасу белгілері бар блоктар, модульдер, құндақтар және оларға бірінші деңгейдегі элементтерді құрастыру үшін арналған;

3) дербес қалыптасу белгілері бар қаңқалар, панельдер, рамалары, тіреулер, шкафтар және бірінші және екінші деңгейдегі элементтерді құрастыру үшін арналған;

4) орнату нысаны — жылжымалы объект-тасушы радиотехникалық бірлестік бөлігінде, не жабық үй-жайда (ЭЕМ, қабылдау-тапсыру орталығы) орналастырылған үшінші деңгейдегі конструктивтік элементтердің топтық, функционалды байланысқан үйлесім.

КС варианттылық принципіне сәйкес конструктивтік элементтерінің шектеулі саны негізінде көптеген құрастыру шешімдерін жүзеге асыруға мүмкіндік береді — профильдер, бұрыштар, тұтастырғыш және т. б.

Өлшемді-модульдік үйлестіру принципіне сәйкес деңгейдегі КС элементтерінің барлық типтік өлшемдерін іске асыру стандартталған параметрлер негізінде мүмкін: өлшемді модуль  $m$  және өлшемдік сандардың бірқатары — жіктеудің рационалды шкаласы.

Өлшемдік модульдер мәндерінің мысалдары:  $m = 0,05$  мм — корпуссыз элементтердің микрожинағы үшін арналған;  $m = 0,5$  мм — ИМС и дискретті ЭРК микрожинағы үшін арналған;  $m = 2,5$  мм — екінші деңгейдегі конструктивті элементтерге арналған;  $m_H = 1,75'' = 44,45$  мм (H — элемент биіктігі),  $m_B = 60$  мм (B — элемент ұзындығы) — аралас дюйм-метрлік жүйенің конструктивтік элементтері үшін арналған.

Негізгі өлшемдік сандар қатарлары салалық стандарттармен реттелген және түрлі салалары үшін типоминалдың бірнеше сотын құрайды. Кез-келген кіру деңгейіндегі конструктивті элементтерде өздерінің габариттік, орнатушы және қосылған мөлшері қойылған. Сондай-ақ, мөлшерлер композициялық аяқталған нысанын, адам-оператордың антропометриялық сипаттамаларына оның сәйкестігін, сондай-ақ, онда бұйым орналастырылатын архитектуралық элементтеріне сәйкестігін қамтамасыз ете отырып бұйымдардың эргономикалық сипаттамаларын қалыптастыру құралы ретінде де қызмет етеді. «Аспап жасау стандарттарының Бірыңғай жүйесі. Типтік көтеруші конструкциялар. МЕМСТ 26.204 — 83» КЖ мысалында БП өлшемдік қатарлар қалыптастыру принципті қарастырайық.

Осы КЖ-де БП өлшемдік қатарлары мынадай түрде  $m_H$  және  $m_B$

модульдері арқылы плата биіктігі  $H$  және ұзындығы  $B$  қойылған модульдердің бұрын ескерілген аралас дюйм-метрикалық жұп негізінде қалыптастырылды:

$$H = km_H - 33,35 \text{ мм} \quad (k = 2, 3, \dots, 12);$$

$$B = 100 + lm_B \quad (l = 0, 1, 2, 3, 4).$$

$H$  биіктігі бойынша БП Барлық өлшемдері әрқайсысында БП биіктігінің өлшемі  $2m_H$ ,  $3m_H$ ,  $5m_H$ ,  $7m_H$  және  $11m_H$  модульдері бар арифметикалық прогрессия құрайтын бес қатарға бөлінген :

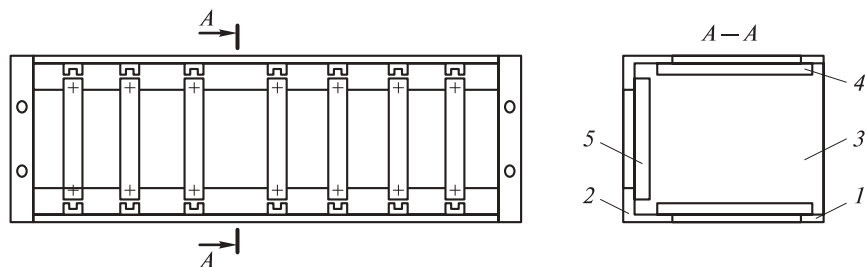
қатар 01 —  $2m_H$ ,  $4m_H$ ,  $8m_H$ ,  $12m_H$ ; қатар02 —  $3m_H$ ,  $6m_H$ ,  $9m_H$ ,  $12m_H$ ;

қатар 03 —  $5m_H$ ,  $10m_H$ ; қатар 04 —  $7m_H$ ; қатар05 —  $11m_H$ .

01 қатарға  $6m_H$  және  $10m_H$  қатар мүшелері енгізілмеген, өйткені олар 02 және 03 қатарына кіреді; пайдалану қолайлылығы үшін  $12m_H$  мүшесі 01 және 02 қатарына кіреді. келесі БП типтік өлшемдері көп таралды:

100,00 x 160; 100,00 x 220; 233,4 x 160 и 233,4 x 220 мм.

Бұйым конструкциясының соңғы құрастыру шешімі БП типтік өлшеміне жиі тәуелді болғандықтан, оларды таңдауы КЖ әзірлеу кезінде маңызды болып табылады. МЭК 297 ұсыныстар бойынша АЕМ-59, АЕМ-34, СҒҚ-51, СҒҚ-53 және ГРПМ-61 типті магистральдық қосқыштар  $H$  өлшемімен БП тарапында орналастырылуы тиіс. қосқыш түрін таңдау кезінде, сондай-ақ, бір байланыс жұбын мүшелеу үшін 0,4...1,2  $H$  күш-жігер қажет екенін есте ұстау қажет.



Сурет 2.2. Блокты қаңқа еигорасPRO:

1, 2 — тиісінше алдыңғы және артқы күрделі профильді рельстер; 3 — бүйір панельдер; 4 — бағыттауыштар; 5 — қосқыштар

Баска мысал Schroff фирмасының белгілі KJ eurorasPRO (стандарт МЭК 60297) болып табылады — евромеханиканың конструктивын әзірлеуге және өндіруге жетекші. eurorasPRO блок қаңқасының негізін (сурет 2.2, қарапайымдандырылған) бүйір панельдер 3 арасында жасалған төрт көлденең күрделі профильді рельс (алдыңғы 1 және артқы 2) құрайды; рельстерде алмалы-салмалы ұяшыққа арналған бағыттаушы 4 және олардың электр коммутациясы үшін қосқыштар 5 орнатылған. панельдер 3-тің тікбұрышты монтаждық фланецтері өнеркәсіптік электроника орналастыру үшін Еуропадағы ең танымал 19-дұймдық тағанда қаңқасын тіркеу мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

Блоктық қаңқалар мөлшері базалық өлшем бірліктерінде көрсетеді: ені HP (*horizontal pitch*, 1 HP = 5,08 мм), биіктігі U (*rack unit*, 1 U = 44,45 мм). Алмалы-салмалы ұяшықтар орналастыру үшін пайдаланылатын қаңқаның ішкі бөлігінің ені қатардан таңдалады 20, 40, 42, 63-84 HP. Қаңқа тереңдігін анықтаушы панельдер ені 60 мм қадаммен 175-тен 475 мм шегінде жатқан мәндер қатарынан таңдалады.

Әдейі жасалмаған кедергілерді тиімді басу қамтамасыз ету үшін қаңқаның бүкіл бетінің эквипотенциалдылығын қамтамасыз ете отырып, арнайы қақпақтар және жүргізетін төсеу пайдаланады, ал тиіп тұрған рельстердің беті және бүйір панельдерінде электр өткізгіштік қақпақ бар.

## 2. 8. Баспа плата конструкциясы және коммутация тәсілдері

Баспа платаларының (БП) құрылымдық, геометриялық және электрлік параметрлері бар. БП конструкцияларының барлық параметрлері өзара тәуелді: электрлік параметрлер, әсіресе, жоғары жиілікте трасса жолсерік сурет, саны мен бір-біріне қатысты әлеуетті және сигналдық қабаттардың орналасуы шектеулер жүктейді; өз кезегінде, құрылымдық параметрлер геометриялыққа, әсіресе, көп қабатты баспа платаларына (КБП) әсер етеді. БП электр параметрлеріне арнайы талаптар болмаған жағдайда, қабат санын таңдау және олардың орналасуы осы кәсіпорында меңгерілген КБП дайындаудың технологиялық процесіне тәуелді.

БП құрылымдық параметрлеріне диэлектрик және фольга қабаттарының жалпы саны және олардың мақсаты жатады; БП құрылымдық элементтері өткізгіштер мен саңылауларды, тесіктер, байланыс алаңдары, ЭРК астында орындықтар және экрандау беті (полигондар) болып табылады.

БП геометриялық параметрлеріне БП құрылымдық элементтерінің геометриялық өлшемдері жатады — өткізгіштердің қалыңдығы (фольга қалыңдығы), өткізгіштер мен саңылаулардың ені, байланыс алаңдары мен тесіктердің диаметрі, қабаттың қалыңдығы және жалпы БП.

БП электр параметрлеріне сигналдық қабаттарының баспа өткізгіштерінің кума параметрлері жатады —  $C_{\text{пор}}$ ,  $X_{\text{пор}}$  және  $R_{\text{пор}}$ , сондай-ақ абайсыз өзара кедергілер деңгейі тәуелді паразитных

сыйымдылық коэффициенттері және баспа жолсеріктер арасындағы индуктивті байланыстар. Қазіргі қолданбалы бағдарламалар пакеті РСADКБП стандартты өлшем және оны дайындаудағы автоматтандырылған технологиялар үшін қабаттардың санымен  $n = 32$ , өткізгіштер мен саңылауларды өлшемдерімен  $\sim 0,1$  мм КБП жобалауға мүмкіндік береді.

РЭҚ конструкцияларында тізбектердің ішкі және блок аралық коммутациясы үшін өткізгіштер қосылыстардың ажырамайтын және ашпалы тәсілдерімен электр монтаж қолданылады. Ішкі блок коммутациясының *ажырамайтын* қосылыстары монтаждық өткізгіштер немесе бұрауларды дәнекерлеу, *пісіру немесе орамалау* көмегімен орындалады; *ашпалы* қосқыштар ішкі және блок аралық коммутация үшін *қосылыстармен* аяқталатын көлемдік немесе жазық кабельдер көмегімен орындалады. Көлемді кабельдер қорғау (соның ішінде, экрандалған) қабығында көп желілі, оқшауланған өткізгіштерден орындалады; *жазық* кабельдер беріктігі қысыммен тексерілген, мата және баспа болады.

*Беріктігі қысыммен тексерілген* кабельдерді оқшаулау ретінде полиимидфторопласты, полиэтилен немесе поливинилхлорид пленкасы пайдаланылады; мұндай кабельдерде дөңгелек немесе қабысқан мыс сымның 30-ға дейін оқшауланған арқау бар. *Мата* кабельдер капрон жіп арқылы түптелген оқшаулауда (оның ішінде, әртүрлі қимасы және оқшаулаудың әр түрі) дөңгелек өткізгіштерден тұрады.

*Баспа кабельдер* жұқа фольгаландырылған диэлектрик негізінде жасалады; олардың өткізгіштері тесіктері немесе байланыс жапырақшасы бар металдандырылған байланыс алаңдарымен аяқталады. Монтаждау процесінде алдын-ала бекітілген беріктігі қысыммен тексерілген немесе мата кабель өзектерін БП металдандырылған тесік салады немесе істіктер бұрайды және пісіреді; баспа кабелін не металдандырылған тесіктермен монтаждау кезінде оны істіктерге кигізеді және пісіреді, не оның байланыс жапырақшаларын БП байланыс алаңдарына қаптамаға пісіреді.

*Қосқыштар* — өнімдерді ретке келтіру және пайдалану кезінде түйіндерді жедел ауыстыру үшін қолданылатын контактілі коммутациялық құрылғылар. Олардың ішіндегі электр қосылымы «кұрғақ» бу контактілер, тиісінше розеткаға және вилкада орналасқан «ұя — істік» қамтамасыз етеді. Қосқыштарды ішкі блоктық, блоктық және сыртқы деп ажыратады.

Баспа және көлемді монтаждау үшін *ішкі блоктық* қосқыштар (СНПЗ4, ГРПП72, РЛМИ және т.б.) Модуль немесе блок ішіндегі ұяшықтар коммутация үшін арналған. *Блокты қосқыштар* (РПКМ, РП14, РСГТ және т.б.) Қаңқа немесе тіреулер ішіндегі модульдер мен блоктар коммутациясы үшін арналған. *Сыртқы блокты* және кабельдік қосқыштар (2РМ, РС, СР және т.б.) Бұйымдардың құрамдас

бөліктерінің кеңістіктегі тараған коммутация үшін арналған. Қосқыштар түрін таңдау көптеген факторларға байланысты.

## 2.9. Конструкторлық құжаттама Стандарттау негіздері

Стандарттау - *бұйымдарды құру мен пайдалану кезінде қызметтің барлық түрлерін реттейтін ғылыми-техникалық заңдар жиынтығы*. Ресейде Мемлекеттік стандарттар (МЕМСТ), салалық стандарттар (ССТ) және мекеме стандарттарын (МСТ) қамтитын Мемлекеттік стандарттау жүйесі (МСТЖ) әрекет етеді.

Стандарттар туралы негізгі мәліметтер мемлекеттік стандарттар *Көрсеткіші Жіктеуіші* («бөлім — сынып — топ») қамтиды. Студенттерге курстық және дипломдық жобаларда қажетті стандарттар жүйесі кесте 2.2. Келтірілген.

Кей стандарттардың мазмұнының үлгісі.

МЕМСТ 1.0. «Терминдер мен анықтамалар. Оның әзірлеуін, өндірілуін және қолданылуын қамтамасыз ететін *өнім мен ережелерін* стандарттау объектілері деген «МСТЖ ұйымдастырушылық және әдістемелік негіздері». Стандарттар белгілей алады:

әдістер, терминдер, белгілер мен ғылым, техника, өндіріс және басқа да салаларындағы шаруашылық және халықаралық қатынастарда көп рет қолдану перспективасы бар басқалар;

өнімнің өмірлік циклінің әр түрлі кезеңдерінде үнемі дайындаушылар мен тұтынушылар арасында туындайтын және қайталанатын өндірістік-техникалық қарым-қатынастар; көбінесе негізгі тұтыну көрсеткіштері, сапасы бойынша талаптар және өлшемдік параметрлері, қабылдап алу ережелері, бақылау әдістері, таңбалау, орау, тасымалдау және сақтау, пайдалану және жөндеу ережелері, дайындаушының кепілдігі және т. б. қосылатын стандарттармен мен ТШ реттелген.

Стандарттау объектілеріне және орнатылатын талаптарына байланысты ажыратады:

стандарттау объектілерінің ұйымдық-техникалық *бірлігін*, сондай-ақ қызметтің түрлі салаларында басқарудың үрдістерінің бірлігі мен өзара байланысын қамтамасыз ететін жалпы талаптарды белгілейтін *ұйымдастыру-әдістемелік стандарттар*;

стандарттау объектінің ақпараттық үйлесімділігін және бір мәнді түсінуін, стандарттау объектілерінің техникалық бірлігін және өзара байланысын қамтамасыз ететін және жобалау, өнім дайындау және өндірудің және т.б. жалпы әдісін белгілейтін *жалпы техникалық стандарттар*.

| Стандарт жүйесінің атауы                                      | Жіктеуіш топ | Жүйенің стандарттарының мәні |
|---------------------------------------------------------------|--------------|------------------------------|
| Ұйымдастырушылық және әдістемелік негіздері ГССР              | T50          | МЕМСТ 1.XXX- шығу жылы       |
| Конструкторлық құжаттаманың бірыңғай жүйесі (ҚҚБЖ)            | T52          | МЕМСТ 2.XXX- шығу жылы       |
| Технологиялық құжаттаманың бірыңғай жүйесі (ТҚБЖ)             | T53          | МЕМСТ 3.XXX- шығу жылы       |
| Ақпарат, кітапхана, баспа ісі бойынша стандарттар жүйесі      | T63          | МЕМСТ 7.XXX- шығу жылы       |
| Өлшем бірлігін қамтамасыз ету мемлекеттік жүйесі              | T80 - T88    | МЕМСТ 8.XXX- шығу жылы       |
| Еңбек қауіпсіздігі стандарттарының жүйесі                     | T58          | МЕМСТ 12.XXX- шығу жылы      |
| Өндірістің технологиялық дайындығының бірыңғай жүйесі (ӨТДБЖ) | -            | МЕМСТ 14 . XXX- шығу жылы    |
| Бағдарламалық құжаттаманың бірыңғай жүйесі (БҚБЖ)             | T55          | МЕМСТ 19.XXX-шығу жылы       |
| Автоматтандырылған басқарудың бірыңғай стандарттар жүйесі     | T52          | МЕМСТ 24.XXX- шығу жылы      |
| Аспап жасаудың бірыңғай стандарттар жүйесі                    | П01          | МЕМСТ 26 . XXX- шығу жылы    |
| Автоматтандырылған жобалау жүйелерінің стандарттары           | -            | МЕМСТ 23501.XXX- шығу жылы   |

• өнімді біріздендіруді және өзара алмасуды, сондай-ақ өмірлік цикл кезеңінде тасымалдау және олардың айналымында өнімдерінің қасиеттерінің сақталуын қамтамасыз ететін өнімді әзірлеуге және өндіруге, типтікөлшемді және параметрлік қатарына жан-жақты қойылатын талаптарды белгілейтін *өнімге арналған стандарттар*.

МЕМСТ 2.0. «Конструктивтік құжаттаманың бірыңғай жүйесі (ҚҚБЖ)». ҚҚ барлық түрлеріне, сондай-ақ есепке алу-тіркеу, нормативті-техникалық және технологиялық құжаттамаға тараған ҚҚБЖ стандарттарының негізгі жиынтығы 183 Мемлекеттік стандарттарды қамтиды. ҚҚБЖ жүйесі негізгі стандарттары кесте 2.3. келтірілген.

КҚБЖ құрамдас бөліктері «КҚБЖ стандарттар жіктеуіші» болып табылады — MEMСТ 2.001 және «КҚБЖ жіктемесі» — MEMСТ 2.201.

Өнеркәсіптік және ауыл шаруашылығы өнімдерінің жалпы ресейлік жіктеуіші (ӨЖК) — бұл кәсіпорындар мен ұйымдармен дербес жеткізу мәні болып табылатын стандарттар мен ТШ бойынша елде барлық шығарылатын өнеркәсіптік және ауыл шаруашылық өнімдерінің кодтарының мен атауларының жүйеленген жиынтығы.

ӨЖК коды *өнім топтауының* алты разрядты кодтармен кодталған жіктеу бөлігінен (К - ӨЖК), және он разрядты ондық кодтармен кодталған ассортиментті бөлімінен (А — ӨЖК) тұрады. Өнімдерді кодтау мысалы кесте 2.4. келтірілген.

Кесте 2.3

| Стандарттар тобы                           | MEMСТ нөмірі  | Негізгі регламенттелетін сұрақтар                                          |
|--------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 0 . Жалпы ережелер                         | 2.001—2.034   | Мақсаты, қолданылу саласы және стандарттар кешенінің құрамы                |
| 1. Негізгі ережелер                        | 2.101—2.124   | Бұйымдардың түрлері және КҚ. Конструкторлық жұмыстарды ұйымдастыру тәртібі |
| 2 . Жіктелуі және бұйымдар жіктелуі мен КҚ | 2.201—2.203   | Жіктеуішке сәйкес ережелер                                                 |
| 3 . Орындаудың жалпы ережелері             | 2.301—2.321   | Сызбалардың формат, ауқымы және т. б. мөлшері                              |
| 4. Бұйымдардың сызбаларын орындау ережесі  | 2.401 —2. 430 | Бұйымдардың сызбаларын орындау ережесі, машина және аспап жасау            |
| 5 . КҚ ережелері                           | 2.501—2.506   | Сақтау, есепке алу, қайталануы және КҚ тапсыру ережелері                   |
| 6. Пайдалану және жөндеу құжаттамасы       | 2.601—2.609   | Орындау ережесі. Өзгерістер енгізу мен құжаттар жинақтылығы                |
| 7 . Схемаларын орындау ережелер            | 2.701—2.797   | Жіктеу және схемаларын орындау ережелері, шарттылық, оңайлату              |

|      |    |   |   |   |   |   |     |    |
|------|----|---|---|---|---|---|-----|----|
| 1    | 2  | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8   | 9  |
| АБВГ | 46 | 8 | 2 | 1 | 0 | 4 | 121 | СБ |

Кесте 2.4. жіктеу кеңістігінің позицияларының мынадай белгілері пайдаланылған.

Кәсіпорынның коды (ұйымның).

Сынып (сала белгісі), атап айтқанда, 46-шы сынып — «Радиоэлектроника, басқару, байланыс, навигация және есептеу техникасы құралы».

Бұйымдар түрі (жылжымалы, тұрақты, кірістірілетін).

Бұйымдар тұқымдасы (функционалдық мақсаты).

Бұйымның конструктивті белгісі (блок).

Қосымша пайдалану белгісі.

Түрін дамыту(жаңа, жаңғырту).

Бұйымның реттік нөмірі.

Құжат шифры («құрастыру сызбасы»).

Бұрын қолданылған пәндік белгілер жүйесінен КҚБЖ жіктеуіші 1970-ші жж. басында туындаған бұйымдардың алуандығын ескеретін функционалдық-салалық қағидат бойынша салынған.

### Конструктивті құжаттама түрлері

**Схемалар. Жіктелу.** Бейнеленетін физикалық процестердің Түрі бойынша схемалар электр (Э), гидравликалық (Г), пневматикалық (П), кинематикалық (К), оптикалық (Л), вакуумды (В), газ (Х), автоматтандыру (А) және аралас (А) болып бөлінеді.

Электр схемалардың мынадай түрлерін ажыратады: құрылымдық (Э1), функционалдық (Э2), принципті (Э3), қосылыстар (Э4), қосу (Э5), жалпы (Э6), орналасқан (Э7) және басқа да (Э8). Электр схемалары МЕМСТ 2.705 талаптарына сәйкес орындалады.

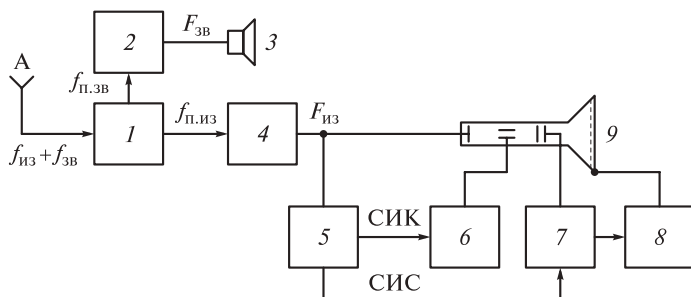
*Электр құрылымдық схема (Э1).* бұйымдардың негізгі құрылымдық бірліктерді, олардың мақсаты мен өзара байланысын көрсететін Конструкторлық құжат бұйымның құрылуы және жұмыс істеу принциптерімен таныстыруға арналған. Құрылымдық бірлік тікбұрыш және АҚБ түрінде орындалады, олардың атауын тікбұрыштың ішіне жазады немесе кесте түрінде ресімдейді.

Схеманың графикалық құруында бұйымдардың құрамдас бөліктерінің ретпен өзара іс-қимылы мен ақпарат негізгі ағыны өткені туралы көрнекілік болуы керек.

Телевизиялық сигналдарды қабылдағыштың құрылымдық схемасы фрагменті сурет 2.3. бейнеленген. Ақпараттың құрылымдық

схемасында көрсетілген элементтердің мөлшерлері мен мазмұны қатаң реттелмеген. Схема сипаттамасы техникалық жобада келтіріледі, мысалы келесі түрде: дыбыс сигналдарын көтеретін «А» антеннасынан және жиіліктері бар сурет  $f_{из}$  және  $f_{зв}$  преселектор 1 кіруіне түседі;  $f_{из}$  жиілігі бар дыбыс сигналға келтірілген преселектордың бір шығуынан шеткі құрылғы 3 түсетін  $F_m$  жиілігі бар жиілігі төмен сигналға келтіретін дыбыс 2 арнасына түседі; преселектордың басқа шығу жолы  $f_{п.из}$  жиілігі бар суреттің түрлендірілген сигналы электрондық-сәулелік түтік (ЭСТ) 9 басқарушы электродқа түсетін онда  $F_{из}$  жиілігі бар сурет видеосигналға түрленетін кескін 4 арнасына түседі; видеосигнал құрамында сондай-ақ, селектор 5 бөлінетін қашаудың кадрларды (СИК) және жолдарды (СИС) синхрондау импульсі; кадрлар және жолдар бойынша қашаудың басқарушы сигналдары құрылғылар 6 және 7 қалыптастырады. ЭСТ жұмысы үшін қажетті жоғары кернеу құрылғы 8 қалыптастырады.»

*Электр функционалдық схема (Э2).* Бұйымдардың құрамдас бөліктерінің бірінде сигналдың негізгі функционалды түрлендіруді көрсететін конструкторлық құжат. Схема сигналдың түрі мен параметрлерін ескере отырып, қажетті жол сигналдың (сигнал спектрі) функционалды түрлендіруінің нақты түрлерімен танысу шін арналған. Типті сүзу, күшейту, генерациялау, анықтау сияқты сигналдың функционалды түрлендіруін орындайтын схемалардың құрылғылары мен түйіндерін МЕМСТ 2.735 және МЕМСТ 2.737 бойынша УГО түрінде бейнелейді.



Сурет 2.3. Телевизиялық сигналдар қабылдағыштың құрылымдық схемасы фрагменті:

1 — преселектор; 2 — дыбыс арнасы; 3 — шеткі құрылғы; 4 — кескіндер арнасы; 5 — синхроимпульс селекторы; 6, 7 — басқарушы сигналдар қашауын қалыптастыратын құрылғы; 8 — жоғары қысымды қалыптастыратын құрылғы; 9 — электрондық-сәулелік түтік; А — антенна; СИК — кадр синхрондауы; СИС — жолдарды синхрондау

Теледидарлық сигналдардың дыбыс қабылдағыш арнасының функционалдық схемасының мысалы (фрагмент) сурет 2.4. келтірілген. Техникалық жобасында схема сипаттамасы мысалы түрде келесідей келтіріледі.

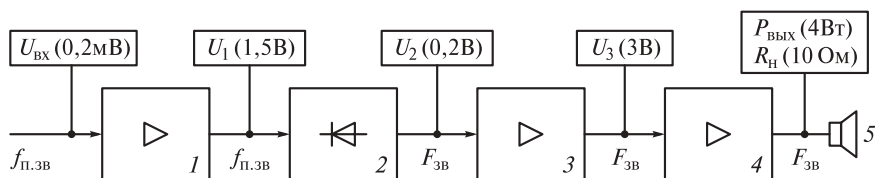
$f_{ПЗВ} = (6,5 \pm 0,02)$  МГц жиілігі бар жиіліктік-модульденген сигнал  $U_{вх}$  ЖЖ күшейткіштің 1 ( $K_1 = 7\,500$ , өткізу жолағы  $\Delta f = 0 \dots 10$  МГц) кіруіне түседі; жиіліктік детектор 2 жиілігі  $F_{ЗВ}$  бар пайдалы сигнал бөлу болады, түсетін кернеудің алдын ала төмен жиілікті күшейткіштің кіру жолына 3 ( $K_2 = 15$ , өткізу жолағы  $\Delta F_{ЗВ} = 20 \dots 1 \cdot 10^4$  Гц); күшейткіш пайдалы сигналдың 4  $P_{вых}$  шығу қуатын кемінде 4 Вт ... жүктемеде (дауыс зорайтқыш 5,  $R_n = 10$  Ом) қамтамасыз етеді.»

*Электрлік принципалды сызба (ЭЗ).* Әрбір функционалды торап немесе құрылғы үшін ЭРК толық құрамы және олардың арасындағы байланыс айқындайтын конструкторлық құжат, ал функционалдық жүйе (кешен) үшін — түйіндері мен құрылғылар құрамы және олардың арасындағы байланыс.

Схема-ЭЗ бұйымдардың жұмыс істеуі, жұмыс режимдері туралы толық көрініс береді, бұйым конструкциясын әзірлеу үшін бастапқы құжат болып табылады. ЭРК АҚБ түрінде бейнеленеді (1 бөлімді қараңыз).

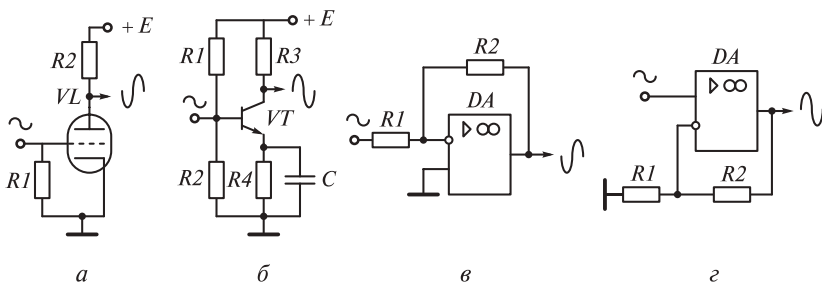
Телевизиялық қабылдағыштың дыбыс сигналы күшейткішінің принциптік схемалар мысалдары сурет 2.5.бейнеленген. Схема параметрлерінің сипаттамасы және есептеу техникалық жобасында, мысалы, келесі түрінде (сурет 2.5., б қараңыз) келтіріледі: «төмен жиілікті күшейткіш  $VT$  транзисторында жалпы эмиттермен схема бойынша енгізілген. Оның күшейту коэффициенті  $K \sim SR3$ , мұндағы  $S$  — транзистордың кіру сипаттамаларының жары. Резисторлар  $R1$ ,  $R2$  және  $R4$  жұмыс нүктесінің ережесін қояды және температура өзгеруі кезінде тұрақтылықпен қамтамасыз етеді. Конденсатор  $C$  ауыспалы ток бойынша кері теріс байланыс жояды».

Э1, Э2 және Э3 схемалары шығару кезінде міндетті түрде ілеспе құжат элементтер Тізімі болып табылады, МЕМСТ 2.710 бойынша орындалған кесте болып келеді,



Сурет 2.4. телевизиялық сигналдар қабылдағыштың дыбыс арнасының функционалдық схемасының фрагменті:

1 — ЖЖ күшейткіш; 2 — жиілік детектор; 3, 4 — күшейткіштер; 5 — дауыс зорайтқыш



2.5-сурет. Дыбыс сигналын күшейткіштің принципіалды сызбасының үлгісі:

а — шамды; б — транзисторлы; в — операциялық терістеуші күшейткіш негізінде;  
г — операциялық терістеуші емес күшейткіш негізінде

онда негізгі жазбалар (стандарт бойынша) түрінде олардың атаулары мен белгілерін көрсете отырып, схемада бейнеленген барлық элементтерге назар аударылуы тиіс. Сурет 2.5. б келтірілген схема үшін элементтер тізімі сурет 2.6. көрсетілген.

**Сызбалар.** Сызбаларды орындаудың жалпы ережелері үшінші топтағы КҚБЖ стандарттарын реттейді — МЕМСТ 2.301 және т.б.

**Құрастыру сызбасы (ҚС).** Оны құрастыру және бақылау үшін арналған құрастыру бірлік және қажетті деректердің суретін қамтитын конструкторлық құжат:

- бөлшектер түйісу түрлері мен тәсілдері туралы нұсқаулар;
- ажырамайтын қосылыстарды орындау тәсілдері туралы нұсқаулар;

| поз.белгісі                     | Атауы                                       | Саны | Ескерту |
|---------------------------------|---------------------------------------------|------|---------|
| <i>C</i>                        | Конденсатор К 10-17-16-Н90-В ОЖО.460.172 ТУ | 1    |         |
|                                 | Резистоптар 02-23 ОЖО.467.081 ТШ            |      |         |
| <i>R1, R2</i>                   | C2-23-0,25-15 к± 10%-А-В-В                  | 2    |         |
| <i>R3</i>                       | 02-23-0,25-4,7 к± 10%-А-В-В                 | 1    |         |
| <i>R4</i>                       | 02-23-0,25-200 + 10%-А-В-В                  | 1    |         |
| <i>VT</i>                       | Транзистор КТ315А ФЫ0.336.210 ТШ            | 1    |         |
| АБВГ.ХХХХХХ.001 ПЭЗ             |                                             |      |         |
| Элементтер тізімі НЧ Күшейткіші |                                             |      |         |

Сурет 2.6. ЭЗ сызбасы үшін элементтер тізбесін ресімдеу мысалы

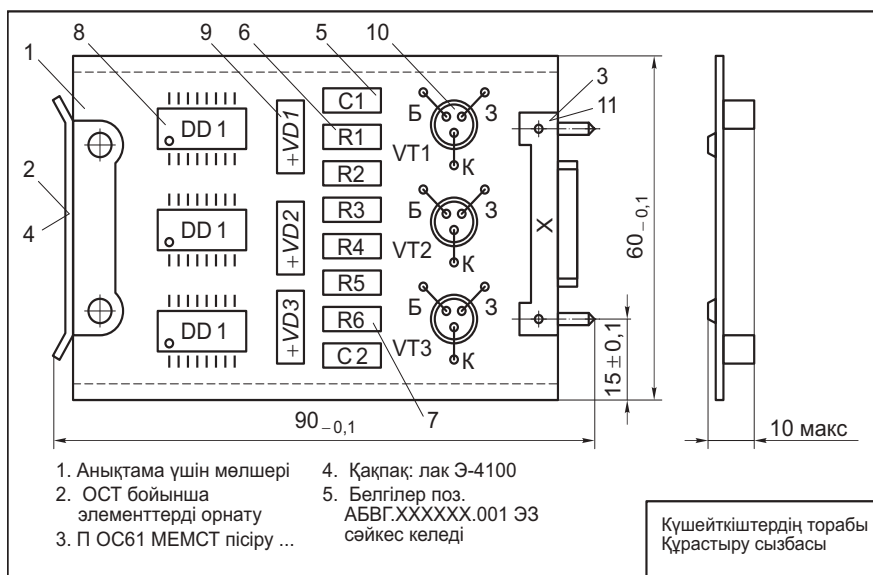
- құрастыру сызбасы бойынша орындалған немесе бақыланған өлшемдер, шекті ауытқулар және басқа параметрлер мен талаптар;
  - габариттік, қосу, орнату және басқа анықтамалық өлшемдер;
  - құрастыру бірлігінің құрамдас бөліктерінің позиция нөмірлері.
- Құрастыру сызбаларының орындау ережесі МЕМСТ 2.109 берілген. Құрастыру сызбаның орындалу үлгісі сурет 2.7. келтірілген.

Құрастыру бірліктің құрамдас бөліктерінің атауы мен белгісі мәтіндік құжатта келтіріледі — МЕМСТ 2.108 белгіленген *ерекшелік*, толтыру нысаны мен тәртібі.

Жалпы жағдайда ерекшелік белгілі бір кезекпен орналасқан бөлімдерден тұрады: құжаттама, кешендер, құрастыру бірліктері, бөлшектер, стандартты бұйымдар (стандарттар бойынша жасалған), өзге де бұйымдар (техникалық шарттар бойынша дайындалған) материалдар, комплектілер.

*Бөлшектер сызбасы.* Дайындау және бақылау үшін қажетті бөлшектер кескіні мен мәліметтерден тұратын негізгі конструкторлық құжат. Бөлшектердің сызбаларын орындау ережелері МЕМСТ 2.109 берілген.

**Мәтіндік құжаттар.** Мәтіндікке тұтас мәтінен тұратын құжаттар жатады — түсіндірме хат, есеп, техникалық шарттар, нұсқаулық (пайдалану, күйге келтіру бойынша), бағанға бөлінген мәтіннен тұратын сынақ бағдарламасы мен құжаттар — ерекшелік, элементтер тізімі, сатып алынатын бұйымдар тізімдемесі.



2.7. сурет Күшейткіштер торабының құрастырма сызбасының фрагменті

Оларды орындау ережелері МЕМСТ 2.105 регламенттелген.

*Түсіндірме жазба (ТЖ).* Қажетті конструкторлық графикалық құжаттар қосымшасы бар бұйым жобасын әзірлеу (нобайлық, техникалық) нәтижелері туралы мәліметтерді қамтиды. ТЖ мынадай бөлімдерден тұрады: кіріспе, мақсаты, қолдану аймағы, техникалық параметрлері, сипаттамасы және қабылданған техникалық шешімдер негіздеу, бұйымдардың параметрлерінің ТШ талаптарына сәйкестігін растайтын есептер, оның ішінде еңбек қауіпсіздігі бойынша экономикалық және экологиялық талаптар, қорытынды, тізімі ақпарат көздері, қосымшалар.

Колледж студентінің бітіруші біліктілік жұмысының ТЖ-да осындай құрылым болуы тиіс.

Құжатта мәтінді түсіндіру үшін суреттер мысалға келтіріледі — суреттер деп аталатын МЕМСТ 2.105 және МЕМСТ 2.319 бойынша орындалатын суреттер, фотосуреттер, сызбалар, диаграммалар.

*Ғылыми-зерттеу жұмысы туралы есеп.* Теориялық және (немесе) эксперименттік зерттеу проблемаларын орындау барысында алынған нәтижелер туралы жүйеленген мәліметтерді қамтитын ғылыми-техникалық құжат.

Талаптар, мазмұны және есептің орындалу ережесі МЕМСТ 7.32. регламенттелген. Есепте мынадай құрылымдық бөліктер болуы тиіс: негізгі бет; орындаушылар тізімі; реферат; мазмұны (бөлімдер мен тараулар); шартты белгілер, таңбалар, бірліктер мен терминдер тізбесі; кіріспе, негізгі бөлім; қорытынды және тұжырымдар; пайдаланылған ақпарат көздері; қосымшалар.

### **Бақылау сұрақтары**

Құрылымдық күрделілігі бойынша РЭҚ ықшамдау деңгейлері деген не? «Негізгі көтеруші конструкциялар» жай ғана «көтеруші конструкцияларынан» немен ерекшеленеді?

Жаңа «белсенді элемент» пайда болуымен РЭҚ көтергіш конструкциялары түрі қалай өзгерген?

РЭҚ конструкциялық жүйелердің құруында қандай принциптер негізінде жатыр?

Күрделі жүйесіне анықтама беріңіз; мысал келтіріңіз және РЭҚ күрделі жүйелерге және олардың конструкцияларына тиесілігін негіздеңіз.

Бұйымдардың «жұмыс қабілеттілік облысы» дегеніміз не?

Өндіріс факторларының РЭҚ параметрлеріне не әсер етеді?

Пайдалану шарттарының факторларының РЭҚ параметрлеріне не әсер етеді?

ОКР жобалау сатысының негізгі кезеңдерін атаңыз.

ОКР жұмыс сатысының негізгі кезеңдерін атаңыз.

**Радиоэлектрондық құралдардың жылу режимдерімен  
қамтамасыз ету**

**3.1. Жалпы мәліметтер**

РЭҚ жылу алмасу Проблемалары бірнеше факторлармен түсіндіріледі. Біріншіден, жүргізілген РЭҚ-қа бір бөлігі ғана кіріс сигналы мен қоректендіру көздерінің жиынтық қуаты пайдалы қуаты түрінде жүктемеде бөлінеді; оның қалған бөлігі олардың сенімділігін және РЭҚ тұтастай алғанда қызмет мерзімін төмендететін ЭРК қосымша қыздыру мен температураның жоғарылауына әкеліп, РЭҚ корпусының ішінде жылу энергиясы түрінде бөлінеді. Осылайша, қоршаған кеңістікке РЭҚ корпусының ішкі облыстардан жылу бөліну проблемасы әрқашан болады [7].

Екіншіден, жекелеген ЭРК (мысалы, кварцты резонаторларды) қалыпты пайдалану үшін.

Кеңістіктің тұйық облысында және қоршаған ортаның температурасы айтарлықтай өзгерген кезде өте тар температуралар аралығында режимнің тұрақты температурасын ұстап тұру қажет. Осылайша, РЭҚ жылу режимін тұрақтылау проблемасы бар.

Үшіншіден, жекелеген ЭРК өзіндік шулардың деңгейін төмендету мақсатында, криогенді техниканың арнайы құралдар көмегімен ғана мүмкін өте төмен температураға дейін салқындату қажет.

Жылу алмасу процестеріне ерекше көңіл РЭҚ микроминиатюризация проблемасына негізделген, өйткені бұйымдардың шағын көлемінде айтарлықтай жылу ағынының бөлінуі РЭҚ тығыздығын арттыруда кедергі жасайды, қажетсіз жылу байланыстардың пайда болуына әкеледі, әсіресе тез-қолданыстағы НЖИ.

Өйткені кез келген материалдық жүйе өзі жылу ортамен (минимум энтропия) тепе-теңдікке ұмтылғандықтан, онда РЭҚ конструкцияларды жобалау міндеттері көрсетілген проблемалар тұрғысынан болып табылады:

- белгілі жылуалмасу механизмі есебінен қоршаған кеңістікке РЭҚ конструкцияларының ішкі облыстарынан жылу ағынын көшіру тиімділігін арттыру;
- қоршаған ортаның температурасы маңызына қарамастан, РЭҚ конструкцияларының кеңістігінің тұйық облысында берілген температуралық режиммен қамтамасыз ету;
- жинақы және тиімді суыту құрылғыларын әзірлеу және пайдалану.

### 3.2. Жылуалмасу механизмдері

Жылуалмасу үш механизмі белгілі (сурет 3.1):

- кондуктивті - физикалық денелердің жылу өткізгіштік қасиеттері есебінен; вакуумнан басқа кез-келген ортада мүмкін;
- конвективті - жылу тасығыш ағынымен қызған дененің айналып ағу есебінен; сұйық және газ тәрізді орталарда мүмкін;
- сәулелік - ИҚ диапазонында электромагниттік толқындардың энергиясының денесі арқылы сәулелену есебінен; кез келген оптикалық мөлдір ортада, соның ішінде вакуумда мүмкін.

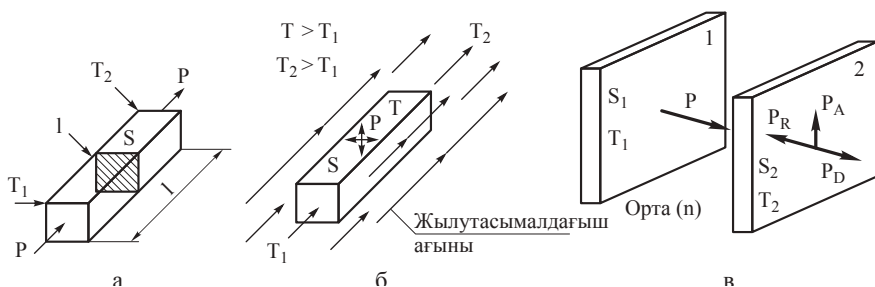
Жылуалмасудың осы механизмдерін сипаттау үшін арналған ең қарапайым аналитикалық модельдің мынадай түрі бар:

$$P = \alpha_{\text{эфф}} S \Delta T, \quad (3.1)$$

$P$  — бұрылмалы жылу ағыны, Вт;  $\alpha_{\text{эфф}}$  — жылу алмасудың тиімділігін сипаттайтын коэффициент, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $S$  — жылу алмасудың бетінің ауданы, м<sup>2</sup>;  $\Delta T$  — екі изотермиялық беттер арасындағы температураның түсіп кетуі, К.

Қарапайым және неғұрлым күрделі модельдер негізінде РЭҚ-да жылу процестерінің параметрлерінің инженерлік есептеулері келесілерді айқындау үшін орындалады:

- жылу өрісі параметрлері;
- РЭҚ конструкциясы элементтерінің конструктивтік ( $S$ ) және физикалық ( $\alpha_{\text{эфф}}$ ) параметрлерінің шығыстарын барынша азайтатын жылу алмасу процесіне қатысатын немесе бөлінген жылу ағыны  $P$  берілген мәнінде өзгеріссіз маңызы  $\Delta T$  қолдайтын кезінде және бұл ағыны таралған қабылданған моделінің ортасы.



Сурет 3.1. Жылуалмасу механизмдері:

$a$  — кондуктивті ( $P$  — жылу ағыны;  $T_1, T_2$  — шектер температурасы;  $S$  — қима ауданы;  $l$  — ұзындығы;  $X$  — материалдың жылуөткізгіштігінің коэффициенті);  $b$  — конвективті ( $S, P, T$  — тиісінше, жылу ағыны мен қыздырылған дене температурасының сәуле тартатынбет ауданы;  $T_1, T_2$  — қызған денемен өзара іс-қимылына дейінгі және өзара іс-қимыл кейінгі жылу тасығыш ағынының температурасы);  $в$  — сәулелену есебінен денелердің өзара жылу іс-қимыл схемасы (1, 2 — дене)

Жылу есептеулер практикасында елеулі орынды жуықталған аналитикалық, графика-аналитикалық және сандық әдістер, математикалық, физикалық және имитациялық модельдеу әдістері мен ұқсастықтар әдісі алады. Жылу беріліс механизмдерін нақтырақ қарастырайық және  $\alpha_{\text{эф}}$  коэффициенті үшін олардың әрқайсысына өрнек табамыз.

### Кондуктивті жылуалмасу

Кондуктивті жылу алмасу әр түрлі температурадағы дененің айтқасқан бөлшектері арасында жүреді (сурет 3.1, а).

Кондуктивті жылуалмасу процесінің аналитикалық сипаттамасы бір өлшемді изотропты ортада таралатын және оның геометриялық және жылуфизикалық параметрлерін стационарлық жылу ағынының сипаттамаларын мына теңдеумен байланыстырған Ж. Б.-Ж. Фурье (1822) іргелі заңында негізделеді

$$Q = \lambda(T_1 - T_2) \frac{S}{l} t, \quad \text{немесе} \quad P = \frac{Q}{t} = \lambda(T_1 - T_2) \frac{S}{l}$$

$Q$ — уақыт ішінде үлгі арқылы жіберілетін жылу  $t$ ;  $T_1, T_2$  — тиісінше үлгідегі «ыстық» және «суық» қима температуралары;  $S$ — үлгінің қима ауданы,  $\text{м}^2$ ;  $l$ — үлгінің қима ұзындығы,  $\text{м}$ ;  $P$  — жылу ағыны,  $\text{Вт}$ ;  $X$  — үлгідегі материалдың жылу өткізгіштік коэффициенті,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

$P$  және  $T$  жылу шамасын  $I$  электр тоғы және  $U$

тиімділігіне қоюға сәйкес электр жылулық ұқсастық түсінігіне сүйене отырып, жылу тізбектері учаскесі үшін Ом заңын түріндегі Фурье заңын ұсынамыз:

$$P = \frac{T_1 - T_2}{l / (\lambda S)} = \frac{T_1 - T_2}{R_T} \quad (3.2)$$

Сонда физикалық мағынасы бойынша  $R_T$  параметрі жылу тізбек учаскесінің жылулық кедергісі болып табылады, ал  $l/\lambda$  — меншікті жылулық кедергісі. Кондуктивті жылуалмасу процесінің мұндай ұсынысы электр тізбегін есептеудің топологиялық модельдермен, белгілі әдістермен ұсынылған жылу тізбектерінің параметрлерін санауға мүмкіндік береді.

кондуктивті жылуалмасу  $\alpha_{\text{эф}} = \alpha_{\text{кд}} = \lambda/l$  үшін өрнектерді салыстырудан (3.1) және (3.2) шығады. Осылайша, жылу беріліс процесін тиімділігін арттыру үшін, тізбектері ұзындығын  $l$  қысқарту жылу және оның жылу өткізгіштігін  $\lambda$  ұлғайту қажет. Кейбір материалдар үшін  $\lambda$  мәні: мыс — 380; гетинакс — 0,17; ауа —  $2,6 \cdot 10^{-2}$  су — 0,6; брокерит (BeO негізіндегі керамика) — 250  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ .

Жылуалмасудың кондуктивті механизмінің іс-қимылы арқасында

$P$  жылу ағыны РЭЖ жылу бөлетін элементтерінен бетінің үлкен ауданы бар конструкцияның перифериялық элементтеріне көшіріледі. Бұдан әрі ағын конвективті және сәулелік жылуалмасу механизмдері есебінен қоршаған кеңістікте қолданылады.

### Конвективті жылуалмасу

Конвективті жылу алмасу (сурет 3.1, б) күрделі физикалық процессті білдіреді, онда қоршаған кеңістікке қыздырылған дененің бетінен жылу ағынын ауыстыру жылукөтергіш ағыны есебінен жүреді — сұйықтық немесе газ — қыздырылған денеден төмен температурамен. Бұл ретте температуралық өріс параметрлері және конвективті жылу алмасу қарқындылығы жылукөтергіш қозғалысы, оның жылу физикалық параметрлерін, нысандары мен мөлшерін дене сипатына тәуелді.

Жылу тасымалдағыштың ағын қозғалысы табиғи және мәжбүрлі конвекция құбылыстарына сәйкес еркін және амалсыз болуы мүмкін. Ағын қозғалысының, сондай-ақ, ламинарлық және турбулентті режимдерін ажыратады, сондай-ақ қозғалыс ағынын анықтайтын күш арақатынасына тәуелді олардың аралық жағдайы — ішкі үйкеліс, тұтқырлығы және инерция күштері. Конвективтімен бір мезгілде жылу тасығыштың жылу өткізгіштігі есебінен кондуктивті жылу алмасу жүреді. Алайда, сұйықтар мен газдардың жылу өткізгіштігінің коэффициентінің салыстырмалы шағын мәні кесірінен оның тиімділігі төмен. Жалпы жағдайда, бұл жылуалмасу механизмін Ньютон—Рихман заңы сипаттайды:

$$P = \alpha_{KB} S (T_1 - T_2) \quad (3.3)$$

$\alpha_{KB}$  — конвекциямен жылу беру коэффициенті, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $S$  — жылуалмасу беті, м<sup>2</sup>;  $T_1, T_2$  — қабырға және жылу тасығыш температурасы.

Ньютон —Рихман заңын сыртқы қарапайымдылығы сипаттау кезінде конвективті жылуалмасу процесінің тиімділігін сандық бағалау күрделілігі мынада: коэффициентінің мәні акв көптеген факторларға байланысты және  $a_j$  процесінің көптеген параметрлер функциясы болып табылады.  $\alpha_{KB} = f(a_1, a_2, \dots, a_j, \dots, a_n)$  айқын түрінде тәуелділік табу жиі мүмкін емес, өйткені процесс параметрлері температураға да тәуелді.

Әрбір нақты жағдай үшін бұл мәселені шешуге ұқсас құбылыстар мен олардың ұқсастығын белгілеу әдістері қасиеттерін зерттейтін ұқсастық теориясы көмектеседі. Сондай-ақ, күрделі физикалық процестердің ағуы олардың жекелеген физикалық және геометриялық параметрлері емес, мөлшерсіз сатылы кешендері - әрбір процесс ағымы

үшін маңызды параметрлерден жасалған ұқсастық критерийлері анықтайтыны дәлелденген. Сол кезде процестің математикалық сипаттамасы азайтатын жасау осы критерийлерден жасауға тура келеді, оның біреуі құрамында осындай процестің кез-келген түріне әділ критериялды теңдеулердің ізделіп отырған шама ақв бар. Егер критерийлерді құрастыру мүмкін болмаса, процестің қандай да бір маңызды параметрі қарастырылмай қалды, немесе процестің қандай да бір параметрі үлкен зиян жоқ қараудан алынуы мүмкін дегенді білдіреді.

Критериалдық теңдеулер түрінде эксперименттік зерттеулер нәтижелерін өңдеу әлдеқайда оңай, өйткені зерттеуші шектеулі параметрлер санымен ісі болады, кіретін ұқсастық критерийі жататын өлшеу. Сол критериалды теңдеулер түрі белгілейді эмпирикалық түрде үлкен тәжірибенің салдарлар негізінде орнатады. Сонымен қатар, алынған теңдеулер барлық ұқсас құбылыстар үшін әділ (геометриялық ұқсастық, физикалық процестердің сапалы біркелкілігі). *Еркін конвекция* режимінде конвективті жылуалмасуда коэффициент  $\alpha_{\text{кв}}$  мәнін анықтау үшін ұқсастық теориясының әдістерін қолданайық. Жылуалмасу процесінің ағымына осы режим үшін елеулі әсерін жеті ауыспалы параметрлерін ( $n=7$ ) көрсетеді: жылу тасығыштың жылу өткізгіштік  $\lambda$ , Вт/(м·К) коэффициенті; жылу тасымалдағыштың кинематикалық тұтқырлық коэффициенті,  $\nu$ , м<sup>2</sup>/с; жылу тасымалдағыштың тығыздығы  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>; - жылу тасымалдағыштың меншікті жылу сыйымдылығы  $c$ , Дж/(кг·град); жылу тасымалдағыштың көлемдік кеңею коэффициенті,  $\beta$  1/К; ыздырылған дененің және жылу тасымалдағыштың температура айырмашылығы  $T_1$  және  $T_2$ ; айқындайтын, қабылданған дене нысаны үшін  $L$  өлшемі, м. Берілген айнымалылардың мөлшерлігі деректер құрамында төрт (жетіден) негізгі мөлшерден тұрады ( $k=4$ ) — «килограмм», «метр», «секунд», «градус».

Осылайша, осы айнымалылардан үш ( $n - k = 7 - 4 = 3$ ) мөлшерсіз кешен немесе дәстүр бойынша белгілі физик есімдерімен аталған критерийлер жасалуы мүмкін: конвективті және кондуктивті жылуалмасу тиімділік қатынасын сипаттайтын критерий Нуссельта ( $Nu$ ):  $Nu = \alpha_{\text{кв}} L / \lambda$  жылу тасымалдағыштың жылуфизикалық параметрлерін сипаттайтын Прандтля критерийі ( $Pr$ ):  $Pr = \nu \rho c / \lambda$ ; еркін конвекция кезіндегі көтергіш күш және ауырлық күш қатынасын сипаттайтын критерий Грасгофа ( $Gr$ ):  $Gr = g \beta L^3 \Delta T / \nu^2$  Критерий Нуссельта тәуелді болып табылады, өйткені құрамында ізделіп отырған параметр ақв бар; қалған критерийлер тәуелсіз, айқындаушы болып табылады.

Осылайша,  $\alpha_{\text{кв}} = f(a_1, a_2, \dots, a, \dots, a_n)$  түрінің бастапқы теңдеуін үш мөлшерсіз кешенді байланыстыратын теңдеулер түрінде көрсетуге болады: *ұқсастық теңдеуі немесе критериальды теңдеу деп атайтын*  $Nu = f(Gr, Pr)$ .

| Gr-Pr                                | C     | n   | Еркін конвективті жылуалмасу<br>режимі |
|--------------------------------------|-------|-----|----------------------------------------|
| $1 \cdot 10^{-3}$ кем                | 0,5   | 0   | Пленкалық                              |
| $1 \cdot 10^{-3} \dots 5 \cdot 10^2$ | 1,18  | 1/8 | Төменламинарлық                        |
| $5 \cdot 10^2 \dots 2 \cdot 10^7$    | 0,54  | 1/4 | Қарқынды-ламинарлық                    |
| $2 \cdot 10^7 \dots 1 \cdot 10^{13}$ | 0,135 | 1/3 | Турбулентті                            |

Сатылы критериалды тендеулер соңғы түрі эксперименттік жолмен анықталады. Бір айқындаушы өлшемі (қабырға, шексіз цилиндр, шар) бар дененің еркін конвективті жылуалмасу процесі үшін критериалдық тендеудің келесідей түрі бар:

$$Nu = C(Gr \cdot Pr)_m^n \quad (3.4)$$

C және n—экспериментті түрде табылған эмпирикалық коэффициенттер, тәжірибеде ажыратылған еркін конвективті жылуалмасудың төрт режимдер үшін: пленкалық, төменламинарлық, қарқынды-ламинарлық және турбулентті;  $m$  — температура үшін жылу тасымалдағыш параметрлерінің белгісін таңдайтынын көрсететін индекс  $T_m: T_m = 0,5 (T_1 + T_2)$ .

Әрбір нақты жағдайда Gr-Pr шығарма есептелген мән бойынша жылу алмасу процесін төрт режимдердің бірімен теңестіру қажет. Бұл үшін кесте 3.1. C және n коэффициенттерінің мәнін табу, оларды тендеуге қою (3.4) және  $\alpha_{\text{кв}}$  қатысты шешу талап етіледі. Ньютон—Рихман тендеуіне  $\alpha_{\text{кв}}$  мәнін қойып, бір белгісіз параметр анықтауға болады: не температура әртүрлілігі  $\Delta T$  кезінде, не температура айырмашылығы  $\Delta T$ , не жылуалмасу ауданы S кезінде S белгілі бір бетінен бұрылатын максималды жылу ағыны P.

### Сәулеленумен жылу алмасу

Жылу сәулеленудің физикалық үрдісі (3.1 сур., в) заттар бөлшектерінің кинетикалық энергияға біртіндеп, олардың қозу күйіне айналуымен байланысты, тізбетеліп ол 0,1...100,0 мкм толқын диапазонында электр магнитті сәулелену энергиясына айналады. Өз кезегінде, екі немесе одан да көп денелердің арасында сәулеленумен жылу алмасудың құрамына кіреді:

- P сәулелі ағын қуатының  $I(S_b, 7)$  денесімен сәулелену;
- n оптикалық тығыздық ортасында осы ағынның таралуы;
- $2(S_2, T_2)$  дене реакциясы— бөлшектің шағылуы (PR), ағынды

жұтылу( $PR$ ) және өткізу( $P_D$ ).

Сәулеленумен жылу алмасуды сараптау кезінде, денелердің арасында пайда болатын салдарлы сәулелену ағыны анықталады

$$P_{12} = \alpha_n S_{12} (T_1 - T_2),$$

мұнда  $\alpha_n$ —коэффициент, сәулеленумен жылу алмасудың тиімділігін сипаттайды;  $S_{12}$ — сәулелені өзара бетінің алаңы.

Дене буы үшін  $\alpha_n$  мәнін есептеу: *абсолютті қара дене* (АҚД) және «сұр» дене, олардың сәулелену( $\epsilon$ ), *жұту*( $A$ ), *шағылдырғыш* ( $R$ ) және *өткізу*( $D$ ) жылу сәулеленуі заңдары мен түсініктерінің іргетасты заңдарына негізделген:

$$\epsilon = E/E_0; A = P_A/P; R = P_R/P; D = P_D/P; E = dP/dS,$$

мұнда  $E, E_0$  —  $T$  температурасы кезінде «сұр» және АҚД –мен пайда болатын нсәулелену ағындарыдың тығыздығы, Вт/м<sup>2</sup>.

АҚД — бұл шартты дене, ол таралу бағытына, спектральды құрамы мен поляризация күйіне қарамастан оған түсіп тұрған сәулеленуді толығымен жұтады.

*Кирхгофа заңы* сәулелену және жұту қабілеттерінің арасында байланыс орнатады:

$$\frac{E_1}{A_1} = \frac{E_2}{A_2} = \dots \frac{E_n}{A_n} = E_0,$$

Мұннан,  $E_n/E_0 = A_n$ ; онда,  $e_n = E_n/E_0$  екендігін ескере отырып,  $\epsilon_n = A_n$ , немесе  $\epsilon = A$ , деп, жазуға болады яғни дененің сәулелену және жұту қабілеттері бірдей.  $\epsilon$  іс жүзіндегі параметрі дене қаралығын сипаттайды.

Кирхгоф заңының салдары: АҚД –дің сәулелену және жұту қабілеттері барлық толқын ұзындықтары үшін бірдей ( $\epsilon = A = 1$ ).

Сонымен қатар, эксперименттік түрде анықталғандай, беттің түсі дененің қараңғылық дәрежесі туралы (лак, шыны және шойын үшін,  $\epsilon \in (0, 1)$ ) туралы түсінік бермейді; металл емес беттердің беті металдың қышқылданбаған металл беттерінен ( $\epsilon_{\text{AU}} = 0.1$ ) артық; Көптеген материалдардың «қара» дәрежесі өсіп келе жатқан температурада артады. Бұл, денелердің сәулелену және жұту қабілеттері олардың беттерінің күйіне тікелей байланысты, қарапайым сәулеленудің жиынтығынан тұратын материалдың бет үсті қабатының құрылымы, олардың көлемдері және сәулелену толқындарының ұзындығын анықтайды.

*Стефан—Больцманның заңы* АҚД –нің сәулелену қабілетін және оның абсолютті температурасын анықтайды:

$$E_0 = \sigma_0 T^4 n^2$$

немесе

$$E_0 = C_0 \left( \frac{T}{100} \right)^4 n^2$$

мұнда  $\sigma_0$ —Стефан—Больцман тұрақтысы,  $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ ;  $C_0$  — сәулелену АҚД коэффициенті,  $C_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ ;  $T$  — дененің абсолютті температурасы, К;  $n$  — орта сынуының көрсеткіші.

*Планк—Вин заңы*  $X$  толқын ұзындығынан, АҚД сәулеленудің  $J_0$  қарқындылық тәуелділігін орнатады,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{мкм})$ :

$$J_0 = \frac{2\pi c^2}{\lambda^5} \frac{h}{\exp(hc / k\lambda T) - 1}, E_0 = \int_0^\infty J_0 d\lambda$$

мұнда  $h$ —Планка тұрақтысы,  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ ;  $k$ —Больцман тұрақтысы,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж}/\text{К}$ ;  $c$  — вакуумдағы жарық жылдамдығы,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м}/\text{с}$ . Мұның өзінде толқынның ұзындығы  $\lambda_{\max}$ , онда қарқындылық  $J_0 T$  абсолютті температура кезінде максималды, және температура  $T$  көрсеткіштермен байланысты

$$T\lambda_{\max} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}.$$

*Ламберт заңы* АҚД үшін бұрышпен сәулелену ағымының тығыздық байланыс орнатады, сәулелену және сәулеленудің кез келген бағытымен  $S_1$  бетінің нормалымен пайда болған. Бұл жағдайда  $S_1$  және  $S_2$  еркін беттерімен екі дененің сәуле энергиясын тікелей алмасу үшін жағдайлар 1 (2) денесі 1 (2) денесі шығаратын энергияның қаншасы денеге 2 (1) түсетінін көрсететін  $\varphi_{12}$  және  $\varphi_{21}$  *бұрыштық коэффициенттеріне* байланысты.

Екі параллельді, бір бірінен алыстатылған  $S_1$  және  $S_2$  пластиналары үшін,  $\varphi_{12} S_1$  және  $\varphi_{21} S_2$  шығарылымы 1 және 2 денелерінің арасындағы өзара энергия алмасудың геометриялық инварианты болып табылады; оларды дене буының  $S_{12}$  және  $S_{21}$  өзара беттері сәулеленуі деп атайды, көптеген сәулеленулер өлшемін сипаттайтын, бір уақытта  $S_{12}$  және  $S_{21}$  қиылысады. Әртүрлі конфигурацияларға арналған олардың мәндері эксперименталды түрде есептеледі немесе анықталады. Жылу ағындары екі шексіз параллель жазықтық арасындағы өзара әрекеттесу кезінде  $\varphi_{12} = \varphi_{21} = 1$ ; ғарыштық вакуумға сәулелену кезінде  $\varphi_{12} = 1$ .

Екі параллельді және түссіз жазықтықтар арасында вакуумдағы сәулелену жылу алмасу жағдайы үшін а<sub>н</sub> мәнін анықтап алайық. Бұл зерттелетін денелермен, жылу энергиясының жұту және көрсетудің көп мәрте қайталатын құбылысты сипаттайды.  $P_{12}$  жылу ағымының салдарын анықтау үшін Стефан—Больцман, Кирхгоф және Ламберт заңдарының көбейтуін қолданамыз. Стефан—Больцманның заңы негізінде АҚД үшін жазып аламыз:

$$E_0 = C_0 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

Кирхгоф заңын ескере отырып 1 «сұр» денесі үшін

$$E_1 = \varepsilon_{12} C_0 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

мұнда  $\varepsilon_{12}$  — екі дене жүйесі үшін «қаралық» деңгейін келтірілген,

$$\varepsilon_{12} = \left\{ 1 + \varphi_{12} \left[ \frac{1}{\varepsilon_1} - 1 + \frac{S_1}{S_2} \left( \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right) \right] \right\}^{-1}$$

Ламберт заңы негізінде  $P_{12} = E_1 S_{12}$  ескере отырып,

$$P_{12} = C_0 \varepsilon_{12} \varphi_{12} S_1 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right].$$

Ньютона—Рихман заңының түріне соңғы көбейтуді келтіреміз, бұл көбейтудің оң жақ бөлігін  $(T_1 - T_2)$  бөліп және көбейтіп, Алатынымыз

$$P_{12} = \varepsilon_{12} \varphi_{12} \left[ C_0 \frac{\left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4}{T_1 - T_2} \right] T_1 - T_2 S_1$$

Мұнда  $\alpha_{12} = \varepsilon_{12} \varphi_{12} / (T_1 - T_2)$ , где  $f(T_1, T_2)$  — тік жақшалардағы көбейтікш.

Осылайша, жылу алмасудың қарастырылған механизмдері үшін олардың тиімділігі үшін, жылу алмасу үрдісіне қатысатын ортаны және денелердің параметрлері анықталған:

өткізгіштік механизм үшін  $\alpha_{эфф} = \alpha_{вд} = \lambda / l$ ;

конвективтік механизмнің  $\alpha_{эфф} = \alpha_{вд} = f(\text{Nu}, \text{Gr}, \text{Pr})$ ;

сәулелені механизмының  $\alpha_{эфф} = \alpha_{12} = \varepsilon_{12} \varphi_{12} f(T_1, T_2)$ .

Осы тәуелділіктерді ескере отырып, РЭҚ-нің конструкциялары және олардың жылу режимдерін қамтамасыз ету құралдары әзірленді.

### 3.3. РЭҚ жылу режимдерін қамтамасыз ету құралдары

РЭҚ (ЖРҚҚ) жылу режимдерін қамтамасыз ету құралдарының жұмыс істеуі танымал құбылыстар және эффекттерді қолдануға негізделген: сұйықтықтар мен газдарды қайнату,

Буландыру және конденсациялау, қатты денелерді балқылау, бұл

кезде, фазаклық жылудың ауысулары көзден жылу алуға және жылу аккумуляторын қыздыруға жұмсалады. Сонымен қатар, газдардың адиабатикалық кеңеюі мен термоэлектрлік құбылыстың әсерін қолданады.

ЖРҚК келесі параметрлер бойынша жіктеледі:

- Нысанның АТ температураларының диапазон қалпықоршаған орта  $T_c$  температуралары нысанына қатысты (3.2 сур.): *салқындату құралдары*(СҚ), оның ішінде, шамадан тыс төмен температураларға дейін (СОС) және и средства *белгілі температура ұстау*(БТҰ);

- сыртқы энергия көзіне тәуелділік: *бейтарапты және белсенді*;
- жылытқыштың және салқындатқыштың функцияларын бір құрылғының біріктіру мүмкіндігі: *қайтымды және қайтымсыз*;

- жылу ағынын тасымалдау тәсілі: кондуктивті, конвективті және буландырушы

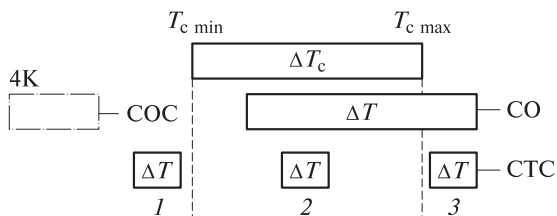
- жылу тасығыш жұмыс заттарының түрі: *қатты денелі, сұйықтықты және газ тәрізі*;

- жұмысты атқару режимінің түрі: *табиғи және мәжбүрлі режимдері бар*;

- РЭҚ конструкциясының құрамында орналастыру орны: *стационарлы, жылжымалы және кіріктірілген*.

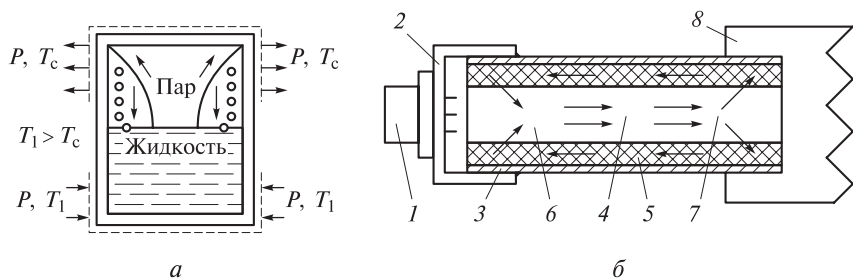
РЭҚ ішкі көлемдерін жылу ағындарын беру (тасымалдау) үшін жылу құбырлары қолданылады. СҚ ретінде көп тарағаны түрлі конструкциядағы *радиоторлар* алған, құйынды құбырлар және дроссельды микросалқындатқыш; БТҰ ретінде бейтарап термостат және криостаттар, белсенді салқындатқыш және жылытқыш реверсивті термостаттар және белсенді реверсивті термостаттар қолданыс тапқан.

*Жылу құбыры* — термосифон қағидасы бойынша жұмыс істейтін, саңылаусыз буландыру- конденсацияланған құрылғы, (3.3 сур., а),



3.2 сур. Нысанның және қоршаған ортаның өзара диапазоны бойынша ЖРҚК жіктелуі:

1 — реверсивті емес салқындатқыштар және криостаттар; 2 — реверсивті термостаттар; 3 — реверсивті емес термостаттар; СҚ — салқындату құралдары; БТҰ — белгілі температураны ұстау құралы; СОС — шамадан тыс температураға дейін салқындату құралы



3.3-сурет. Жылулықтрубасы

а — жылу ағынын бұру механизмі; б — құрылым; 1 — жылы көзі;  
2 — радиатор; 3 — сыртқы қабаты; 4 — жылу тасығыш; 5 — фитиль; 6 — булану  
аймағы; 7 — конденсация аймағы; 8 — жылу аккумуляторы

Жылу ағынын бір шетінен («ыстық») басқа шетіне («салқын») жасырын жылу фазаларының айналуының арқасында «бу—сұйықтық—бу» циклы бойынша әр түрлі фазалық күйлерде жылу тасығыш қозғалысының қайтару- түсу қозғалысы негізінде жүзеге асады. Термосифонмен жылу ағынын бұру

$$P = r \frac{dm_n}{dt},$$

мұнда  $r$  — бу түзілу жылуының үлесі, кДж/кг;  $m_n$  — будың массасы, кг.

Түрі жылу тасығыштар үшін  $r$  мәні келесідей: фреон — 162, су — 2256, сынап — 285. Дегенмен, салқындатқыштың түрі мен түрін тандау жұмыс температурасының диапазонына байланысты.

Жылу құбырының қағидасын қарастырайық (3.3 сур., б). Жылу көзі (транзистор) 1 арнайы майлаудың (контактола) арқасында радиатормен 2 жақсы жылу түйіндеседі, ол жылу құбырының сырқы қабықшасына дәнекерленген, оның ішінде оның барлық ұзындығы бойынша түрлі фазалық түйіндегі жылу тасытқыш 4 және и капиллярлы — кеуекті құрылымды (фитиль) 5 металл киіз, тор немесе күйдірілген ұнтақ ретінде орналасқан. 6 булану аймағында 1 дененің жылу энергиясының арқасында жылу таратқыштың булануы жүзеге асады, ол фитильде тамшы сұйықтықты күйде орналасқан; бу фзасында жылу таратқыш, құбырдың бу кеңістігі бойына еркін жылжи отырып, 7 конденсация аймағына түседі.

3 құбырдың сыртқы қабықшасы осы жерде 8 жылу аккумуляторымен жылу байланысымен жақсы түйіндесуде болады, оның температурасы бу температурасынан айтарлықтай төмен. Мұнда салқындатқышты будан тамшы-сұйылтылған күйге ауысады. Капиллярдың фитилі 5 бойына жылу тасығыштың булану аймағы 6 жағына қарай кері қозғалысы, фазалық күйді ауыстыру күйі тұйықталады. Жылылу тасығыш ретінде сұйылтылған

газдар және аммиак ( $0^{\circ}\text{C}$  дейін), ацетон, спирт немесе вода ( $250^{\circ}\text{C}$  дейін), жеңіл еритін металлдар ( $500^{\circ}\text{C}$  дейін) қолданылады.

Жылу құбырының құрылысы және оның конфигурациясының оңайлығының арқасында кез келген форма беріледі, РЭҚ ішкі блоктарынан аз қол жетімді көлемдерін, жылу ағындарын тасымалдауға мүмкіндік береді, бәрінен бұрын мыңты процессорлық элементтерден, жылу энергиясының және қоршаған ортаның сырты аккумуляторына бере алады.

### Салқындату құралдары

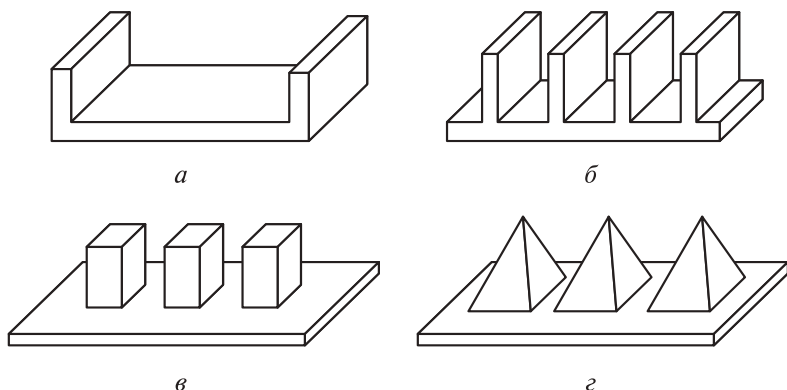
Бейтарап СҚ ретінде РЭҚ құрылымы көтергіш элементтері — қоршаған әуе кеңістігімен өзара әрекеттесіетін айтарлықтай алаңы және үлкен жылу сыйымдылыққа ие рамалар, қаптамалар қолданылады, ол қарапайым, сенімді және қосымша шығынсыз РЭҚ салқындатудың *табиғи* режимін қамтамасыз етеді. *Мәжбүрлі* әуе салқындату үлкен тиімділікке ие, сонымен қатар, *табиғи* және *мәжбүрлі сұйықтықты* және *булану* салқындатулары да тиімді.

Бірінші жағдайда, қосымша қарқындылығы бар ауаны жууға арналған ағынды құру үшін қосымша құрылғылар қажет (желдеткіштер); екінші жағдайда құбыр желілер арқылы оларды үзіліссіз салқын жылу таратқыш қайта айдап тұрады арнайы салқындатқыш түтіктер пайдаланылады (жылу айырбастағыштар). Жылу таратқыш ретінде сұйық металлдар қолданылады (мысалы, галлий негізінде қорыту).

Осы саладағы соңғы жетістіктер жоғары жылу өткізгіштік қабілеті бар сұйық металды пайдалану болып табылады, оның жүйесінде «магниттік сорғымен» ауыстыру жүргізіледі. Сондай-ақ жоғары тиімділікке 50 см дейінгі жылу құбырларынан тұратын экологиялық таза фреонмен толтырылған және кластерлік тіректерді салқындатуға арналған жылу бағандары бар.

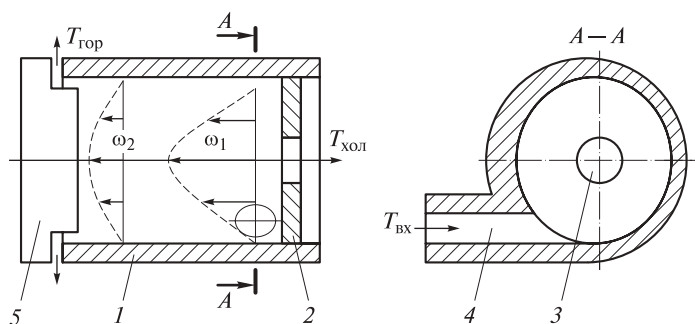
Дегенмен, әртүрлі конструкциялардың радиаторлары қуат ағындарын бірнеше жүздеген ваттқа дейін ауытқуға қабілетті, жиі СКРЭҚ ретінде пайдаланылады. 3.4 суретте, мыстан, жезден, алюминий немесе силуминнен  $\alpha_{\text{КВ}} \sim 10^2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$  жасалатын, олардың тиімділігінің өсу тәртібінде радиаторлардың жалпы түрлерінің жылу элементтерін конфигурациялау ұсынылған.

Бірнеше ондаған грамм массасы бар кішкентай заттарды салқындату үшін (транзисторлар, сәулеленудің сезімтал қабылдағыштарының элементтері) орынды төмен температураларға дейін *құйынды құбырлар*  $1(\text{КК})$  қолданылады, олардың әрекеті Ранк эффекті және адиабати калық кеңю кезінде шынайы газ температурасын төмендету эффектісіне негізделген (3.5 сур.).  $1$  құбырда  $3$  орталық тесігі бар *диафрагма*  $2$  орналастырылған;



салқын тасығыш үшін кіру тесігі 4 тангенциаль орналасқан; шұра 5 қыздырылған салқын тасығыштың шығуына арналған.

$p = 1 \cdot 10^6$  Па қысымы және  $T_{\text{вх}} = 293$  температурасы астында газ ағыншасы К кіру тесігі арқылы 4 құбырдың ішіне 1 енеді және кеңіген кезде салқындайды; газ ағынының 4 ашылуының тангенттік орналасуына байланысты қосымша құйынды қозғалысы туралы хабарланады, бұрыштық жылдамдықтардың бастапқы өрісі біркелкі емес; алайда 1 құбыры бойына айнамалы –келу газ қозғалысының кезінде ю,бұрыштық жылдамдықтардың соңғы өрісі теңестіріледі.Бұл газ қабаттары арасындағы үйкеліспен байланысты, орталық қабаттары олардың кинетикалық энергиясының бір бөлігін фрикциялық күштерге қарсы механикалық жұмыс өндірісіне енгізді, сонымен қатар, олар кіргенде төмендеген температураны сақтап қалды.



3.5 сур. Құйынды құбырлар құрылымы:

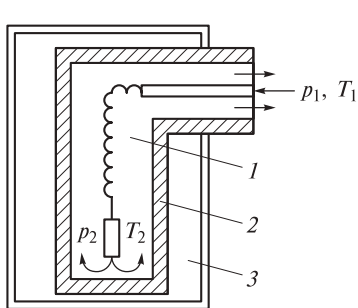
1 — труба; 2 — диафрагма; 3, 4 — отверстия; 5 — вентиль

КПД = 10 % кезінде құйындық құбырлар жылу ағындарын бөледі  
 $P = 5 \dots 10 \text{ Вт}$   $T_x = 218 \text{ К}$  температурасы кезінде.

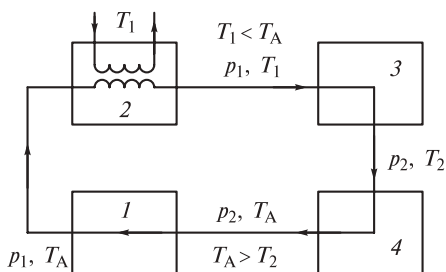
Шағын өлшемді белсенді РЭҚ құрылғыларын салқындату үшін шамамен 4...200 К температурасына дейін кіші дроссельді кіші салқындатқыштар қолданылад, ал ірі өлшемді РЭҚ блоктарын салқындату үшін 300 температураға дейін. 120 К кондиционерлер және сығымдағыш салқындату машиналары (ССМ) қолданылады.

Дроссельді кіші салқындатқыштың әрекеті (3.6 сур., а) Джоуль — Томсонның — шынайы газдың адиабатикалық кеңеюі эффектісіне негізделген (адиабатикалық дроссельдеу).  $T_1 = 255 \text{ К}$  температурасы  $p_1 = 8 \text{ МПа}$  қысымы кезіндегі газ 2 жылу алмасуда орналасқан дроссельдің 1 кірісіне 3 салқындату нысанында орналастырылған кіреді. Дроссель шығысында газдың температурасы  $T_2 = 195 \text{ К}$ , ал қысым  $p_2 = 5,6 \text{ МПа}$ . Дроссельдің тиімділігі газ қысымының айырмашылығына байланысты  $\Delta p = p_1 - p_2$ . Мұның өзінде температуралардың әр түрлілігі  $T_1 - T_2 = \kappa_d \Delta p$ , мұнда  $\kappa_d$  — дроссельдеу коэффициенті ( $\kappa_d = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ К/Па}$ ).

ССМ әрекеті (3.6 сур., б) ол салқындатқыштың тұйық айналымдағы тізбектегі циклдік өзгеруіне негізделген: сығымдағыш 1 — салқындатқыш 2 — детандер 3 — РЭҚ 4 — сығымдағыш 1.  $T_A$  температурасына дейін қыздырылған РЭҚ салқын таратқыш  $p_2$  қысымымен сығымдағышқа түседі, газдың қысымын  $p_1$  мәніне дейін көтеді. Салқындатқышта 2 салқын таратқыш температурасы  $T_2$  мәніне дейін төмендейді және ол детандерге 3 түседі. Детандерде сыртқы жұмысты орындай отырып, газды адиабатикалық кеңіту жүзеге асады, осының нәтижесінде оның температурасы  $T_1$  мәніне дейін төмендейді және  $p_2$  қысымымен газ, РЭҚ бөлімдеріне  $T_A$  температурасына дейін қызады және бөліктерге түседі. Одан кейін цикл қайталанады.



а



б

3.6 сур. Салқындатқыш түрлері:

а — дроссельді кіші салқындатқыштар (1 — дроссель; 2 — жылу айырбастағыш; 3 — салқындатылатын нысан); б — сығымдағышты салқындату машинасы (1 — сығымдағыш; 2 — салқындатқыш; 3 — детандер; 4 — РЭҚ)

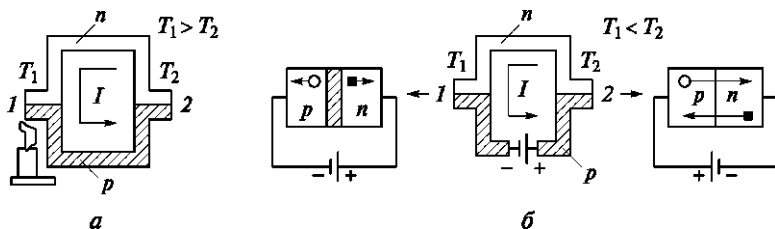
Кіші салқындатқыш және СОС қолдану, мысалы, сұйық гелий(4,5 К) температурасына дейін салқындату үшін кванттық парамагниттік күшейткіш (мазер) радиотелескоп құрылғысының сезімталдығын айтарлықтай жоғарылатуға мүмкіндік береді. Салқындату жүйесінің техникалық қиындығы мынада:  $P_x=1,5$  Вт салқын өнімділігі кезінде ауыспалы үш фазалы токтан қажет етілетін қуаттылық  $P = 8$  кВт, криогендік блок массасы және жүйе жалпы 75 және 1075 кг сәйкесінші тең.

### Белгілі температураларда ұстау құралдары

Нысанның температурасын пассивті және белсенді тұрақтандырудың құралдары белгілі. *Байтапан* тұрақтандыру құралдары қысқа уақытқа (бірнеше сағатқа дейін) нысанның тұрақты орташа температурасын, термостат қабықшасының үлкен жылу инерциясының арқасында ұстап тұруды қамтамасыз етеді және РЭҚ құрылымдарында сирек кездеседі. Көп тарағаны температуралық режимдері (САСТР) тұрақтандырудың белсенді құралдар алды, ол реверсивті немесе реверсивті емес ретттеудің арқасында жылудың термостатты балансын қолдап тұрады.

САСТР *реверсивті емес* реттеу нысан температурасын  $DT_c$  сыртында жаққан, интервалдарда температураны ұстап тұра алады. 3.2 сурет — бұл САСТР 1 (салқындатқыштар және криостаттар) және 3 (термостаттар). САСТР *реверсивті реттеу*  $DT_c$  ішінде жатқан интервалды нысан температурасын қолдайды.( 3.2 сур. — бұл белсенді реверсивті термостат 2).

Ықшамды кіріктірілген реверсивті реттеу САСТР көп тараған, Пельтье эффектісі негізінде қызмет атқарады. Пельтье эффектісі Зеебек эффектісіне кері эффект болып табылады, контурда пайда болатын, өткізгіштігі әр түрлі екі ( $n$  және  $p$ ), термотоктың  $I$  (3.7 сур, а) жартылай өткізгіштерден құралған, егер контур дәнекерінің бірі (1) жылыту болса, басқасы (2) — салқындату. ТермоЭДС,



3.7 сур. Зеебек эффектісі (а) және Пельтье эффектісі негізінде термоэлектрлі құрылғылар сызбасы(б):

1, 2 — контур дәнекерлері

таратқыштардың диффузиясынан және әлеуеттік байланыс әр түрлілігі температуралық тәуелділігі термоток түзілуіне алып келеді.

Термоэлектрлі элемент —Пельтье эффектiсi қолданатыын құрылғы (3.7 сур., б). Тоқтың берілген бағыты кезінде І дәнекерленудің біріктірілген жерінде 1 будың үздіксіз генерациялануы, жүзеге асады электрон—тесік, сыртқы Е өрісінің қозғалуы әсерінен түрлі жақтарға қозғалады; ал электронның валенттілігі диапазонынан өткізуге арналған диапазонға көшуі кристалдық тордың кейбір энергиясын шығарады, ал 1-түйісу салқындатылады. Дәнекерлеу 2 бұл кезде қызады, себебі оған түрлі жақтан электрондар мен тесіктер кіреді, олар, қайта құрудың аркасында, энергияны дәнекерлеу 2 жылу түрі ретінде береді (белгілі жылу сорғысының көрінісі). Тоқ бағытын ауыстырған кезде дәнекерлеулерде 1 және 2 физикалық эффекттер орындарымен ауысады

Пельтье жылу ағыны

$$P_n = \pm \Pi,$$

мұнда  $\Pi$  —Пельтье коэффициенті,  $\Pi = \gamma T$ ; В; I — ток күші, А;  $\gamma$  —

Зеебек коэффициенті,  $\gamma = \frac{k}{e} \ln \frac{N_n}{N_p}$  (онда k—Больцман тұрақтысы

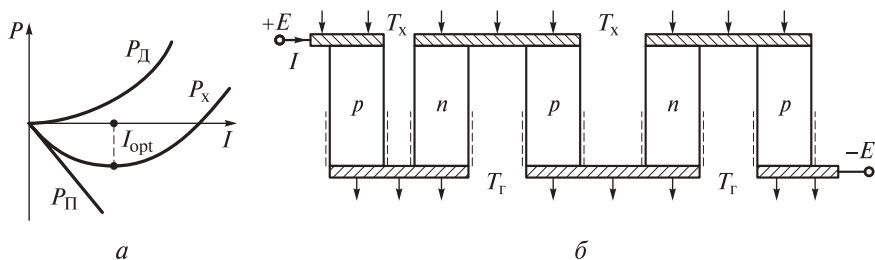
$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К; e —электрон заряды,  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл;  $N_n$ ,  $N_p$ — дәнекерлеу материалдарындағы электрондар және тесіктердің сәйкестігі).

Термоэлектрлі элементтерді дәнекерлеуде пайдалы жылу эффекттерімен біруақытта зиянды жылу эффектiсi пайда болады, ең жартылай өткізгіш материалдарының электр өткізгіштігі және жылу өткізгіштігінің құрылымдарымен шартталған. Осылайша, Джоуль заңына сәйкес өткізгіштерде жылу жоғалтулар пайда болады  $P_d = I^2 R$  (мұнда R— контурдың электрлі кедергісі); Фурье заңына сәйкес жоғалтулар пайда болады, дәнекерлеу түйіндерінің идеалды емес жылу түйінімен байланысты  $P_\phi = \sigma_\tau \Delta T$  (мұнда  $\sigma_\tau$ — контудың жылу өткізгіштігі). Салқын дәнекерлеуден бөлінетін қуаттылық ағынын жоғалтуды ескере отырып, немесе термоэлементтің салқын өндіргіштігі:

$$P_x = P_\Pi - P_d - P_\phi, \text{ немесе } P_x = \gamma IT_x - 0,5 I^2 R - \sigma_\tau \Delta T$$

Бұл салқын дәнекерлеудің жылу балансы теңдеуінде учтены выделение «джоульдік» жылудың бөлінуі және оның салқын өндіргіштігін төмендетейін материалының жылу өткізгіштігі ақырғы әсері келтірілген. Максимум  $P_x$  кейбір тоқтың оңтайлы  $I_{opt}$  мәні кезінде орны бар (3.8 сур., а).

Бөлінген жылу ағыны қуатын алдағы уақытта термоэлектрлі элементтерді термоэлектрлі батареяларға біріктіру арқылы ұлғайту мүмкін (3.8 сур., б).



3.8-сурет. Термоэлектрэлементтің салқын өндірімділігін көтеру:  
 а — тоқ күшінің оңтайлы мәнін таңдау; б — термоэлектрлі-  
 элементтерді батареяларға біріктіру

Конструктивті түрде оны былай дайындайды, барлық «салқын» дәнекерлеулер салқындатылатын нысан орналасқан оның ( $T_x$ ) бір бетіне шығарылған, ал барлық «ыстық» дәнекерлер ( $T_r$ ) — басқасына, жылу энергиясының аккумуляторымен жықсы жылу бар бетіне шығарылған. Салқын өндіргіштікті жақсарту үшін біршене термоэлектрлі батареяларды жылу шынжырына жалғастыру қажет, бұл қосымша энергетикалық шығындарды қажет етеді.

Көрсеткіш мәнін төмендетудің бір тәсілі  $P_\phi$  бетті жартылай өткізгіш сегнетокерамикалы қабықшамен секциясымен жабу болып табылады (3.8 суретте, б ол штрихтармен көрсетілген). Бөлімнің температурасы артып келе жатқанда, пленканың поляризация дәрежесі артады, бұл жартылай өткізгіштердің еркін жылжымалы тасымалдаушыларының ішінара байланыстырылуына әкеледі. Бұл кезде жылу беруің фондық механизмы кристалды тордың тербелісінің есебінен жылу берілуі жүзеге асады.

Термоэлектрлі батареялардың параметрлердің «Микрон» М4,5-27... М40-2 келесі көрсеткіштері бар: салқын өндіргіштік 0,03.10 Вт АТ = 30 К кезінде; 0,1.3 В қуат кернеуі; 0,5. 10 А жұмыс тоғы; габаритті өлшемдер 3,2 x 5,6 x 6,5.34 x 30 x 8,1 мм; термоэлементтер саны 2.27; масса 0,2.30 г.

### 3.4. РЭҚ жылу режимдерін есептеу

Жылу режимдерін есептеу мақсаты является РЭҚ конструкциялық өрісінің жылу параметрлерін анықтау және қол жетімді көрсеткіштермен салыстыру болып табылады. Оның үстіне, СОТР үшін олардың жылу физикалық және конструктивті параметрлері есептеледі, берлген температуралық режим ЭРК жылу бөлуді қамтамасыз етеді. [9].

Жылу өрісінің есептеу параметрлері болып табылады:

Қыздырылған температура аймағын бөлу  $T_3 = f(x, y, z, t, T_c, P)$ ;

• РЭҚ бөлігі корпусының жылу сипаттамасы  $\theta_3 = f(P)$  — қыздырылған аймақтың ішүкік көздердің қуаттылығына тәуелді.

Қыздырылған аймақтың температураның таралуын есептеу үшін жылу өндіріштікті басқаруды, жылу режимінің стационарлығы туралы жорамалын қабылдап, қолдануға болады, қыздырылған аймақтың ортаның изотроптығы және жылудың ішкі бөлшектерінің біркелкі бөлінуі.

Блоктық корпустың жылу сипаттамасын анықтау үшін дәйекті *жақындату әдісі* ыңғайлы. Осы әдіспен есептеудің негізгі кезеңдерін қарастырайық. 3.9 суретте РЭҚ блогының фрагменттері және оның физикалық жылу моделі көрсетілген.

Физикалық модельдің конструктивті параметрлері корпустың геометриялық өлшемі ( $L_K, B_K, H_K$ ) және шартты қыздырылған аймақты өлшемі болып табылады ( $l_3, b_3, h_3$ ); модельдің жылу физикалық параметрлері болып,  $e_K$  корпустың қаралық деңгейі және қыздырылған аймағы  $e_3$ , сонымен қатар, сонымен қатар жылу беру конвекциясы және корпустың сәулеленуі ( $\alpha_{KKB}, \alpha_{KЛ}$ ) және қыздырылған аймақ ( $\alpha_{3KB}, \alpha_{3Л}$ ) коэффициенттері.

Блоктың жылу топологиялық моделі үшін (3.10 сур., а) келесі жорамалдар рұқсат етілген: жылу алмасу режимі — стационарлы; қыздырылған аймақ ортасы — изотропты; жылу энергиясы қуаттылығының көзі қыздырылған аймақ көлемі бойына біркелкі бөлінген; қыздырылған аймақтың корпуспен және корпустың қоршаған ортамен жылу алмасуы табиғи конвекция және сәулелену механизмдерінің есебінен жүзеге асады; блоктың корпус бетінен жылу беру тиімділігі олардың кеңістіктегі орналасу қалпына байланысты.

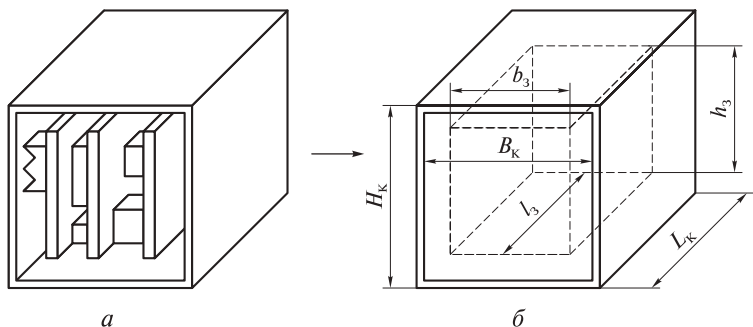
Жылу моделінің арасындығы байланыс келесі тәуелділікпен сипатталады:

$$T_3 = T_c + P_0 [(\sigma_{3KB} + \sigma_{3Л}) + (\sigma_{KKB} + \sigma_{KЛ})^{-1}],$$

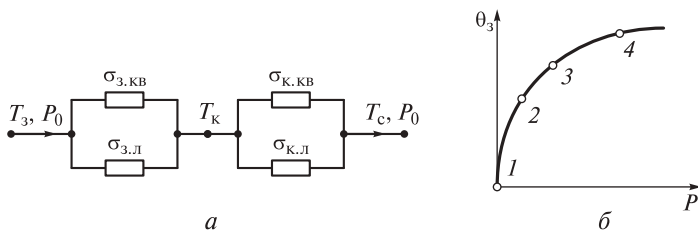
немесе

$$\theta_3 = \theta_K (1 + \sigma_K + \sigma_3),$$

мұнда  $\theta_K$  — корпустың қызып кетуі,  $\theta_K = P_0 / \sigma_K$ ;  $\sigma_K$  — корпустың жылу өткізгіштігі,  $\sigma_K = \sigma_{KKB} + \sigma_{KЛ} = S_K (\alpha_{KKB} + \alpha_{KЛ})$  ( $S_K$  — корпус бетінің



3.9 сур. РЭҚ блогының бөлігі (а) және оның физикалық жылу моделі (б)



3.10 сур. РЭҚ блогының тополоиялық жылу моделі (а) және оның жылу сипаттамасы (б):

1 ... 4 — жылу сипаттамасының есептік нүктелері;  $P_0$  — жылу ағымының жиынтығы;  $T_3$ ,  $T_K$ ,  $T_c$  — сәйкесінше қыздырылған аймақ, корпус және қоршаған орта температурасы;  $\sigma_{3,KB}$  және  $\sigma_{3,DL}$  — қыздырылған аймақтың жылу өткізгіштігі сәйкесінше жылу алмасудың конвективті және сәулелену механизмдері;  $\sigma_{K,KB}$  және  $\sigma_{K,DL}$  — блок корпусының ұқсас жылу өткізгіштіктері

алаңы);  $\sigma_3$  — аймақтың жылу өткізгіштігі,  $\sigma_3 = \sigma_{3,KB} + \sigma_{3,DL} = S_3 \alpha_{3,KB} + \alpha_{3,DL}$  — қыздырылған аймақтың қызып кетуі,  $\theta_3 = T_c - T_3$  ( $S_3$  — қыздырылған аймақ бетінің алаңы). Практикалық есептеулерде корпусстың қабырғаларынан, оның қақпағы мен түбінен жылу ағынын бұзу тиімділігінің айырмашылығын ескеру қажет.

Блоктың жылу сипаттамасын құру үшін (3.10-сур., Б) бірнеше нүктелерді есептейді (бірінші нүкте — координаттардың басы). Жылу сипаттаманың екінші нүктесін анықтау үшін, *бірінші* жақындаған кезде, дененің қызып кету мәнін  $\theta_{k2}$  беріңіз. Содан кейін, корпусстың геометриялық және термофизикалық параметрлерінің белгілі мәндеріне сәйкес, жылу өткізгіштігінің мәні  $\sigma_{k2}$  және жылу ағынының  $P_0$  қуаттылық мәнін есептейді. Мұның өзінде қыздырылған аймақтың өткізгіштігінің  $\sigma_3$  бастапқы көрсеткіші оның температурасының анықталмаған көрсеткіш шарттарында эмпирикалық формула бойынша табыды:  $\sigma_3 = 0,026 S_3 \beta$ , мұнда  $\beta$  — қыздырылған аймақ және корпус бетінің арасындағы максималды саңылау.

$T_{k2}$ ,  $\theta_{3,2}$  және  $T_{3,2}$  мәндерін анықтап, қыздырылған аймақ параметрін  $T_m = 0,5 (T_{3,2} + T_{k2})$  анықталған температура кезінде нақтылайды  $T_m = 0,5 (T_{3,2} + T_{k2})$  және мәндеді есептейді  $\theta_{3,2}$  және  $T_{3,2}$  екінші жақындауда. Егер нәтижесінде айырмашылық болса  $\Delta T_{3,2} = \Delta T_{3,2} - T_2^{(2)} < \Delta T_{3,2,доп}$

онда есеп жақындаумен шектеледі. Онда жылу сипаттамасының екінші нүктесінің  $[P_2, \theta_{3,2}^{(2)}]$  координаттары мынадай болады Егер  $\Delta T_{3,2} \geq T_{3,2}$ , онда қыздырылған аймақ параметрлерін температура  $T_m = 0,5 (T_{3,2}^{(2)} + T_{k2})$  температура кезінде үшінші жақындастыруда есептейді. Жылу сипаттамасының келесі нүктелерін алу үшін корпус қызып кетуінің басқа мәндерін береді және аймақ қызып кетуінің мәндерін сол тәртіпте береді. Есептелген нүктелер бойынша жылу

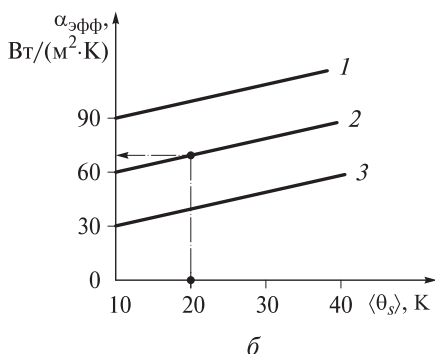
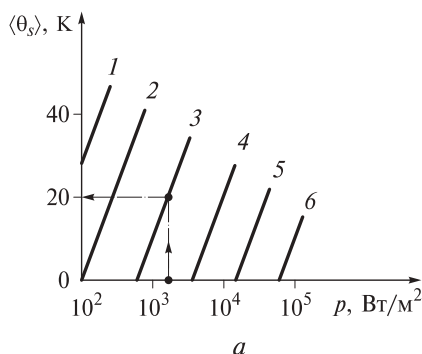
сипаттамасының аппроксиялаушы желісін салады, оны қыздырылған аймақ температурасының  $T_c$  және  $P_0$  еркін мәндер үшін мәнін анықтау үшін қолдануға.

Алдағы уақытта РЭЖ жылу режимі тәртібін сараптап талдау, ЭРК жеке корпустардың, олардың беті коммутациялық негізде орналасқандығын ескере отырып  $T_1$  температураларын анықтаудан және  $P_f$  компоненттер бойынша қуаттылықты анықтаудан тұрады.

Салқындатқыш радиаторлардың конструктивті параметрлерін есептеу, мысалы  $S$  оның негіздемесінің алаңын, шамамен тығыздық көрсеткішін  $p$  радиатор түрін анықтаудан және орташа қыздыру ( $\theta_s$ ) негіздемесінің рұқсат етілген көрсеткішінен басталады. Кез келген түрдегі радиаторлар үшін Ньютон—Рихманның заңы жарамды, онда то берілген мәндер ( $\theta_s$ ) жәнeр негіздеме алаңы  $S$  үшін, егерде таңдалған радиатор түрі үшін тиімді жылу алмасу  $\alpha_{эфф}$  коэффициент мәні белгілі болса, жылу алмасудың әрекеті және конвективті, сәулелелі механизмдері үшін анықтала алады.

3.11 суретте,  $a$  эксперименталды тәуелділік санаттары көрсетілген, ( $\theta_s$ ) =  $f(p)$  кейбір радиаторлардың түрлері үшін олардың тиімділігінің өсу тәртібінде берілген.

Мысал ретінде, 3.11 суретте, б бұдыр алюминий радиаторларының бұдыр диаметрі  $d = 2,5$  мм тәуелділік санаты келтірілген  $\alpha_{эфф} = f((\theta_s))$  пластинаның  $5 = 7$  мм қадамдарының, оларың түрлі биіктігінде  $h$  орналасқан.



3.11 сур. Радиатор параметрін есептеудің графикалық әдісі:

$a$  — тәуелділік санаты бойынша радиатордың түрін тандау ( $\theta_s$ ) =  $f(p)$  (1 — пластинкалы; 2 — қабырғалы; 3 — бұдырлы; 4 — шанышпалы; 5 — сымды; 6 — желбезектік);  $b$  — тәуелділік санаты бойынша конструктивті параметрін анықтау  $\alpha_{эфф} = f((\theta_s))$  (1 —  $h = 32$  мм; 2 —  $h = 20$  мм; 3 —  $h = 12$  мм)

Табылған мән үшін ( $\theta_s$ )  $\alpha_{эфф}$  мәнін анықтайды және оны Ньютон-Рихманның теңестіруіне қойғаннан кейін радиотардың негіздемесі Салаңын табады, ао оның ұзындық өлшемдерін — ұзындығын және енін — конструкциялық және тұтастырушы түсінікке байланысты.

### 3.5. РЭЖ стационарлы жылу өрістерін модельдеу

Ортақ жылу өткізгіш төсемде орналасқан РЭЖ-дың жекеленген компоненттерінің температуралық режимін талдау үшін жылулық өрістің орташаландырылған параметрлерін білу кейбір кездері жеткіліксіз болып қалады. Олардың өзара әсері құрылғылардың тұрақсыз жұмыс істеуінің себепшісі болуы мүмкін және бұл құбылысты жобалық зерттеу кезеңінде бірден жою қажет. Мұндай құрылғылар қатарына белсенді және бейтарап жылу өткізгіш элементтерден тұратын күшті аналогты интегралдық сызбалар жатады.

Әрбір ЭРЖ үшін температура мәнін есептеу күрделілігі жайлы жоғарыда айтқан болатынбыз. Сол себепті РЭЖ құрылымдарын жобалау практикасында электрлік модельдеуші орта — жаппай өткізуші немесе дискретті электрлік желі негізіндегі осындай құрылғылардың физикалық және еліктеу модельдеудің тәсілдері кең таралған. Бұл модельдердің құрылысы электр-жылулық аналогия принципінің негізінде мүмкін, ол принцип электр және жылу өткізгіштік құбылыстарының математикалық сипаттамасындағы ресми ұқсастығымен көрінеді. Жеке алғанда, тоқ тығыздығының  $j$ , өткізгіштік  $\sigma$  және электрлік потенциал  $U$  шамаларының жылулық аналогтары болып жылу ағынының тығыздығы  $q$ , жылулық өткізгіштік  $K$  және температура  $T$  алынады, олардың арасындағы тәуелділік сәйкес масштаб коэффициенттерімен жасалады:

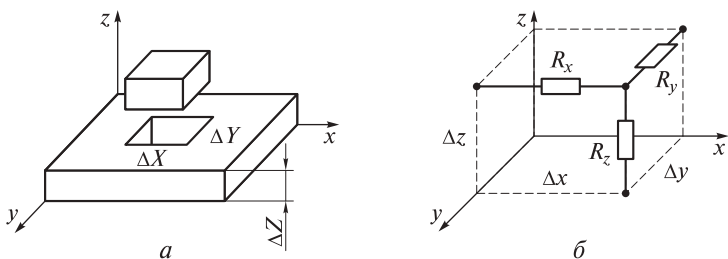
$$K_p = p/j; K_\lambda = \lambda/\sigma; K_T = T/U; K_x = X/x; K_y = Y/y; K_z = Z/z,$$

Мұндағы  $X, Y, Z, x, y, z$  — түпнұсқа мен үлгінің ұқсас нүктелерінің координаталары; түпнұсқа мен үлгінің геометриялық ұқсастығы кезінде  $K_x = K_y = K_z = K_1$ .

Сондай-ақ желілік модельдерді жүзеге асырған кезінде түпнұсқаның зерттелетін облысын элементарлы көлемдерге (3.12, а сурет) бөліп тастайды да, оларға сәйкесінше эквивалентті электрлік ығыстыру сызбаларын қояды (3.12, б сурет).

Анизотропты объект үшін берілген сызбалардың параметрлерін келесі формула негізінде анықтайды:

$$R_x = \frac{1}{\sigma_x} \frac{\Delta x}{\Delta y \Delta z}; R_y = \frac{1}{\sigma_y} \frac{\Delta y}{\Delta x \Delta z}; R_z = \frac{1}{\sigma_z} \frac{\Delta z}{\Delta x \Delta y}; \quad (3.5)$$



3.12. сурет. Желілік модельдер:  
 а — Түпнұсқаның элементарлы көлемі; б — Элементарлық көлемді  
 ығыстырудың электрлік сызбасы

Түпнұсқаның кейбір нүктелерінде  $T$  температураның мәнін және  $U$  электрлік потенциал мәндерін электрлік модельдің ұқсас нүктелерімен және сыртқы ортаның  $T_c$  температурасын байланыстыратын өрнек келесі түрде болады:

$$T = \kappa_T U + T_c \quad (3.6)$$

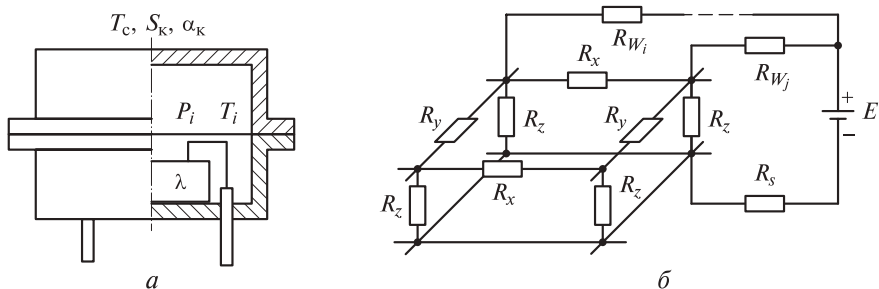
Масштабтық коэффициентті  $K_T$  анықтау үшін Фурье өрнегін (3.2) қолданамыз. Масштабтық коэффициенттердің белгіленуіне ескере отырып, (3.2) өрнегін келесі түрге келтіреміз:

$$K_p I = K K_\lambda K_c U S / l,$$

Осыдан масштабтық коэффициенттер арасындағы тәуелділікті анықтаймыз:

$$K_p = K_\lambda K_t K_l \text{ және } K_p = (K_\lambda K_l)$$

(3.6) өрнегіне  $K_T$  мәнін қою арқылы модельдің әрбір нүктесіндегі  $T_i$  температураның мәндерін анықтауға болады. Мысалға, микросызбалар үшін (3.13, а сурет) электрлік желілік модельдің параметрлерін анықтап аламыз, егер де құрылымдық және жылу физикалық параметрлер:



3.13. Микросызбаның жылулық режимін модельдеу:  
 а — микросызба құрылымы; б — желілік модель

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, P_i (X_p, Y_i), T_c, \alpha_k, \lambda, S_K$  берілген жағдайда орындалады (3.13, б сурет).

Масштабтық коэффициенттің мәнін анықтау үшін  $K$  модель резисторларының кедергілер мәндерін белгілеп алу керек:  $R_x = R_y = R$ ; онда  $\Delta X_s = \Delta Y_s, K_l = 1$  ( $\Delta X_s = \Delta x, \Delta Y_s = \Delta y, \Delta Z_s = \Delta z$ ) және

$\sigma = \lambda / K_\lambda$  мәнін (3.5) формуласына қою арқылы нәтижесінде  $K_\lambda = R_\lambda \Delta Z$  өрнегін аламыз. Осыған ұқсатып  $R_z$  және  $R_s$  резисторлардың кедергі мәндері анықталады.  $R_s$  резисторы микросызба корпусының бетінен қоршаған ортаға жылууды бөлудің конвективті механизмінің әсерін ескереді.

$$R_z = R \frac{(\Delta Z)^2}{\Delta X \Delta Y}; R_s = R \frac{\lambda \Delta Z}{\alpha_K S_K};$$

$P_i$  жылу көздерінің жылулық ағындарын модельдейтін  $R_{wi}$  резисторларының кедергі мәндерін желілік модельде тоқтың көз режимін қамтамасыз ету шартынан тандайды, яғни  $R_{wi} \gg R$ . Онда масштабтық коэффициенттің мәні  $K_p = \sum P_i / \sum (E / R_{wi})$  шамасына өзгереді.  $K_\lambda$  және  $K_p$  алынған мәндеріне сәйкес нәтижесінде келесі өрнекті аламыз:

$$K_T = R \lambda \Delta Z \sum P_i / \sum (E / R_{wi})$$

Тізбектеп вольтметрмен өлшеу арқылы немесе электр тізбектерінің желі түйіндеріндегі  $U$  кернеу мәндерінің тәсілдерімен есептеу арқылы және (3.6) формула бойынша есептеу негізінде 7J- мағыналарын санау арқылы микросызба төсемінің жылулық өрісінің жалпы бейнесін аламыз. Төсем беті бойынша температураның анықталған тарату мәндеріне сәйкес электр-радио компоненттерінің өзара жылулық әсерін бағалауға болады және осы әсердің жеке минимум критерийіне олардың төсемдегі құрастыруды оптимизациялайды.

## Бақылау сұрақтары

Жылу алмасудың негізгі механизмдерін атаңыз.

Қандай ортада жылу алмасудың кондуктивтік механизмінің орындалуы мүмкін?

Конвективті жылу алмасудың параметрлерін есептеудің күрделілігі немен шартталады?

Қандай ортада жылу алмасу сәулелену арқылы орындалуы мүмкін?

Қандай параметрлер жылу алмасудың тиімділігіне әсер етеді?

Қандай СОТР реверсивті және реверсивті еместерге жатқызылады?

Блок корпусының жылулық сипаттамасының есептелуін неліктен бірнеше жуық мәндермен береді?

Электр-жылулық аналогия дегеніміз не?

## Радиоэлектронды жабдықтардың герметизациясы және ылғалдан қорғау

### 4.1. Ылғалдың өту механизмдері

РЭҚ-дың ылғалдан қорғау және герметизация мәселелері олардың қоршаған ортаның жоғары ылғалдылық шартында ұзақ мерзімді қолдану болжанатын кезде туындайды. Бұл шарттар ТТ-да басқа да қолданылу талаптарымен ескеріледі, және олар РЭҚ-ның ылғалдан қорғау мен герметизация бойынша іс-шараларды әзірлеу мен жобалық зерттеулерді орындау кезінде бастапқы болып саналады.

РЭҚ-ның қолданылу шарттарын сипаттайтын параметрлер құрамына климат параметрлері жатқызылады: қоршаған орта температурасының максималды және минималды мағыналары, белгілі бір температура кезіндегі ауаның максималды салыстырмалы ылғалдылығы. Бұл әсерлердің шарттарында РЭҚ белгіленген уақыт аралығында өз жұмыс қабілеттілігін сақтауы қажет. РЭҚ-н сақтау режимі үшін де осыған ұқсас параметрлер белгіленген.

Атмосфералық ауада су буының белгілі бір шамасы ( $\sim 2,3 \%$ ) бар екені бәрімізге мәлім, оның парциналды қысым мөлшері  $p_e$  температураға тәуелді болатын белгілі бір шама – қаныққан су буының қысымынан  $p_{\text{еқанық}}$  аспауы тиіс. Сонымен бірге ауаның берілген көлемінде  $V$  берілген температурада су буының абсолютті және максималды шамасы болуы мүмкін (сәйкесінше  $M$  және  $M_{\text{max}}$ ). Онда ауа ылғалдылығының абсолюттік  $f$  және максималдық  $f_{\text{max}}$  шамалары сәйкесінше тең болады:

$$f = M/V; f_{\text{max}} = M_{\text{max}}/V.$$

Пайызбен белгіленген  $f/f_{\text{max}}$  қатынасын  $\phi$  ауаның салыстырмалы ылғалдылығы деп атайды.

Салқындату кезінде ылғалдың конденсациясы, оның тамшы-сұйықтық күйге өтуі жүзеге асатын ылғалды судың температурасын шық нүктесінің температурасы деп атайды.

Су буының РЭҚ-дың элементтері мен салмақ түсетін құрылымға әсері жұтатын материалдардың Воздействие паров воды на элементы и несущие конструкции РЭҚ влияет на структуру и параметры поглощающих материалов.

Алдымен су күшті *полярлық* зат ( $\epsilon \sim 80$ ) болып табылады және иондық типтегі қоспалар көп болғандықтан оның электр өткізгіштігі де ( $\rho \approx 10^5$  Ом·см) жоғары болады. Сонымен қатар су – *химиялық* жақтан белсенді зат, ол тұздар, қышқыл, сілтілерді құру арқылы басқа заттармен әсерлеседі де, жұтатын органикалық пен органикалық емес материалдардың *гидролитикалық деструкциясын* тудыруы мүмкін. Теңіз суы ерекше жебірлікке ие, ол ерітілген түрінде көптеген материалдардан тұрады және материалдардың *электрохимиялық*

коррозиясын туғызады. Қауіпсіздіктің арнайы шараларынсыз ылғалдың ықпалы ЭРЖ параметрлері мен құрылым бүтінділігіне елеулі әсер етуі мүмкін.

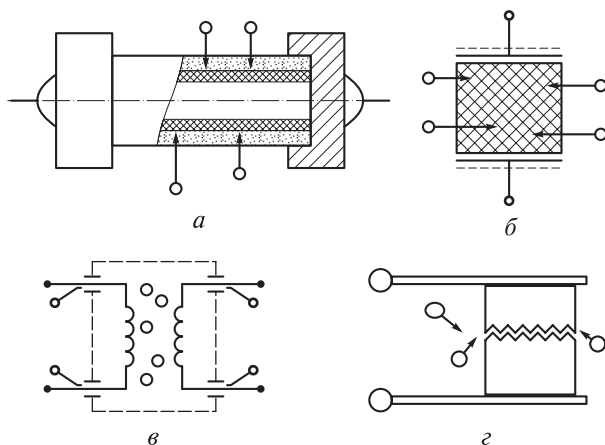
Сымсыз резисторлардағы ток өткізуші композицияның органикалық түрде біріктіруші затына (4.1, *а* сурет) ылғалдың өтуі резистор кедергі мәнінің өзгерісін туғызады.

Конденсаторларда (4.1, *б* суреті) ылғалдың органикалық диэлектрик көлеміне жұтылу әрекеті немесе органикалық емес диэлектриктің беттік ылғалдануы жүзеге асырылуы мүмкін, бұл құбылыстар көлемнің ұлғаюын және конденсаторлардың жоғалуын тудыруы мүмкін, сонымен қатар саңылаусыздық кедергісі мен тесік кернеуінің төмендеуіне әкелуі мүмкін.

Орам бұйымдарында (4.1, *в* суреті) ылғал орам аралық және қабат аралық саңылаусыздыққа өткізгіштер арқылы өтіп, жылулық тесілудің мүмкіндігін жоғарылату арқылы саңылаусыздық кедергісінің  $L_{\text{саң}}$  төмендеуін және  $\text{tg} \delta$  ұлғаюын туғызады.

Коммутациялық құрылғыларда (рис. 4.1, *г*) ылғал контакт аралық капиллярлық және механикалық саңылаулар арқылы өтіп, беттерінде оксидтік қабықшалар жасау арқылы контактілік бірігудің өтпелі кедергісінің ұлғаюына мүмкіндік туғызады және серпінді элементтердің механикалық сипаттамаларды өзгерту арқылы қайта қосудың күші мен нықтылығын өзгертеді.

Өткізгіштер және дәнекерлер үшін, сонымен қатар РЭЖ-дың салмақ түсетін металл құрылымдарына металдың электрохимиялық және электролитикалық коррозиялар үлкен қауіп төндіреді — яғни, су



4.1 сурет. Ылғалдың ЭРЖ-ға әсері:

*а* — резисторлар; *б* — конденсаторлар; *в* — орам бұйымдары;

*г* — коммутациялық құрылғылар

буында сорылған қабықшада ионды ластану бар кезінде металл ерітіндісі (4.2 сурет). Иондық ластанулар — бұл атмосферада болатын күкірттік, тұзды немесе азотты қышқылдардың қышқылдық қалдықтарының диссоциирленген иондары. Осының нәтижесінде сорылған қабықша электролитке айналады, онда құрылым металдары бірінші реттік гальваникалық буларды түзеді. Осыған ұқсас процестер сыртқы электрлік өрістің әсерімен жасалады. Оның ішінде өткізгіштер мен дәнекерлердің бұзылуы жүзеге асуы мүмкін, нәтижесінде олар жасалған химиялық қосылыстар бөлінеді, мысалға, хлорлы қалайы  $\text{SnCl}_4$ , қалайы шала тотықтың гидраты  $\text{Sn}(\text{OH})_2$  (4.2, а сурет) немесе мыс сульфаты  $\text{CuSO}_4$  (4.2, б сурет).

Келтірілген мысалдар үшін ылғалды ортаның ЭРЖ параметрлеріне тигізетін әсері оларды органикалық заттардың беттік қабықшасымен жабу арқылы әлсіздендірілуі мүмкін, ылғал өтуі бұл қабықшадан баяу жүріп, ЭРЖ-дың ылғал төзімділігін анықтайды.

Ылғалдың өтуі деп органикалық заттың қабаты (қабықша) арқылы су буының өтуі немесе жұтылу процесі (сорбция) түсініледі.

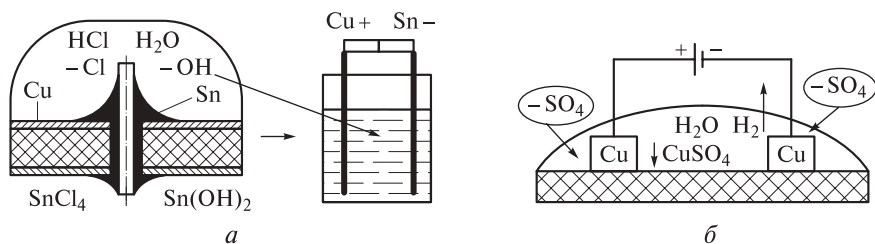
Келесі сіңірілу үдерістерінің түрлері ажыратылады:

- *адсорбция* — адгезия (жабысу) арқылы материал бетінің атмосферадан су буын тарту процесі;

- *сіңуі* — диффузия немесе капиллярлық конденсация көмегімен капиллярдағы мениск үстіндегі су буының төмен қысымы кезінде материалдың су буын жұту процесі.

*Диффузия* процесі кезінде ылғал бу фазасында қабық қалыңдығынан (су молекулаларының мөлшері  $\sim 3 \cdot 10^{-10}$  м) қабық молекулалары аралықтары арқылы бу концентрациясының төмендеу жағына бағытталып, қабықшаның екі жағындағы парциалды қысымдардың тепе-теңдік күйіне дейін өтеді.

Электр және жылу өткізгіштік процестеріне ұқсастықтар бойынша ылғал сіңірудің диффузиялық механизмін органикалық қабықшаның ылғал өткізгіштік параметрі  $D_0$  негізінде және оның геометриялық



4.2 сурет. Металл коррозиясы процестерін түсіндіретін сызбалар:

а — электрохимиялық (гальваникалық жұп түзілу арқылы);

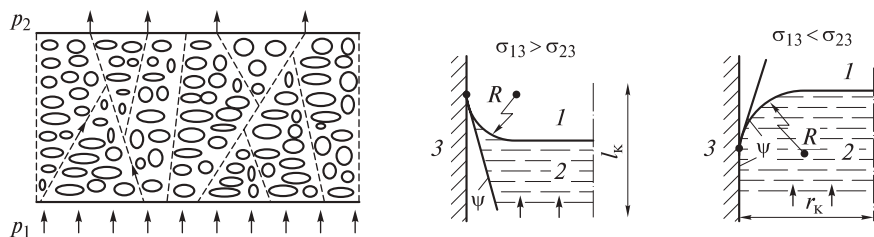
б — электролитикалық (сыртқы электрлік өрістің әсеріндегі)

мөлшерлері -  $h$  қалыңдығы және  $S$  ауданы саналады. Ендеше ылғалдың уақыт бірлігінде жұтылатын  $m$  массасы үшін парциалды қысым айырмасы кезінде ( $p_1 - p_2$ ) саналатын өрнегі келесі түрде болады:  $m/t = D_0 S(p_1 - p_2)/h$ . Бұл өрнек ылғал сіңіретін тізбектің параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді. Әр түрлі органикалық заттар үшін  $D_0$  мәні  $1 \cdot 10^{-14} \dots 1 \cdot 10^{-15} \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{Па})$  аралығында болады.

**Капиллярлық** механизм әсер еткен кезінде (4.3, *a* сурет) ылғал органикалық заттың қабығы көмегімен тамшы-сұйықтық түрінде ірі қуыстар және капилляр жолдары арқылы өтеді. Ылғалдың өту жылдамдығы аралықтың екі жағындағы су буының  $p_1$  және  $p_2$  парциалды қысымдарының айырмасына; капиллярдың  $R_k$  кедергісіне ( $R_k \sim l/(r_k)^4$ , мұндағы  $l$ ,  $r_k$  — капилляр ұзындығы мен радиусы); ондағы сұйықтықтың бет күйімен шартталатын (мениск пішіні) капиллярдағы гидростатикалық қысымға; аралық қабырғаларының температура айырмасына шартталатын дифференциалды қысымға тәуелді болады.

Сұйықтықпен беттік әсерлесу сипаты бойынша (сулау) *гидрофилды* және *гидрофобты* қатты денелер түрлерін ажыратады, олар бір-бірінен дене беті мен мениск және қиылысу нүктесінің арасында түзілетін ушеттік бұрышының мәнімен ерекшелінеді. Гидрофилды материалдарға көптеген металдар, майлар, графит, сульфидтер, полимерлер; ал гидрофобты материалдарға силикаттар, сульфаттар және кварц жатады.

Сулау шамасы ретінде  $\cos \psi = (\sigma_{13} - \sigma_{23})/\sigma_{12}$  (мұндағы  $\sigma_{13}$ ,  $\sigma_{23}$ ,  $\sigma_{12}$  Н/м, — мениск құрайтын компоненттерді бөлгендегі беттің керілу шамасы) алынады. Гидрофилды материалдардың беттерінде (4.3, *б* суреті)  $\psi$  бұрышы  $< \pi/2$ , ал гидрофобтыларда (4.3, *в* сурет) —  $\psi > \pi/2$ . Сонымен қатар, сұйықтық бет қабатының қисаюы сұйықтыққа қисықтық бетінің  $R$  радиусы және беттік керілуден  $\sigma = \Delta A/\Delta S$  (мұндағы  $\Delta A$  — сұйықтық бетінің  $S$  ауданын  $\Delta S$  шамасына ұлғайтуға қажет болатын жұмыс) тәуелді қосымша қысымның пайда болуын туғызуы мүмкін.



4.3 сурет. Ылғалдың капиллярлық өту сызбалары: *в*

*a* — органикалық заттың құрылымы; *б* — гидрофилды капилляр; *в* — гидрофобты капилляр; 1 — бу; 2 — сұйықтық; 3 — капилляр қабырғасы

Лаплас заңы бойынша сфералық бет астындағы қысым мәні  $p = \pm 2\sigma/R$  («+» таңбасы — дөңес денелер үшін, «-» — ойыс менискалар үшін).

Ендеше, ойыс менискалардың қисайған беттің астында пайда болатын қосымша қысым ылғал тамшыларының аралықтан ары қарай өтуіне мүмкіндік туғызады, бірақ та егер де  $r_k < 10$  мкм болса, оның кедергісі шұғыл түрде өсіп, ылғал өтудің капиллярлық механизмнің әрекеті әлсірейді. Дегенмен, мениск бетінен буланатын бу фазасында ылғал ары қарай өте алады.

#### **4.2. РЭЖ-дың ылғалдан қорғау және герметизациялаудың тәсілдері және әдістері**

##### **ЭРЖ-дың корпуссыз ылғалдан қорғау**

Корпуссыз ылғалдан қорғау тәсілі ылғалдан қорғайтын немесе герметизациялайтын материал қабатын (ЫҚГМ) тікелей қорғалатын бұйымға салу әрекетіне негізделеді. ЫҚГМ-дың негізгі тобына органикалық полимерлер және олардың негіздегі композициялар жатады: термоилімді және терморективті материалдар, полиуретандар. ЫҚГМ түрін таңдау келесі шарттарға тәуелді болады: ылғал қорғанысының сапасына қойылатын талаптарға; қорғалатын бұйымның параметрлеріне мүмкін болатын әсерлерге; өндірістің жағымсыз факторларының әсеріне тұрақтылығы және қолданылу шарттарына.

**ЫҚГМ параметрлері.** ЫҚГМ-ның электрооқшауланған, жылуфизикалық, механикалық, технологиялық және экологиялық параметрлерін ажыратады.

*Электрооқшауланған параметрлерге* жататындар: салыстырмалы көлемдік  $p_v$  және бетті  $k_p$  кедергілер; диэлектрлік өткізгіштік  $\epsilon$ ; электрлік беріктілік  $E_{пр}$ ; диэлектрлік шығындардың бұрыш тангенсі  $\tg \delta$ .

ЫҚГМ-ның *жылуфизикалық параметрлеріне* жататындар: жылу өткізгіштік коэффициенті  $X$ ; температуралық коэффициенттер: сызықтық кеңею ТКЛР, диэлектрлік өткізгіштік ТКе және диэлектрлік шығындардың бұрыш тангенсі ТК  $\tg \delta$ . ЫҚГМ-ның *ылғал жұту* қабілетін салыстырмалы ылғал өткізгіштік шамасы  $D_0$  сипаттайды.

ЫҚГМ-ның *механикалық параметрлеріне* жататындар: созылу  $\sigma_c$  және бүгілу  $\sigma_b$  сығу деформациясы  $\sigma_{сығу}$  кезіндегі ұйғарынды көрнеу мәндері; тозуға төзімділік пен үйкелу коэффициенті; жарылуға төзімділік.

ЫҚГМ-ның *технологиялық параметрлеріне* жататындар: өмірге төзімділік, аққыштық (тұтқырлық), жабысулық, қатаю уақыты, отыруы. Сонымен қатар ЫҚГМ экологиялық тұрғыдан қауіпсіз болып, жоғары тұрақтылық шамасы мен параметрлердің қайталануын иеленіп, қорғалатын бұйымның материалдарымен химиялық өзара әрекеттесу болмайды.

Сөйтіп, БҚГМ-на қойылатын талаптар әр жақты және антагонистикалық қалыпта болады, ал БҚГМ-ның нақты түрін таңдау құрылымдаушы мен технолог үшін күрделі мәселе болып саналады.

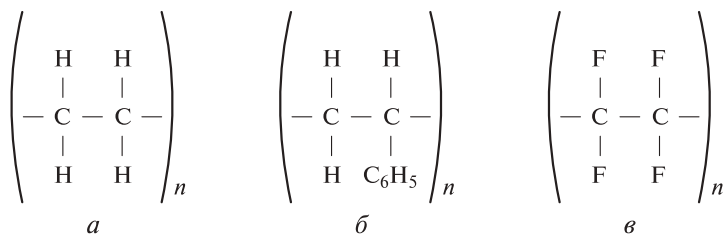
**Термоиілімді материалдар.** Бұл ерітілетін және балқытын, яғни өзінің агрегаттық күйін өзгерту мен қалпына келтіре алатын органикалық қосылыстардың полимеризация мен поликонденсациялау үдерістерінің жоғары молекулярлық өнімдері. Оларға полиэтилен, полистирол, политетрафторэтилен (фторопласт-4) және т.б. сияқты полярлы емес жоғары жиілікті диэлектриктер жатады.

**Полиэтилен** —  $C_2H_4$  этилен газының полимеризациясы нәтижесінде түзілетін қатты зат; полиэтилен молекула құрылымының формуласы 4.4, а суретте көрсетілген. Полимердің бір молекуласына бірігетін полимеризация деңгейі  $n$ , яғни мономер молекулаларының саны, 1 500-ға жетеді.

**Полистирол** —  $C_8H_8$  (мономер) сұйық стиролдың полимеризациясы нәтижесінде түзілетін қатты зат; полистирол молекула құрылымының формуласы 4.4, б суретте көрсетілген ( $C_6H_5$  — фенил). Полимеризация деңгейі  $n$  — 6 000.

**Политетрафторэтилен** —  $C_2F_4$  тетрафторэтилен полимеризациясы нәтижесінде түзілетін қатты зат; политетрафторэтилен молекула құрылымының формуласы 4.4, в суретте көрсетілген. Полимеризация деңгейі  $n$  — 6 000. Политетрафторэтилен заты химиялық тұрғыдан төзімді, жанбайтын зат ( $t = 415^\circ C$  температурасы кезінде жұмсарады), абсолютті түрде ылғал жұтпайтын, сонымен қатар су және басқа сұйықтықтармен суланбайды. Онымен салыстырғанда басқа кәдімгі желімдейтін заттарда жабысу қабілеті болмайды. Сонымен қатар материал жұмсақ, суық аққыштығына бейімделген.

ТҚЛР мәні ылғал өткізгіштігінің коэффициенттері берілген материалдарда кіші мәнде болады, электрооқшауланған қабілеттер:  $f = 1 ГГц$  жиілігінде  $p_v \sim 1 \cdot 10^{17}$ ,  $p_s \sim 10^{16} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ;  $e = 2,3 \dots 2,5$ ;  $\text{tg } \delta = 0,0002 \dots 0,0005$ . Мұндай сипаттамалар және параметрлер оқшауланатын материалдар (сым, ЖЖ кабельдер), сонымен қатар орнату бұйымдарының (мысалға, катушкалар каркасы) термоилудің қолданылу әрекетінің негізгі облысын анықтайды. Олардың технологиялық артықшылығы — қысым астындағы балқытудың прогрессивті тәсілдерімен күрделі формадағы бұйымдарды жасау мүмкіндігі.



4.4 сурет. Термоиілімді материалдардың құрылу формулалары:

$a$  — полиэтилен;  $б$  — полистирол;  $в$  — политетрафторэтилен

Термоилуді қолданылудың облысын шектейтін кемшіліктер ретінде қорғалатын бұйымның бетімен болатын жаман жабысу қабілеті, төмен деңгейлі қыздыруға төзімділік қабілеті (фторопластан басқа) және төмен температура кезінде жарылуға қабілеті (термоилудің жұмыс температураларының аралығы - 60...+150 °C).

Температуралық аралықты кеңейту үшін термоилудің жекеленген түрлеріне арнайы ұсақ дисперсиялы қоспалар енгізіледі – титан диоксиді, шыны талшығы, тозанданған кварц. Жабысудың ең жоғары деңгейі *полярлық* термоилуге тән: поливинилхлорид  $C_2H_3Cl$ , полиэтилен терефталат (лавсан, майлар), поливинилол спирті  $C_2H_3OH$ , олардың негізінде БФ маркасындағы желімдер шығарылады.

**Термореактивті материалдар.** Бұл поликонденсациялық шайыр (фенолформальдегидтік, полиэфир және эпоксидті) негізінде жасалатын және ұзақ мерзімді сақталу немесе арнайы қоспалар болған кезінде (қатайтқыш және катализаторлар) қыздыру нәтижесінде ерітілмейтін және балқымайтын күйге ауысқан кезінде түзілетін жоғары молекулярлық өнімдер. Поликонденсациялық шайырдың қатаюы кезінде жанама өнімдер (су, спирт) шығарылады, бұл полимердің кеуектілігіне және электрооқшауланған қасиеттерінің төмендеуіне әкеледі.

*Фенолформальдегидтік* шайыр — катализатор бар кезінде  $C_6H_5OH$  (карбол қышқылы) фенолдың  $H_2CO$  формальдегидпен поликонденсациялану нәтижесінде түзілетін өнім болып табылатын уақыт бойынша бірінші болып шығатын синтетикалық шайырлар. Егер де шайыр жасалу реакциясына сілтілік катализатор (көбіне аммиак қолданылады, себебі ол қоспалардың дайын шайырында электролитикалық сипатты қалдырмайды) қолданылған жағдайда фенолдың бір моль шамасына формальдегидтің бір моль шамасынан астам мөлшері қатысса, онда *гетинакс* пен *текстолит* дайындау кезінде материалдарды сіңіру үшін қолданылатын термореактивті шайыр – *бакелит* шығады.

Егер де шайыр түзілу реакциясында фенолдың артық мөлшері болатын болса, онда қышқылдық катализатор (мысалға, тұз қышқылы) қатысқан кезінде түзілетін термоилімді шайыр – *новолак* түзіледі, ол пресс-ұнтағын дайындау үшін қолданылады.

*Полиэфирлік* шайыр көп атомдық қышқылдармен көп атомдық спирттің поликонденсациялану нәтижесінде түзіледі. Бұл кезде *термоилімді шайырларды* екі атомдық спирттен (гли-колей) алады, олар молекулада  $OH$  тобының екі гидроксилды топтан және молекулада  $COOH$  карбоксил тобындағы екі негізгі органикалық қышқылдан алады.

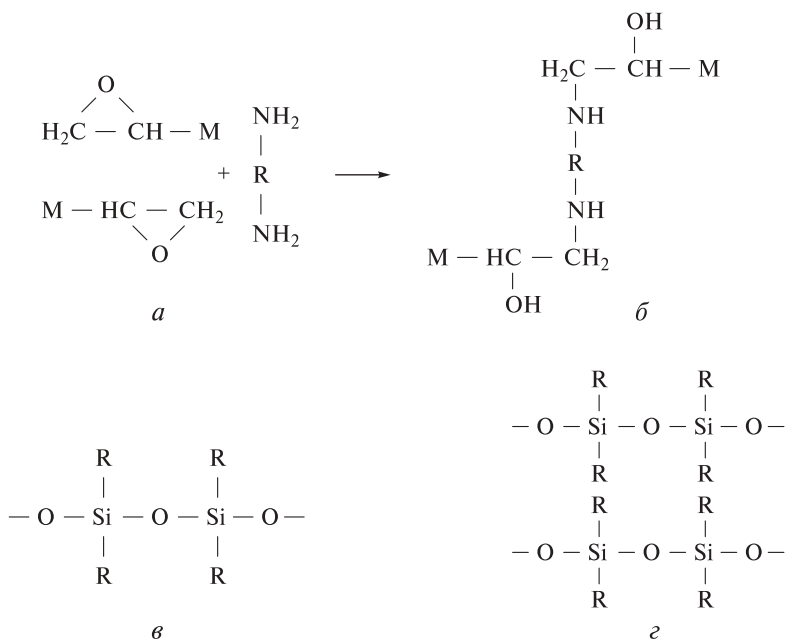
*Термореактивті шайырларды* үш атомдық спирттен және саны екеуден аспайтын негізгі қышқылдан жасалады. Осылайша, термореактивті глифталенген шайырды үш атомдық спирт – глицерин -  $C_3H_5(OH)_3$  — және оны фталенген ангидридпен поликонденсациялану нәтижесінде түзіледі (нафталинмен қышқылдану өнімі). Глифталденген шайырды миканиттерді жабыстыру үшін (слюда

негізіндегі оқшауланған материалдар үшін) және электр машиналарды оқшауларының сіңірілуін жүзеге асыру үшін қолданылады.

*Эпоксидты шайыр* — молекулаларында белсенді эпоксидті топтар болатын реакцияға қабілеттері болатын олигомерлік (полимерлердің молекулярлы массалары салыстырмалы түрде үлкен емес) және молекулалары белсенді эпоксидті топтардан тұратын полимерлік заттардан тұрады.

Бастапқы күйде бұл шайырлар сызықтық құрылымда болады (4.5, а сурет); сызықтық молекуланың әрбір ұшында эпоксидты топ орналасады. Таза күйінде олар ұзақ сақтау кезінде өз қабілеттерін сақтайтын тұтқыр сұйықтықтар ретінде болады. Жұмыс шайыры таза шайыр мен *толтырма, пластификатор және қатайтқыш* композициясының полимеризациясы нәтижесінде катализатор қатысуымен түзіледі.

Қатайтқыштар ретінде *диаминдары* —  $\text{H}_2\text{N}-\text{R}-\text{NH}_2$  — қолданылады, мұндағы R — қатты реакцияға қабілеті болатын, кинетикалық түрде тәуелсіз бөлшек, буланбаған электрондары болатын радикал, мысалға, метил ( $\text{CH}_3$ ), этил ( $\text{C}_2\text{H}_5$ ), фенил ( $\text{C}_6\text{H}_5$ ). Түзілетін термореактивті шайырда молекуланың кеңістіктік құрылымы болады (4.5, б суреті), сол себепті оның жоғары жылу беріктілігін және ылғал өткізгіштігін қамтамасыз етеді.



4.5 сурет. Кеңістіктік полимердің құрылымы:

а — эпоксидты шайыр компоненттері; б — эпоксидты шайыр молекуласының құрылымы; в, г — кремний органикалық полимердің термостойқ және термореактивті құрылымы; М — сызықтық молекуаның қалған бөлігі

Эпоксидты шайыр салыстырмалы түрде аз шамадағы отыруымен (0,5...2,5 %), құрылымның әр түрлі материалдарына жақсы жабысушылық қасиеті, жақсы электрлік және механикалық қасиеттерге, қаттылау кезінде ұшпалы материалдардың жоқтығымен ерекшелінеді. Бірақ та олармен жұмыс жасағанда жоғары шамадағы токсиндікке байланысты сақтық таныту қажет. Ал қатып қалған эпоксидты шайырлар токсинді емес.

**Полиуретандар.** Бұл макромолекуланың негізгі тізбегінде ( $\text{—NH—CO—O—}$ ) қайталанатын *уретандық* топтар түрінде болатын термореактивті және термоиілімді өнімдер болып табылады. Полиуретанды шайырлар қатты және иілімді (каучук немесе полиуретандық эластомерлер) түрлері бар. Полиуретанды эмаль-лак өздігінен шалғындыратын сымдар (мысалға, ПЭВТЛ маркасы) үшін оқшаулану ретінде қолданылады. Полиуретаннан жасалған тісті доңғалақтар берік, тозуға шыдамды және қышқылдар, май мен бензинге төзімді.

**Кремнийорганикалық полимерлер (КОП).** Молекула құрылымының негізі ретінде кремнийоттекті қаңқа ...  $\text{—Si—O—Si—O—}$ .... алынады. *Термоиілімді КОП сызықтық* құрылымға ие (4.5, в сурет), ол құрылым кезінде кремнийдің әрбір атомы екі радикалмен байланысы болады (мысалға,  $\text{CH}_3\text{—}$  метил).

*Термореактивті КОП кеңістіктік* құрылымға ие (4.5, г сурет). Бұл полимерлердегі дисилоксандық байланыстар жоғары төзімділікпен ерекшелінеді, сол себепті әрең дегендебұзылады, бұл қасиеттер бұл материалдардың қасиеттерін анықтайды: жоғары деңгейдегі жылу және ылғал беріктілігі, химиялық инерттілік, электрлік төзімділік.

Герметизациялайтын материалдар ретінде кремнийорганикалық каучук негізіндегі композициялар кең қолданысты алды, оларда бөлме температурасы кезінде қатайтқышпен біріккен кезінде икемді монолитті массаны түзейтін қабілеті болады, бұл масса бұйымды сыртқы ықпалдардан, соның ішінде механикалық ықпалдан (сымдарды жабу) қорғалады.

**ЫҚГМ түрлері.** ЫҚГМ-нің келесі трлері ажыратылады: сіндіргіш және жабын лактары; құйылған компаундтар; желімдер; пенопласт пен пенокомпаундтар; ұнтақ тәріздес термореактивті герметизациялайтын материалдар.

*Сіндіргіш және жабын лактары*— мөлшері ~ 40.50% болатын еріткішпен қосылған құрамдас заттар. Кептіру кезінде еріткіш ұшып кетеді де, қуыстарды қалдырып, оқшаулану материалының ылғал және жылу беріктілігін төмендетеді. Жабын полиуретандық лак УР-231 қолданылады.

*Құйылған компаундтар*— еріткішсіз термореактивті құйылатын материалдар (пластификатор мен толтырма қосылыстарымен); олардың полимеризациясы қатайтқыш кезінде жүзеге асырылады. Белгілі полиуретанды компаунд түрі «Виксинт К-68», герметик

«Виксинт У-1-18».

*Желімдер* — қабықша түзейтін синтетикалық материалдар. РЭЖ-н өндірудегі технологиялық процестерде көбіне өте жұқа қақтама және қабықшалы материалдарды қабаттық пластиктермен желімдеу үшін қолданады, нәтижесінде қақталған диэлектриктер түзіліп, олар баспа платаларды дайындау үшін қолданылады. Сонымен қатар желімдер платаның бетіндегі РЭЖ-ды герметизациялау және бекіту үшін қолданады. Жоғары жабысушылық және ылғал төзімділік қасиеті мысалға, ПУ-2 маркасындағы полиуретанжеліміне тән.

Термоиілімді шайыр негізіндегі поливинилацетат және перхлорвинил желімдеріне жақсы жабысушылық қасиеті тән, бірақ та оларда жылу төзімділігі төмен болады. Термореактивті шайыр негізіндегі фенолформальдегидті желімдер жоғары жылу төзімділікпен және жақсы жабысушылық қасиеттерімен сипатталады, бірақ та олардың когезия күштері (ішкі молекулярлық байланыс) көбіне адгезиялық байланыс күштерінен асып кетеді.

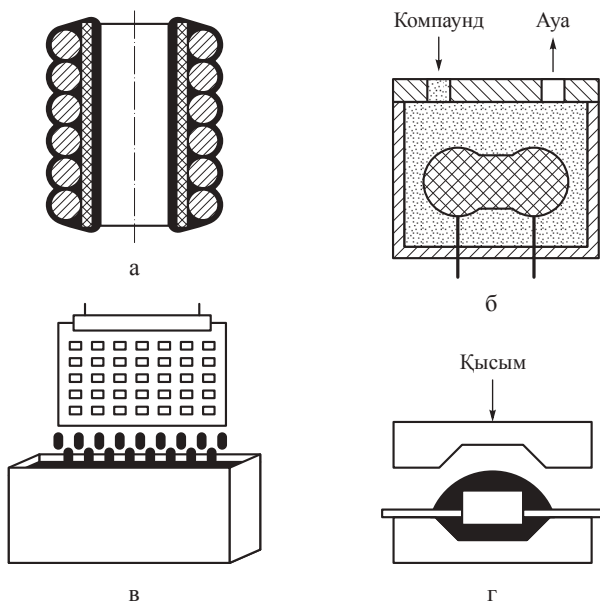
*Пенопласт пен пенокомпаундтар* — тұйықталған тесіктермен жасалған ұяшықты құрылымы бар газбен толтырылған полимерлік материалдардың бір түрі. Оларды алу процесі компоненттердің әсерлесуі нәтижесінде немесе композиция құрылымына енгізілген газ жасаушылардың ыдырау әрекеті кезінде шығарылатын газ әсерімен полимердің көпіршіктену процесіне негізделеді. Пенопласттар пресс тәсілімен бұйымдарды жасау үшін қолданылса; пенокомпаундтар — тербеліс әсерінен қорғау мақсатында прессіз тәсілмен түйіндер мен блоктар элементтерін герметизация және қуыстықты толтыру үшін қолданылады.

*Ұнтақ тәріздес* термореактивті герметизациялайтын материалдар дәрі немесе гранула түрінде шығарылып, тура пресстелу және қысым астында балқыту немесе бұйымдарды герметизациялау тәсілдерімен тропикалықклиматшартында қолдануға арналған электрооқшауланған максаттағы бұйымдарды дайындау үшін қолданылады.

## **Корпуссыз герметизациялау тәсілдері**

ЭРЖ-дың және екінші деңгейдегі функционалды түйіндерді (микрожинақтау) корпуссыз герметизациялау әрекеті кезінде олардың формасы мен мөлшерлері келесі тәсілдердің біреуімен салынған БЫҚГМ қабаты кесірінен өзгеруі мүмкін: сіңіру, құю, қаптау және қысыммен тексеру.

*Сіңіру* үшін (4.6, а сурет) сұйық сіңіру компаундтар қолданылады, олар бұйымның үлкен және кіші саңылауларын, үлкен және кіші қуыстарын, бұйымның тесіктері мен каналдарын толтырып, оның бетінде оқшауланған қабат түзейді. Бұл қабат ылғалдан қорғаумен қатар бұйым құрылымының жекеленген элементтердің (мысалға, катушка орамдары, трансформатор орамдары және т.б.) механикалық бірігуін қамтамасыз етеді және



4.6 сурет. Корпуссыз герметизациялау тәсілдерінің сызбасы:  
 а — сіңіру; б — құю; в — қаптау; г — қысыммен тексеру

оның электрлік беріктілік пен жылу өткізгіштік қабілеттерінің ұлғаюына мүмкіндік туғызады. Бұйымдарды арнайы вакуум-сіндіруші құралдарға сіңіріп қояды. Сіңіру әрекетін қорғаудың жекеленген тәуелсіз тәсіл ретінде, сонымен қатар құю процесімен бірге қолданады.

Құю кезінде (4.6, б сурет) жеңіл корпустың бұйым салынған бос кеңістігін шайырмен толтырады. Шайыр маркасын таңдау бұйымға қойылатын нақты талаптарға тәуелді болады. Осылайша, эпоксидты шайырлар бұйымға жоғары төзімділікті қамтамасыз етсе, полиуретан шайырлары жақсы адгезиялық қасиеттер, акрил шайыры – жоғары деңгейдегі термотөзімділікке ие болады; силикон шайырының полимеризациясы кезінде минималды ішкі кернеулер пайда болады; полиэфир шайырлары – арзан материалдар. Шайырдың полимеризациясы өткесін жеңіл корпуста деген қажеттілік жойылады.

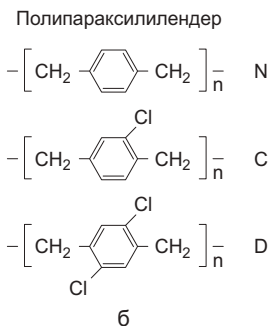
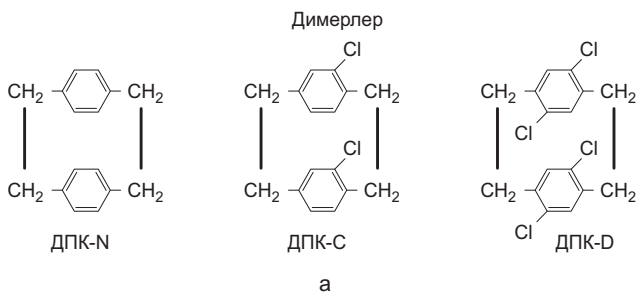
Қаптау кезінде бұйым бірнеше рет оқшауланған материалмен қапталады, мысалға, УР-231 уретан лағы, оның салынатын қабаттары бұйымның бетінде адгезия қасиеті негізінде ұстап тұрады (4.6, в сурет). Содан кейін бұйымды кептіру және полимеризация үшін термостатқа салады. Бұйымды қаптаудың екі-, үш рет қайталау әрекеті оның сенімді ылғалдан қорғалуын қамтамасыз етеді.

Екінші және үшінші ұрпақтағы РЭҚ-ы үшін қорғаудың жабын лактарымен қаптау түрінің бар тәсілдері эпоксидты, уретан және силикон шайырлары негізінде қабат қалыңдығы 80 мкм кезінде

ылғал қорғаудың қамтамыз ету талаптарын толық қанағаттандырады. Төртінші ұрпақтың элементарлық базаның пайда болуынан кейін (корпуссыз және шығыстары жоқ белсенді және бейтарап компоненттер, шығыс аралығындағы қадамы 0,625 мм болатын корпусталған интегралды сызбалар (ИС) және т.б.) бұл тәсілдің қолданылу облысы кенеттен қысқартылады, тіпті толық бас тарту әрекетіне дейін созылады.

Кең қолданысты *вакуумде газ фазасынан* полимерлік жабындыларды салу технологиясы плдды. Вакуумдық тұндырумен алынған қабықша құрылымы «нүктелік тесіктердің» болмауына байланысты сұйық орталарынан алынатын қабықшаның құрылымы мен қасиетінен елеулі түрде ерекшелінеді және ~ 10 мкм қалыңдығы кезінде қажетті ылғалдан қорғау қасиеттерін қамтамасыз етеді. Көбіне *полипараксилилен жабындары* қолданылады (ППКЖ).

Қабықшаны салу процесі үш кезеңнен тұрады: 150 °C температурасы және 100 Па қысым кезінде камерадағы модификациялардың біреуіндегі димердің *сублимациясы*; 680 °C температурасы мен 50 Па қысым кезінде *пиролиз* жолымен мономерді алу (4.7, а сурет); 25 °C температурасы мен и 10 Па қысым кезінде соңыра полипараксилиленнің түзілуі орындалатын қорғалатын бетке қатысты мономердің түзілуі жасалады (4.7, б сурет).



4.7 сурет. Полипараксилилен жабындыларының құрылымы:

**а** — димер модификациясы ; **б** —полипараксилиленнің модификациясы

ППКЖ артықшылығы болып жоғары оқшаулағыш қасиеттері, аз шамадағы газ- және ылғал өткізгіштігі, қалыпты температура кезінде жабынды қалыптастыру мүмкіндігі, күрделі конфигурациядағы бұйымдарда қалыңдық бойынша жабын біртектілігі, токсиндіктің болмауы сияқты қабілеттері алынады. Жабудың бұл түрі ең алғаш Union Carbide(АҚШ) фирмасы, орнатуларды жасау және ППКЖ синтез облысындағы жетекші фирмасы NOVA TRAN Corp. (АҚШ) қолданды.

Қазіргі таңда дипараксилилен (ТУ6-14-50 — 96) және дихлордипараксилилен (ТУ6-14-88 — 96) кеңестік өнімдерінің бастапқы өнімдерінің өндірісі игерілген. Бұл материалдарға салалық стандарттар енгізілген: ОСТ В107.460007.008 — 2000 «Радио-электронды аппаратура. Құрастыру-монтаждау өндірісі. Параксилилен және хлорпараксилилен негізіндегі жабын», ОСТ107.9.4003 —96 «Лакбояулы жабындар. Салу технологиясының техникалық талаптары» және РД107.9.4002 — 96 «Лакбояулы жабындар. Қолдану облысы, қасиеттері, номенклатурасы».

РЭҚ-дың модельдерінің ылғалдан қорғауын жүзеге асыру үшін бұл материалдарды қолдану жоғары деңгейлі ылғалдылық шартында жұмыс жасап, 2.1...2.5 ГОСТ РВ 20.57.306 — 98 қолданылу топтарының талаптарына сәйкес келеді.

*Қысыммен тексеру* кезінде (4.6, 2 сурет) бұйым айналасында оқшауланған материалдың қабаты түзіледі, ол пресс-ұнтағының бірігуі нәтижесінде алынды. Қысыммен тексеру арнайы матрицалық формаларда жоғары температура және қысым кезінде жүзеге асырылады. Герметизацияның бұл тәсілін құрылымдық түрде қарапайым және жеңіл бұйымдарды қорғау үшін қолдану жөн: транзисторлар, микросызбалар, конденсаторлар, ЫҚТМ-дың кейбір қабаттары үшін, ылғалдан қорғаудан басқа, салмақ түсіретін құрылымның, каркастың функцияларын жүзеге асыруы мүмкін.

Ылғал қорғаудың қарастырылған тәсілдері өзіне тиісті технологиялық ерекшеліктер мен қолдану бойынша шектеулерден тұрады, олар қорғалатын бұйымға мүмкін әсер етулермен байланысты болады. Сол себепті бұйымның өндірісі және қолданылудың шарттарын қанағаттандыратын әрбір рет ылғалдан қорғау тәсілі таңдалады.

## **Антикоррозиялық және сәндік жабындар**

РЭҚ-дың салмақ түсіретін құрылымдардың металл бетін коррозиядан және сәндік мақсатта қорғау үшін гальваникалық емес металл және бейметалл) гальваникалық және химиялық жабындылар қолданылады.

**Гальваникалық емес жабындылар.** Гальваникалық емес жабындылар процесінде тізбектеп өтеді: булану немесе тозандату жолымен материалдың *диспергирлеу* әрекеті; қорғалатын бетке материалдың *ауысуы* және *қоршалуы*; тұтасу күштері көмегімен бет жабынының механикалық *ұстап қалуы*. Жабынның қажетті қалыңдығын диспергирлеу процесінің қарқындылығын өзгерту, ауыстыру процесінің тиімділігін ұлғайту және жабын салудың уақытын өзгерту арқылы алады.

*Металл гальваникалық жабындыларға* жатады: вакуумдық булану, катодтық тозаңдату, ыстық тозаңдату және ыстық металлизациясы (дәнекерлеу).

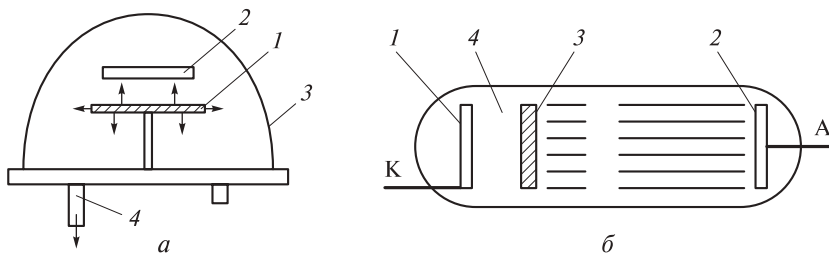
*Вакуумдық булану* тәсілі (4.8, а сурет) металл буының қысымыбулану камерасындағы қысымнан асқан кезіндегі (3)( $1 \cdot 10^{-3}$  Па тәртібінде) көбіне балқу температурасынан төмен температурада (2) нысанаға қоршалатын(1) металдың қарқынды булану құбылысына негізделеді. Бұл тәсіл кез келген қабықшаларды салуға мүмкіндік береді – диэлектрлік, өткізуші, магниттік және кез келген басқа да төсем түрлері.

*Катодтық тозаңдату* тәсілі (4.8, б сурет) катод (1) болып табылатын қоршалатын металдың анодқа (2) олар арасында жалынсыз газ разрядының болуы шартында ауысу процесіне негізделеді. Жабылатын бұйым (3)иондалған газ ағысында (қара катод кеңістігінің жанында орналасады (4).

*Ыстық тозаңдату* кезінде ығысқан газбен тозаңдатылатын балқытылған металл (қалайы, цинк) қорғалатын бұйымның бетінде шоғырланады. Тәсілдің негізгі артықшылықтары ретінде технология қарапайымдылығы мен жабу бетінің шексіздігі болып саналады; кемшілігі – қорғаныс қабатының қорғалатын бетпен бірігу процесінің жоғары емес тұрақтылығы.

*Ыстық металлизация* кезінде (қалайылау) балқытылған металл қорғалатын бұйымның ысытылған және оксидтерден тазартылған бетөне (флюсті қолдану арқылы) салынады. Тәсіл артықшылығы – технологияның салыстырмалы түрде қарапайымдылығы және қорғаныс қабатының қорғалатын бетпен жоғары деңгейлі бірігу деңгейі.

*Бейметалл гальваникалық емес жабындыларға* лакбояулық жабындылардың көптеген түрлері жатады.



4.8. Металл гальваникалық емес жабынның тәсілдер сызбалары:

а — вакуумдық булану (1 — металл; 2 — нысана; 3 — булану камерасы; 4 — сорғыш); б — катодтық тозаңдату (1 — катод; 2 — анод; 3 — нысана; 4 — «қара» катод кеңістігі).

**Гальваникалық жабындылар.** Қорғаныстың гальваникалық тәсілдерінің негізінде қорғалатын металл бетіне оның тұздарының сулы ерітінділерінің жабындалары арқылы электрохимиялық немесе электролитикалық (анодты немесе катодты) қоршалу жасалады. Процесс түрі негіздемедегі және электрохимиялық потенциалдар қатарында металдар күйін анықтайды:

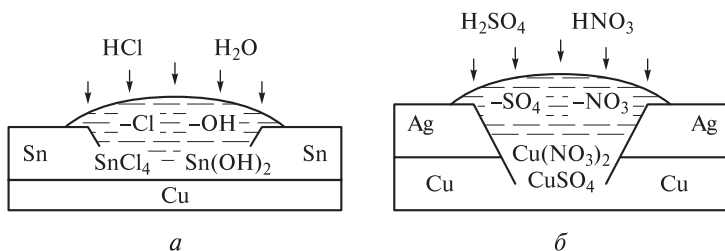
|       |       |       |      |       |       |   |       |      |       |      |
|-------|-------|-------|------|-------|-------|---|-------|------|-------|------|
| Li    | Zn    | Fe    | Cd   | Ni    | Sn    | H | Cu    | Ag   | Hg    | Au   |
| -3,02 | -0,76 | -0,44 | -0,4 | -0,24 | -0,13 | 0 | +0,34 | +0,8 | +0,86 | +1,4 |

Сол жағында орналасқан материалдар тұздар ерітінділерінен оң жақта орналасқан металдарды ығыстырады, ал сутектен оң жағында орналасқан металдар оның қышқылдан ығыстырады.

*Анодты жабын* кезінде (мысалға, мысты қалайымен қалайылау кезінде) жабын металының электрохимиялық потенциалы негіздеме металының потенциалынан төмен деңгейде болады. Осының арқасында негіздеменің механикалық және электрохимиялық қорғанысы қамтамасыз етіледі. Шынымен де материалда бұзушылықтар мен саңылаулар анықталған кезінде «негіздеме металы(Cu) — жабын металы(Sn) — ерітілетін қоршаған орта ( $H_2O$ ,  $HCl$ )» (4.9, а сурет) жүйені тұйықталған гальваникалық элемент ретінде қарастыруға болады.

Бұл кездегі электролиз процесінде жабын металының ерітілуі (қалайы) негіздемегі металл (мыс) электролизіне қарағанда тезірек өтеді, себебі қалайының белсендірілу энергиясы азырақ болады да, ол  $SnCl_4$  хлорлы қалайы және  $Sn(OH)_2$  қалайы шала тотықтың гидраты түзілу арқылы ерітіле бастайды.

Катодтық жабын кезінде (мысалға, мысты күмістеу арқылы) электрохимиялық потенциал және металды белсендіру энергиясы негіздемедегі металдың белсендіру энергиясы мен потенциалына қарағанда көбірек болады, сол себепті тек механикалық қорғалу жасалады. Жабын материалында бұзушылықтар мен саңылаулар болған кезінде (4.9, б сурет) «негіздеме металы(Cu) — жабын металы(Ag) — ерітілетін қоршаған орта ( $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ )» жүйесін сонымен қатар қысқа тұйықталған гальваникалық элемент ретінде қарастыруға мүмкіндік береді.



4.9 сурет. Бет қорғалуының қорғаныс механизмдері:

а — анодты жабынды қолдану арқылы;

б — катодтық жабынды қолдану арқылы.

Электролиз процесі кезінде негіздеме металының ерітілуі (Cu) жабын металына (Ag) қарағанда тезірек өтеді, себебі мыстың белсендіру энергиясы аз шамада болады және ол мыстың  $(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2)$  нитраты және  $(\text{CuSO}_4)$  сульфаттың түзілуімен бірге жүзеге асырылады.

**Химиялық жабындылар.** Қорғаныстың химиялық тәсілдері қорғалатын металл бұйымының оған сілтілер мен қышқылдар әсер еткен кезінде жұқа беттік қабаттың құрылымын орнығуға негізделген. Көбіне оксидтеу, пассивлену, фосфаттау және қорғалатын беттердің азотталуы.

*Оксидтеу* процесінде металл бетінде сыртқы әсерлерге төзімді қалыңдығы 1,5 мкм шамасындағы оксид қабықшасы түзіледі. Қолданылатын электролиттерге сәйкес оксидтеу сілтілік, сілтілік емес (қышқылдық) және химиялық болып ажыратылады.

Сілтілік оксидтеу үшін (ұзақтығы ~ 75 мин) күйдіргіш сілтілердің әр түрлі тотықтырғыштар кезіндегі ыстық ( $150^\circ\text{C}$ -қа дейін) концентрацияланған ерітінділер қолданылады. *Сілтілік емес оксидтеу* процесі үшін болат бөлшектерінің кальций фосфаты мен темір оксидтерінің қалыңдығы 15 мкм болатын және коррозиялық төзімділігі мен механикалық беріктілігі бойынша сілтілік-нитратты ерітінділерде түзілетін қабықшадан асатын қорғаныс қабықшасы түзіледі. Алюминий және оның қоспаларының *химиялық оксидтеу процесі*  $100^\circ\text{C}$  температура кезінде және ~ 12 мин аралығында жүзеге асырады. Алынған қабықшаны өңдеу арқылы хромдық адгидрид ерітіндісіне бекітіп қояды ( $\text{CrO}_3$ ).

Түсті материалдардың *пассивлену* процесінде сілтілік металдардың бихроматтарының ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) және күкірт қышқылының қосылуымен қалыңдығы 0,01...0,5 мкм болатын қорғаныс қабығы түзіледі.

Фосфоттау процесінде қорғалатын металдың фосфаттарының ерітімейтін қабықшасының кристалдану процесінің химиялық реакциясы жүзеге асырылады. Мысалға, алюминийдің фосфоттану процесі ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) калий бихроматы және (NaF) фторлы натрий қосылған 10%-дық ерітіндіде қайнату жолымен өтеді. Қабықша алюминий фосфатынан тұрады және жұмсақ құрылымына байланысты оның адсорбционды қабілеттері жоғары болады, олар арқылы қабықша лабояу жабын астындағы грунттық қабат ретінде жиі қолданылады.

*Азоттау процесі* кезінде  $500\ldots 600^\circ\text{C}$  температура кезінде нитридтердің қатты еретінділер теміріндегі  $(\text{NH}_3)$  аммиак ағынымен шайылатын болат бөлшектерінің азотпен қанығу процесі өтеді. Азоттаудың максималды ұзақтығын *саңылаусыз* азотталған қабатын алу нәтижесінде анықтайды, ол қабат азоттың максималды және минималды азот концентрациясынан тұрады.

Процесс ұзақтығын ұлғайтқан кезінде орнатылған шектеулермен қатар азотталған қабаттың және металды өзінің сынғыштығы жоғарылайды.

### **Ажырайтын және ажырамайтын корпусстарда герметизациялау**

*Ажырайтын корпусстарда* гермобірігудің түйіні болып герметизация сенімділігін анықтайтын; сонымен қатар бұрыш параметрінің негізгі көрсеткіші ретінде оның периметрін алады. Периметрдің минималды мүмкін мәні ең кішкентай мәндегі оның элементтеріне қақпақшаның корпуспен біріктіру элементтеріне сәйкес келетін күшті қамтамасыз етеді.

Ажырайтын корпусстың герметизациялану деңгейі ұштастырылған элементтер беттерінің тығыздығына тәуелді болады, сонымен қатар бірігетін беттердің атомдары арасындағы контактқа түсетін нүктелердің санымен анықталады. Беттерді толық өңдеу арқылы *адгезионды қысым* күйі арқылы жетуге болады, ол қысым кезінде сығылғыштық құбылысы туындайды және бір дененің беттік қабатының бір дене бөлшектерінің өзара диффузиясымен бірге өтеді.

Практикалық жағдайлардың көбісінде ажырайтын корпусстың герметизациясы гермобірігудің кеңістігін иілімді материалмен (қорғасын, мыс, резеңке, картон) толтыру арқылы жүзеге асырылады. Бұл процесс кезінде резеңке тығыздауыштарды қолдану кезінде маңызды шарт болып резеңкенің жұмыс температураларының кең аралығында өзінің серпінді қасиеттерін сақтау әрекеті алынады. Бұл резеңке маркасын таңдау әрекетімен, гермобірігу кеңістігінің қажетті көлемімен, бекіткіштің нүктелер санын таңдау әрекетімен және сығу күшін есептеумен қамтамасыз етіледі. Сонымен қатар резеңке көлемінің кеңею коэффициенті  $\alpha_p$  болат металлына қарағанда ( $\alpha_p \sim 1 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}$ ) 10 есе үлкен, бұл қатынас оның кішкентай төзімділігі кезінде тығыздау түйінінің үзілуін туғызуы мүмкін.

*Ажырамайтын (вакуум-тығыздауыш X) корпусстардағы* герметизация деңгейі дәнекерленген және пісірілген жік сапасына, жаншып қақтауға немесе компаундпен жікті құю бітеулігіне тәуелді болады. Сонымен бірге жікті, гермоажыратқыш пен шыны немесе керамикадан тұратын өтпелі айырғыш құрайтын материалдардың ТКЛР қасиеттері корпус материалының ТКЛР қасиеттерімен үйлесімді болды. Сонымен қатар басқару органдарының вал және ось шығыстары фетр немесе фторопластан тұратын тығыздамамен тығыздалуы қажет, ал басқарудың органдарының өздері (тумблерлер, батырмалар) резеңке қалпақшалармен герметизацияланған.

Корпус ішіндегі герметизациялаудан кейін айдап шығарылатын түтік арқылы тоқты ажырату 1,3 Па шамасына дейін жүргізіледі және

герметизация сапасы тексеріледі. Содан кейін корпус құрғақ азотпен, аргон немесе гелиймен 0,1...0,15 МПа қысымына дейін толтырылады, содан кейін түтік сығылады да, дәнекерленеді. Газ ағынының шамасы,  $\text{м}^3/\text{Па}\cdot\text{с}$ , келесі формула негізінде анықталады:

$$Q = S\sqrt{2(\Delta p)^3 / p}$$

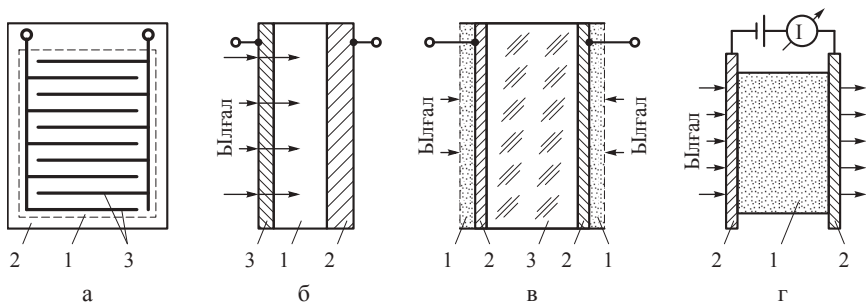
мұндағы  $S$  — ағын тесігінің ауданы,  $\text{м}^2$ ;  $\Delta p$  — қысым ауытқуы, Па;  $p$  — газ тығыздығы,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

### 4.3. РЭҚ-дың ылғалды өлшеу және саңылаусыздықты бақылау

#### Ылғалды тікелей өлшеу тәсілдері

Өлшеудің бұл тәсілдері үшін ылғалды сезімтал элементі ретінде сорбциялық типтегі ылғалдылық электрлік датчиктер (ЫЭД) алынады — сорбциялайтын электрооқшауланған қабықшалар, саңылаулы керамикалық конденсаторлар, адсорбталатын ситалл датчиктері. Бұл кезде датчиктің кез келген параметрін өлшейді —  $e$ ,  $\text{tg } \delta$ ,  $p_y$ ,  $p_s$ . ЫЭД негізіндегі ылғалдылық өлшеуіштерін *гигрометр* деп атайды (*грек. hygros* — ылғалды).

Сорбциялайтын электролитикалық *гигрометрлерінде* сезімтал элемент болып ЫЭД алынады (4.10, асурет), (LiCl) (1) 1...3%-дық литий хлоридінің сулы ерітіндісінің қабаты, біріктіруші затпен (2) төсемге екі қарсы кідік электродтары арасында (3)салынған. Ылғалдылықты өзгерткен кезінде ерітіндінің электр өткізгіштігі өзгереді. Бұл принципте ГС-210 және АГС-210 типтегі кеңестік гигрометрлер салыстырмалы ылғалдылық 15...98% шамасы кезінде және 5...50 °С температура кезінде және өлшеу қателігі  $\pm 3\%$  шамасында қолданылады.



4.10 сурет. Әр түрлі типтегі ылғалдылық датчиктерінің құрылымдары:

а — сорбционды электролитикалық (1 — литий хлориді ерітіндісі; 2 — төсем; 3 — электродтар); б — сорбционды алюминий-оксидті (1 — алюминий оксидінің қабықшасы; 2 — төсем; 3 — алтын қабаты); в — сорбционды пьезокварцталған (1 — ылғалды сорбциялайтын материал; 2 — күміс беті; 3 — кварц қабықшасы); г — кулонометрикалық (1 — гигроскоптық заттың қабықшасы; 2 — электродтар)

Сорбциялайтын *алюминий-оксидті гигрометрлерде* сезімтал элементі ретінде БГЭД (4.10, б сурет) алынады, яғни алюминий төсеміне салынған (2) су буы үшін енетін алтын қабатымен (3) тозандатылған ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (1) алюминий оксидінің кеуекті қабықшасы ретінде алынады. Ылғалдылық өзгерген кезінде электрлік сыйымдылық немесе датчиктің толық өткізгіштігі өзгереді.

«Волна -1М» сорбциялайтын *пъезокварцтық гигрометрлерде* (4.10, в сурет) БГЭД ( $\text{SiO}_2$  немесе  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) (1) ылғал сорбциялайтын материал ретінде кварц пластинасының (3) бетіне күміспен металлизирленген жұқа қабаты (2) алынады. Ылғалдылық өзгерген кезінде тербеліс ердің резонанстық жиілігі өзгереді. Бұл гигрометрдің жақсы метрологиялық сипаттамалары (салыстырмалы ылғалдылықтың өлшеу аралықтары 0.100%, жұмыс температураларының аралығы  $0.60^\circ\text{C}$ , қателік  $\pm 1,5\%$ ) оны калибрлеу үшін қолдануға мүмкіндік туғызады. Сонымен қатар ылғалдылық датчиктерін калибрлеу үшін тұздар ерітінділері қолданылады, су буының концентрациясы беттің жанында келесі мағыналарға ие болады, мысалға:

$\text{LiCl}$  - 12 %;  $\text{MgCl}$  - 33 %;  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  - 55 %;

$\text{NaCl}$  - 75 %;  $\text{KCl}$  - 86 %;  $\text{KNO}_3$  - 93 %

Ылғалдың микроконцентрациясын өлшеудің миллиондық үлестермен (ppm) саналатын негізгі тәсілі *кулонометрикалық тәсіл* (4.10, г сурет) деп аталады, бұл тәсіл гигроскопиялық заттың (1) ( $\text{P}_2\text{O}_5$  фосфор оксиді) қабықшасындағы екі платиналы ылғал өтпейтін электродтар (2) арасындағы тізбектегі  $I_{\text{тоқ}}$  күшінің өлшеуіне негізделеді. Қабықшада бір уақытта екі процесс жүзеге асырылады -  $\text{HPO}_3$  фосфор қышқылының түзілетін сынамалы газ ағынынан ылғалдың үздіксіз жұтылуы және фосфор оксидінің регенерациясы жұтылған ылғалдың электролизі:  $\text{P}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HPO}_3$ ,  $2\text{HPO}_3 \rightarrow \text{H}_2 + 0,5\text{O}_2 + \text{P}_2\text{O}_5$ .

Электрод арқылы өтетін ток күшінің екі процестері арасындағы тепе-теңдікті орнату кезінде ылғалдан тұратын газ шығыны мен ылғалдылық көбейтіндісіне пропорционалды болады.

Кулонометрикалық гигрометрлер *ылғал өлшеуіштері* деп аталады. «Байкал» типтегі ылғал өлшеуіштері талданатын газдың  $-50. + 60^\circ\text{C}$  температура аралығындағы 0,3.1 000 ppm аралықтағы ылғалдылықты 100 кПа қысым шамасында қателігі 4.10% мөлшерінде өлшеу мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

## Ылғалдылықты өлшеудің жанама тәсілдері

*Конденсациялық тәсіл* тұрақты қысым және бастапқы  $T$  температурасы болатын ылғалды газдың шық мөлшері пайда болғанға дейін салқындату кезінде тұйықталған көлемде шықтың  $T_p$

температурасын өлшеуге негізделген; онда ауаның салыстырмалы ылғалдылығы

$$\varphi = \exp [r_m (T^{-1} - T_p^{-1}/k)],$$

мұндағы  $r_m$  — бір молекулаға саналатын су буының жасырын жылуы, Дж;  $k$  — Больцман тұрақтысы,  $1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К.

Бұл тәсілді температураның кең аралығы үшін қолдануға болады  $-150...+350$  °С, ал газ қысымы  $0,01...40$  МПа. АҚГ-210 және АҚГ-212Ф гигрометрлері өлшеудің нақтылығын қамтамасыз етеді  $\pm 0,5$  %.

*Психрометрлік тәсіл* екі термометр көрсеткіштерінің айырмасын өлшеуге негізделген: зерттелетін ауаның  $t_c$  температурасын өлшейтін «құрғақ» және ол батырылған сұйықтықтың (көбіне, су)  $t_B$  температурасын өлшейтін «ылғалды». «Ылғалды» термометрдің бетінен су буының қарқындылығы парциалды қысым айырмасына тәуелді болады – зерттелетін ауадағы су буының қысымы  $p_c$  және «құрғақ» термометрдің  $t_c$  берілген температурасы кезіндегі қаныққан будың  $p_{\text{стак}}$  максималды қысымы. Бұл кездегі қысым «ылғалды» термометрдің температурасы кезінде  $p_c$  қысымы су буының парциалды қысымның максималды мәнінен аспайды. *Психрометрикалық өрнек* келесі түрде өрнектеледі:

$$p_c = p_{B\text{max}} - A_p(t_c - t_B)$$

мұндағы  $A_p$  — психрометрикалық тұрақты,  $A_p = 6,6 \cdot 10^{-4}$  Па/°С. Бұл өрнектің екі жағын  $p_{\text{стак}}$  шамасына бөліп, ауаның салыстырмалы ылғалдылығы үшін келесі өрнекті аламыз:

$$\varphi = \frac{p_c}{p_{B\text{max}}} = \frac{p_{B\text{max}}}{p_{B\text{max}}} - \frac{A_p}{p_{B\text{max}}}(t_c - t_B).$$

Ортаның берілген температура кезіндегі  $\varphi$  мәні және  $(t_c - t_B)$  температура айырмасы 4.1 кестесінде берілген. Тәсіл қателігі 10 %-дан астам шамасында саналады.

4.1 кесте

| $t_c$ °C | $t_c - t_B$ °C |     |     |     |     |     |
|----------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|          | 1              | 2   | 4   | 6   | 8   | 10  |
| 4        | 85             | 70  | 42  | 14  | —   | —   |
| 10       | 88             | 76  | 54  | 34  | 14  | —   |
| ...      | ...            | ... | ... | ... | ... | ... |
| 30       | 93             | 86  | 73  | 61  | 50  | 39  |

ПЭ типтегі сериялық электрленген автоматтандырылған психрометрлердің параметрлері:  $t_c = 10 \dots 35 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\phi = 20 \dots 100 \%$ , қателік  $\pm 8 \%$ .

### Саңылаусыздықты бақылау тәсілдері

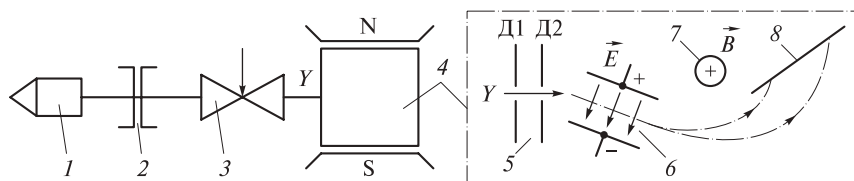
Ажырайтын немесе ажырамайтын корпустың саңылаусыздығын бақылау әрекеті атмосферасында герметизация өтетін сынамалық газдың  $Q$  ағын өлшеуі негізінде жүзеге асырылады. Стандартпен саңылаусыздықтың бес классы бекітілген, оған келесі  $Q$  ағын шамалары келесі мәндерге сәйкес келеді:

|                                                     |                         |                         |                 |                        |                     |
|-----------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------|------------------------|---------------------|
| Класс .....                                         | 1                       | 2                       | 3               | 4                      | 5                   |
| $Q, \text{м}^3 \cdot \text{Па/с} \dots \dots \dots$ | $\leq 5 \cdot 10^{-12}$ | $\leq 5 \cdot 10^{-11}$ | $\leq 10^{-10}$ | $\leq 5 \cdot 10^{-8}$ | $> 5 \cdot 10^{-8}$ |

Саңылаусыздықты бақылау тәсілі және жабдықтарын таңдау берілген класқа жататын ағын бақылауына қажетті *сезімталдық* талаптарына тәуелді болады. Белгілі түрлері: радиоактивті, масс-спектрометриялық, галогенді, вакуум-сұйықтықты, компресиялы-термиялық және химиялық тәсілдер. Әрбір бақылау тәсіліне белгілі бір түрдегі сынамалы газ қолданылады [15].

*Бақылаудың радиоактивті тәсілі* корпуста шығатын инертті газдың (радон-222, криптон-88) өздігінен пайда болатын ыдырауынан түзілетін радиоактивті изотоптың сәулеленуді тіркеуге негізделген, бұл газдың герметизациясы атмосферада өтеді. Бұл тәсіл өте сезімтал ( $Q = 10^{-14} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$ ), бірақ та өте күрделі және құны қымбат тәсіл болып табылады.

*Бақылаудың масс-спектрометриялық тәсілі* осы газға бағытталған масс-спектрометрлер көмегімен сынамалық газ ағынын тіркеу әрекетіне негізделеді (4.11 сурет). Шығарғыш қуыс бұрғысы (1), кіріс фланец (2) және қақпақша (3) арқылы масс-спектрометриялық камераға (4) түседі. Сынамалық газ ретінде инертті газ *гелий* қолданылады, ол жұмыста қауіпсіз және өтуші қабілеті жоғары деңгейлі болады ( $\rho_{\text{He}} = 0,18 \text{ кг/м}^3$ ). Құрылғыларда тесік іздеуші ағындарда  $180^\circ$ -градус- белгілену болатын масса-спетрометрлер қолданылады. Бөлшектің  $q/m$  салыстырмалы заряды  $m$  газдың оң



4.11. сурет. Масс-спектрометрлер сызбасы

1 — шығарма қуыс бұрғысы; 2 — кіріс фланец; 3 — қақпақша; 4 — камера; 5 — бағыттаушы диафрагмалар; 6 — электр өрісі; 7 — магнит өрісі; 8 — экран; Д — диафрагма

иондық шамасының қозғалыс траекториясының спектриметрлік камерада (4) олардың диафрагмадан өткендегі (5) электрлік (6) және (7) магнитті өрістердің бірлескен әрекет етуі кезінде анықталады. Траекторияның ауткуы (8) экранда тіркеледі.

Гелий тесік іздеуші ағынның кеңестік сезімталдығы ПТИ-11  $Q = 3 \cdot 10^{-14} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$ .

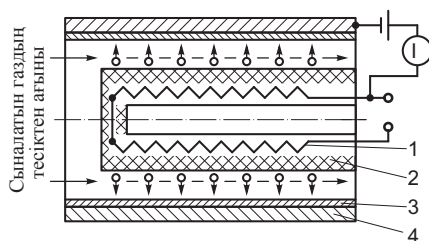
*Галогенді тесік іздеуші ағынның* әрекет ету принципі (4.12 сурет) галогенді эффект кезінде пайда болатын I иондық тоқты тіркеу әрекетіне негізделген. Жалпы эффект құрамында галоген болатын заттарда келесі элементтерді ұлғайтуды құрайды – фреондар ( $\text{CClF}_2$ ,  $\text{CCl}_3\text{F}$ ), дихлорэтан ( $\text{ClCH}_2$ ) немесе төрт хлорлы көміртек ( $\text{CCl}_4$ ), — олар сынамалық газ, сілтілік металдар атомдарының ионизация қарқындылығы ретінде (2) керамикалық негізден (1) қыздырғышпен  $900^\circ\text{C}$  температура кезінде буланатын (4) коллектордың (3) платина пластинасына қону үшін қолданылады.

Ауадағы тесік іздеуші ағынның сезімтал элементімен тіркелінетін галогеннің минималды концентрациясы  $1 \cdot 10^{-6}\%$  шамасында болады. Тәсіл сезімталдығы  $Q = 1 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$ .

*Бақылаудың вакуум-сұйықтық тәсілі* (4.13 сурет) керосин құйылған ыдысқа 1 кПа ыдырау шамасы жасалған герметизацияланған бұйымнан ағып шығатын газ ағынын визуалды бақылау әрекетіне негізделген. Тәсіл сезімталдығы  $Q = 10^{-8} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$ .

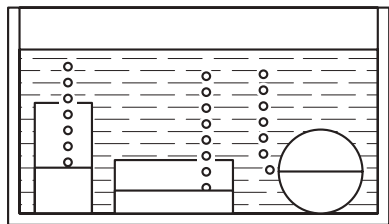
*Бақылаудың компрессиялы-термиялық тәсілі* вакуум-сұйықтық тәсілден жұмыс сұйықтығы ретінде қыздырылған май қолдану есебінен жоғары сезімталдықпен ( $Q = 4 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$ ) ерекшелінеді.

*Бақылаудың химиялық тәсілі* бақылау газының, мысалға аммиак, индикаторлық заттармен әсерлесу нәтижесінде реакциялар өз түсін өзгертеді.

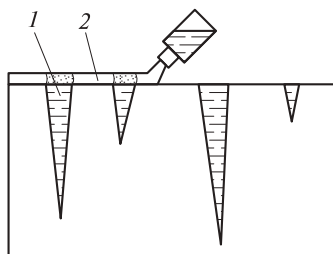


4.12 сурет. Галогенді тесік іздеушінің әрекет ету сызбасы:

1 — қыздырғыш; 2 — негіздеме; 3 — платина пластинасы; 4 — коллектор



4.13 сурет. Вакуум-сұйықтық тәсілмен саңылаусыздықты бақылау сызбасы



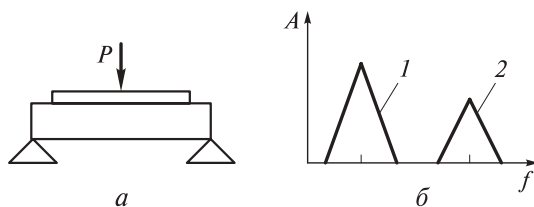
4.14 сурет. Капиллярлық ақаукөргіштік тәсілімен жарықтарды анықтау сызбасы:  
1 — пенетрант; 2 — айқындауыш  
заты

Сынақтар кезінде көбіне ауалы- немесе азотты-аммиакты қоспа қолданылады. Индикатор – заттар (азот қышқылдық сынап ( $\text{HgNO}_2$ ) немесе фенолфталеин) суда, глицерин немесе спиртке ерітіледі және олармен сүзгіш қағазын немесе ақшыл матасымен сіңіру.

Бақылау процесі кезінде бұйымды бақылау газымен сынақтық қысымға дейін толтырылады, бақыланатын аймақтар сіңірілген қағазбен жабылып,  $\sim 20$  мин шамасында ұсталады. Тәсіл сезімталдығы  $Q = 1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$ .

Үлкен мөлшерде шығарылатын ЭРЖ-дың (резистор, конденсатор, транзистор мен диодтар) жоғары ылғал төзімділігін корпуссыз герметизациямен қамтамасыз етеді. ИМС сыртқы факторлардың эксплуатация шарттарына, соның ішінде ылғал әсеріне тұрақтылығы металлокерамикалық корпуста герметизациямен қамтамасыз етіледі.

ИМС металлокерамикалық корпустардың саңылаусыздығын таңдаулы бақылауы үшін жарықтардың пайда болуымен байланысты капиллярлық ақаукөргіштік және акустоэмиссия тәсілдері қолданылады. Капиллярлық ақаукөргіштік тәсілімен саңылаусыздықты бақылау әрекетін арнайы индикаторлық сұйықтық



4.15 сурет. Микрожарықтарды анықтаудың акустоэмиссиялық тәсілі:  
а — механикалық жүктемені қосу тәсілі; б — акустикалық шу спектрлері: 1 — ТЖ облыс спектрі; 2 — ЖЖ облыс спектрі

(пенетрант) – органикалық еріткіштер қоспасында люминофор ерітінділерін анықтайды (ЛЖ типтегі сұйықтықтар, дефектоль, «Родамин-С» бояуы). Беттік-белсенді заттарды қосу капиллярдың ішінде орналасқан судың беттік керілуін төмендетеді және пенетранттың өтуін жақсартады. Корпуста жарықтар болған кезде (4.14 сурет) оған енетін (1) пенетранттың өту фактісін (2) айқындауыш заттармен тіркелінеді, мысалға, су, бор мен этил спиртінің қоспасымен, алдын ала пенетранттан тазартылған бетке жағылады. Пайда болатын сурет бойынша ақау типін анықтайды: қуыстық, коррозия, материал тозуы.

*Бақылаудың акустоэмиссионды тәсілі* (4.15 сурет) акустикалық шу  $A$  спектрінің күй ауытқуын оның эталондық мәндердің кеңдіктерінен тіркейді. Шулар корпусың  $P$  мөлшерленген механикалық жүктеме кезінде пайда болады. Микрожарықтар бар болған кезде акустикалық шулардың жиілік спектрі төмен жиілікті облыста (1 қисық), ал олардың жоқ болуы кезде – жоғары жиілікті облыста (2 қисық).

### Бақылау сұрақтары

Ылғал булары органикалық диэлектрикке қалай өтеді?

Ылғал әсері кезінде ЭРЖ-дың параметрлері қалай өзгереді?

Металдардың электрохимиялық коррозиясының механизмін түсіндіріңіз.

Қабаттық материалдардың электролитикалық деструкциясы дегеніміз не?

ЫҚГМ-дың классификациялық белгілері мен түрлерін атаңыз.

Бұйымдардың корпуссыз герметизациялау тәсілдерін атаңыз.

Гальваникалық қорғаныстың механизмдерін түсіндіріңіз.

Ылғал мен саңылаусыздық бақылауының тәсілдерін атаңыз.

РЭҚ-ды герметизациялау кезінде сынамалық газдар қандай мақсатпен қолданылады?

Капиллярлық ақау көргіштік тәсілінің мәні неде?

## Радиоэлектронды жаалғасуларын механикалық әсерлерден қорғау

### 5.1. РЭҚ-ға әсер ететін механикалық жүктемелер

Тасымалдаушы объектілерде эксплуатациялау процесінде және тасымалдау кезінде РЭҚ құрылыстары ішкі және сыртқы механикалық күштер әсеріне ұшырайды. *Ішкі күштер* РЭҚ өзінің ішіндегі механизм жұмысымен, әдетте айналмалы түйіндердің эксцентриситеті есебінен көрсетіледі, мысалы электрқозғалтқыштың тетігі, РЭҚ құрылыстарының «инерционды» немесе «күшті» механикалық қозуын тудырады. *Сыртқы күштердің* әсері кинематикалық қоздыруды тудырып, оларды бекіту нүктелері арқылы тасымалдаушы объектіден РЭҚ тапсырылады. [5]. Осындай әсерлерге үйлесімді, көп үйлесімді және кездейсоқ вибрациялар, бірреттік және көп ретті соққылар, сызықтық тездеткіш және акустикалық шу жатады. Әсердің әрбір түрі РЭҚ шынайы тасымалдаушы объектілері үшін кинематикалық параметрлер жинағы және олардың үлгілік мағыналарымен сипатталады; олардың әсер ету салдары динамикалық параметр—құрылыстардың деформациялану кезінде  $m$  салмақты РЭҚ элементіне әсер ететін  $F$  күші,  $M_F$  күш кезеңі немесе о механикалық кренуі сипатталады.

Осылайша, үйлесімді *вибрация* әсері  $A$  (ауытқу амплитудасы) параметрлері және  $f$  (жиілік)  $z = A \sin(2\pi ft)$  ауытқу заңдарымен  $R_2(\tau) = \sigma_z^2 r_z(\tau)$  беріледі; кездейсоқ вибрация әсері  $\sigma_z$  параметрлері бар кездейсоқ процесстің автокорреляция функциясымен беріледі. *Соққылық* әсер соққы импульсының формуласымен —  $a(t)$  күшеюдің өзгеру заңдылығы (тікбұрышты, үшбұрышты, полусинусоидты және басқа формалар), оның  $A_n$  амплитудасы және  $\tau_n$  ұзақтығымен белгіленеді. Күш ауырлығы аумағында әрекет ететін  $a_n$  *сызықтық күшеюдің* әсері оның өзіндік мағынасымен белгіленеді; әсер етудің осы түрі әлсіреуге берілмейді.

*Акустикалық* әсер дыбыс қарқындылығының деңгейімен беріледі

$$I = 10 \lg(E / E_0)$$

бұл жерде  $E$ —қайнар көз беретін дыбыс қарқындылығы, (реактивті ұшақ пен ракеталар қозғалтқыштары);  $E_0$  — тыныш ауа-райы кезінде әлсіз қозғалатын ауа ағынына сәйкес келетін дыбыс қарқындылығы мағынасы,  $E_0 = 110^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>.

Акустикалық шу көздерімен құрылатын қалыпты ауа қысымынынан 20 % жететін Ар қысым ауытқулары герметикалық блоктар үшін қауіп төндіреді, оларды келесі формула бойынша санайды

$$\Delta p = \sqrt{Epc}$$

бұл жерде  $p$  — ауа тығыздылығы;  $c$  — дыбыстың ауадағы жылдамдығы.

РЭҚ жер бетінде орналасқан, теңіз, ауа және ракеталы-ғарыштық тасымалдаушы объектілерінің жағынан механикалық әсердің жалпыланған параметрлері 5.1. кестеде көрсетілген.

Эксплуатациялаудың белгілі шарттарына қолданатын және тасымалдаушы объектілерде функцияларды орындау бойынша РЭҚ екі түрі ерекшеленеді:

1) Механикалық әсер беруге дейін және алудан кейін белгіленген нормалар шеңберінде өз параметрлерін сақтайтын *вибро-* және *соққыға төзімді* РЭҚ;

2) белгіленген нормалар шеңберінде, оның ішінде механикалық әсер уақытында да өз параметрлерін сақтайтын *вибро-* және *соққыға төзімді* РЭҚ.

Вибро-және соққыға төзімді РЭҚ мысалы болып ғарыштық ұшқыш аппараттарына (ҒҰА) орналастырылатын аппаратура есептеледі, оның жұмыс жасауы ҒҰА есеп орбитасына шығарылғаннан кейін басталады. Бұл ретте вибро және соққыға төзімділік бойынша талаптар ұшудың белсенді аумағының қысқа уақытты кезеңіне таралады.

Вибро-жәнесоққыға төзімді РЭҚ мысалы болып қозғалмалы ұзақ уақыт әрекет ететін объектілерге орналастырылған РЭҚ— автокөлік, ұшақ, түкұшақтар саналады. Осындай РЭҚ үшін вибро-жәнесоққыға төзімділік бойынша талаптар оларды қолданудың барлық кезеңіне таралады. РЭҚ құрылыстарында механикалық әсер нәтижесіндеқайтымды және қайтымсыз өзгертулер болады.

*Қайтымды өзгертулер* жұмыс жасау тұрақтылығын уақытша бұзылуымен байланысты және РЭҚ, құрылыстар және монтажды жалғасуларда пайда болатын виброшу түрінде көрінеді.

5.1 кесте

| Вибрация, 14 қаттылық дәрежелері |                                | Соыққылар, 4 қаттылық дәрежесі |                       | Сызықтық күшейту, 15 қаттылық дәрежелері | Акустикалық шу, 5 қаттылық дәрежелері |                      |
|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------|------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------|
| f Гц жиілігі                     | $a_b$ , м/с <sup>2</sup> күшею | A амплитудасы м/с <sup>2</sup> | $T_n$ , мс ұзақтылығы | $a_d$ , м/с <sup>2</sup> күшею           | дәреже I, дБ                          | f, Гц жиілігі        |
| 5... 5 000                       | 10...200                       | 50...150                       | 5...15                | 20...500                                 | 85...170                              | 50...10 <sup>3</sup> |

Элементтердің геометрикалық өлшемдерінің өзгеруі осы элементтердің зиянды модуляциясы параметрлерінің (сыйымдылық, индуктивтілік, өткізгіштік) пайда болуына әкеп соғады. Ажырайтын және ажырамайтын жалғасулар мен реледегі электр байланысының бұзылуы электр дабылдарының салдырын, нысаналаудың пайда болуын және электр және магнитті салалар параметрлерінің өзгеруін тудырады.

*Қайтымсыз өзгертулер* олардың деформациялануының әртүрлері үшін құрылыс материалдарының төзімділігі шектерінің асуы, механикалық әсермен аздап микрозақымдануды жинаумен байланысты материалдардың шаршау құбылысының пайда болу салдарынан РЭҚ құрылысының тұтастығының бұзылуымен байланысты болады. Шаршау құбылысына көбінесе түсті металлдар шалдығады, олардың болат сияқты емес көрсетілген  $\sigma_{\text{выр}}$  шаршау шегі жоқ, олардың төзімділігі белгі ауыстырғыш деформацияның  $N$  циклдары санының өсуі бойынша төмендейді. Болат үшін  $N \rightarrow \infty$ , егер  $\sigma < \sigma_{\text{выр}} \approx 1,3$  МПа.

## 5.2. РЭҚ құрылыстарымен олардың есеп модельдері

Сыртқы механикалық әсерге шалдығатын РЭҚ құрылыстарының динамикалық жағдайлар талдау амалдарының бірі белгіленген бастапқы шарттар жағдайында құрылыс қозғалысы параметрлерінің – орын ауыстыру, жылдамдық пен күшеюге біркелкі дифференциалды өрнектер жүйесін құрастыру және шешу болып табылады. Өрнектерге РЭҚ құрылыстарының физикалық және конструктивті параметрлері және сыртқы әсер параметрлері туралы мәліметтер кіреді; бұл реттешынайы құрылысты бірдей есеп моделімен ауыстырады, ол:

- механикалық кернеу мен деформацияны тудыратын РЭҚ құрылыстарында статистикалық және динамикалық процесстерді толық немесе бөлшектеп көрсетуі;

- оларды бекіту амалдарын есепке алып өзіне РЭҚ нақты конструктивті элементтердің эквивалентті ұсыныстарын енгізуі;

- салмақ түсетін құрылыстар мен элементтер салмағын бөлу ерекшеліктерін, механикалық қасиеттердің анизотроптылығын, элементтер арасындағы шынайы байланыс қаттылығын, олардың деформациялануы және ерекше резонанс кезінде материалдардағы ішкі күйзеліс эффектілерін есепке алуы қажет.

РЭҚ шынайы құрылыстарының олардың есеп модельдеріне ауысуы *жорамалдарды* қабылдаумен мүмкін: модель өлшемділігі және бостандық жәредесінің саны, салмақты бөлу ерекшеліктері, иілгіш және иілгіш емес қарсылықтың сызықтық күші мен сыртқы күштерді салу амалдары туралы.

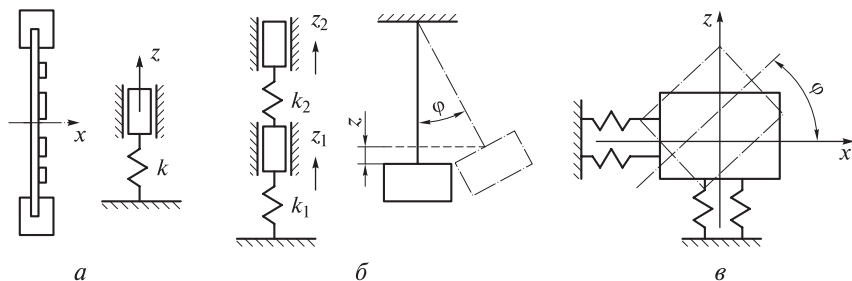
Бір өлшемді модельмен екі сызықтық өлшем үшіншіден едәуір кіші құрылыстардың элементтері көрсетіледі (монтаждыжалғасулар, өзектік құрылыстар); екі өлшемді модель жазық құрылыстарды (баспа платалары, қабырғалар, қақпақтар) сипаттау үшін әділ; үш өлшемді модельмен көлемді құрылыстар (стаған, каркастар, блоктар) көрсетіледі.

Механикалық құрылыстардың бостандық дәрежесінің саны деп жалпыланған тәуелсіз, уақыттық еркін кезінде кеңістікте оның барлық нүктелерін орнын анықтайтын координаталардың санын түсінеді. Бұл параметр механикалық құрылыстың тәртібін толық сипаттау үшін қажетті қозғалыс өрнектерінің санын айқындайды. Қатты дененің бостандық дәрежелерінің максималды саны — алты.

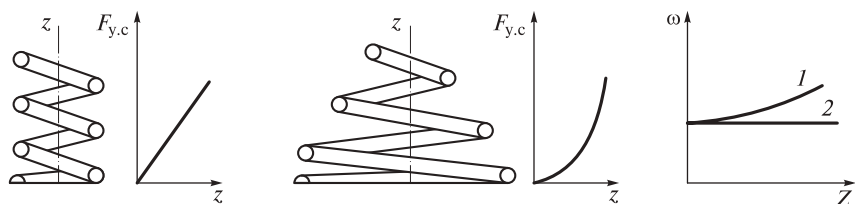
Құрылыс мысалдары: бостандықтың бір дәрежесімен — баспа платасы оның жазықтығына перпендикулярлы бағытта, амортизацияланған блок (5.1, а сурет); бостандықтың екі дәрежесімен — екі салмақты құрылыс (автокөліктің немесе теміржол платформасының амортизацияланған блогы), антенналардың бұрылу түйіндері (5.1, б сурет); бостандықтың көп санды дәрежесімен — объектіде РЭҚ құрылыстарының кеңістіктік бекітілуі (5.1, в сурет).

Бір, екі немесе үш өлшемді кеңістікте шынайы механикалық құрылыс элементтерінің салмағын бөлу әдетте белгіленген модельдегі осындайdan едәуір ерекшеленеді; бірақ іс жүзінде көбінесе құрылыс салмағы бір нүктеде (салмақ орталығы) немесе бір белдікте, жазықтықта немесе көлемде біркелкі жазылып шоғырланған модельдер пайдаланылады.

$F_{yx}$  қатты қарсылықтың күші  $z$  деформациясы дәрежесінен сызықты және сызықсыз тәуелді болуы мүмкін. Сызықтық тәуелділік  $F_{yx}(z) = kz$  (мұнда  $k$  — қаттылық коэффициенті) цилиндрлі серіппе (5.2, а сурет), өзек және пластиналардың деформациясы сипатты.



5.1 сурет. Бостандықтың бір (а), екі (б), үш және одан көп (в) дәрежелелері бар РЭҚ құрылыстары

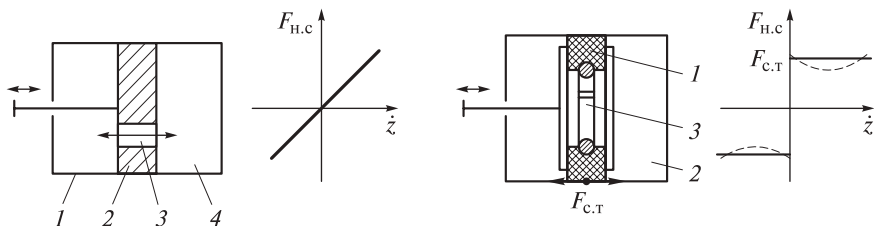


5.2 сурет. Құрылыстағы сызықты (а) және сызықсыз (б) қатты элементтерінің және сызықты (2) және сызықсыз (1) элементтерінің еркін ауытқу жиіктілігі тәуелділігінің (в) мысалдары

Қатты *сызықсыз элементтің* мысалы конустық серіппе болады, ол үшін  $F_{y,c}(z)=kz$  тәуелділігі әділ (5.2, б сурет). Бұл элементтің ауытқулардан бос  $\omega$  жиілігі  $Z$  амплитудасына тәуелді болады (5.2, в, қисық 1 сурет). Сол уақытта қатты сызықты элементтің ауытқулардан бос  $\omega$  жиілігі  $Z$  амплитудасына тәуелсіз болады (5.2, в, қисық 2 сурет).

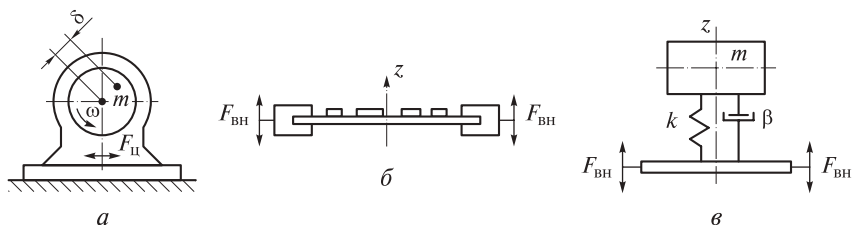
Қатты емес әсердің  $F_{nc}$  күші (диссипативті күш) энергияны шашудың кез-келген физикалық процесімен еретін шынайы механизмін қарастырады. Осы күштер пайда болатын құрылыс элементтері (демпфирлеу элементтері), жабысқақ немесе құрғақ үйкеліс есебінен ауытқулар энергиясын шашуы мүмкін.

Жабысқақ үйкелісті демпфирлеу элементтерінің (5.3, а сурет) цилиндрдегі 2 піспек 1 қозғалыс жылдамдығы калибрленген тесік 3 өлшемдеріне тәуелді болады, ол арқылы жұмыс денесі 4 (ауа, сұйықтық) өтеді, ал  $\beta$  — демпфирлеу коэффициенті жерде қатты емес қарсылықтың күші  $F_{nc} = \beta \dot{z}$  ауысу жылдамдығына сызықты тәуелді болады. Ол осындай элементтердің тәртібін сызықты дифференциалды басқарумен сипаттауға мүмкіндік береді.



5.3 сурет. Демпфирлеу элементтерінің құрылысы:

а — жабысқақ үйкеліспен (1 — цилиндр; 2 — піспек; 3 — калибрленген тесік; 4 — жұмыс денесі); б — «құрғақ» үйкеліспен (1 — диафрагма; 2 — цилиндр; 3 — серіппе)



5.4 сурет. Құрылыстың амалсыз ауытқуларының пайда болу шарттары: *а* — «күштеп» қоздыру есебінен, мысалы, айналатын ротор эксцентриситеті болған жағдайда; *б* — пластиналы құрылыс үшін кинематикалық қоздыру есебінен; *в* — белгіленген салмақты құрылыс үшін кинематикалық қоздыру есебінен

Құрғақ үйкелісті демпфирлеу элементтерінің (5.3, б сурет) цилиндрдегі 2 диафрагма қозғалысының жылдамдығы 1 цилиндр қабырғасына серіппемен 3 диафрагманың тастарын қысу күшіне тәуелді болады, және диафрагма қозғалысын бастау үшін құрғақ үйкеліс күшін  $F_{\text{СТ}}$  жеңу қажет.

Сондықтан  $F_{\text{СТ}}$  күші жылдамдықтан сызықсыз тәуелді болады, өйткені «өлі аумақтың» - сыртқы күштің минималды мағынасы одан кем болса диафрагма қозғалысы болмайды.

Механикалық құрылыстардың күш беретін және кинематикалық қоздырулары болады. *Күш беретін қоздыру* кезінде мәжбүрлейтін күш құрылыстың өзінің ішінен пайда болады. Мысалы, ол ортадан тепкіш күш

(5.4, а сурет) болуы мүмкін желдеткіштің ротор салмағы  $F_{\text{ц}}$  ~~массасы~~ эксцентриситетпен  $\delta$  басалды емес бұрыштық  $\omega$  жылдамдықпен айналуымен ескертілген. *Кинематикалық қоздыру кезінде* (5.4, б, в сурет) сырты мәжбүрлейтін күш  $F_{\text{РЭЖ}}$  беруі оларды тасымалдаушы объектілерге бекіту нүктелері арқылы жүзеге асырылады.

Келтірілген жорамалдар түбегейлі емес, бірақ көбінесе механикалық құрылыстар тәртібіне талдау жасау үшін олар жеткілікті болады.

### 5.3. Құрылыстардың динамикалық жағдайларының түрлері және оларды талдау амалдары

РЭЖ құрылыстарының жобалы зерттеулерін жасау процесінде көбінесе *пластиналы* және *өзекті* құрылыстардың қозғалыс параметрлерін, сонымен қатар келесі режимдердегі «*жинақталған салмақты*» механикалық құрылыстарды анықтайды:

- тепе-теңдік жағдайынан шығарылып, сосын өз еркіне берілгеннен кейін сырттан энергия ағымынан айырылған құрылыстар жасайтын *бос ауытқулар*;
- құрылыстың өз жылдамдығынан тәуелсіз берілген заң бойынша

уақытта өзгеретін сыртқы күштің әсерінен құрылыстар жасайтын *мәжбүрлі ауытқулар*;

- құрылыстар жасайтын және ауытқымайтын түрдегі энергия көзі есебінен қолданатын *автоауытқулар*;

- «толтыру» есебінен бір параметрінің (салмағы немесе байланыс қаттылығы) белгіленген мезгілді өзгертулер салдарынан құрылыстың тепе-теңдік жағдайына жақын болатын *параметрлі ауытқулар*; бірақ бұл ауытқулар мәжбүрлі болып табылмайды, өйткені енгізілетін әсер берілген күш түрінде көрінбейді, бірақ құрылыс автомомды болмағандықтан олар бос болмайды;

- бір уақытта пайда болатын қозғалыс жылдамдығының кенет өзгеруі, сосын үлкен соққы күштерінің жойылуымен сипатталатын өткінші *соққы* құбылыстары.

Талдау мақсаты құрылыстың - орын ауыстыруы, жылдамдығы мен күшеюі сияқты жағдайлардың бірінде болатын қозғалыс параметрлерін анықтау және пайда болатын динамикалық жүктеме есебі болып табылады. Айтылып өткен қозғалыс түрлерінің біреуін жасайтын механикалық құрылыстардың динамикалық жағдайын сипаттаудың жалпы тәсілі ол жүйедегі және қозғалыстың параметрлеріне тәуелді дифференциалды өрнектер болып есептеледі.

## 5.4. Пластиналы құрылыстардың динамикалық жағдайларын талдау

### Бос ауытқулар режимі

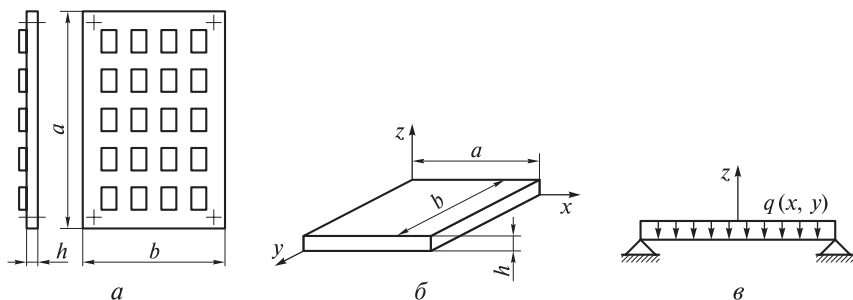
Талдау мақсаты РЭҚ пластиналы құрылысының өзіндік ауытқуларының жиілігін анықтау болып табылады, мысалы ЭРҚ баспа платасы ( 5.5, а сурет), қақапақтар блок қаптамасының қабырғалары.

Пластиналы құрылыстың топологиялық моделі 5.5, б суретте көрсетілген. Қозғалыстың дифференциалды өрнегін құрастыру үшін бөлінген статистикалық жүктеме әрекетімен  $q(x, y)$  (сурет 5.5, в) пластина бүктемесінің өрнегін пайдаланылу мүмкін:

$$D \left( \frac{d^4 z}{dx^4} + 2 \frac{d^4 z}{dx^2 dy^2} + \frac{d^4 z}{dy^4} \right) = q(x, y)$$

осы жерде  $D$ —пластинаның бүктеме қаттылығы,

$z$ —пластинаның  $(x, y)$ ,  $z = z(x, y)$  координаталар ~~дәлелсізінде бұйылу~~;  
 $E$ — 1-і түрлі иілгіштік модулі, Н/м<sup>2</sup>;  $\nu$  —Пуассон коэффициенті  $\alpha$ ;  $h$ — пластина қалыңдығы, м.



5.5 сурет. Пластиналы құрылыстың бос ауытқулары:  
 а — ЭРҚ баспа платасы; б — баспа платасының топологиялық моделі; в —  
 статистикалық жүктемені бөлу эпюрасы

инерция күшімен статистикалық жүктемені ауыстырып, өзіндік ауытқулар өрнегін аламыз:

$$m_0 \frac{d^2 z}{dt^2} + D \left( \frac{d^4 z}{dx^4} + 2 \frac{d^4 z}{dx^2 dy^2} + \frac{d^4 z}{dy^4} \right) = 0 \quad (5.1)$$

осы жерде  $m_0$  — пластинаның мерт бойы салмағы, кг/м<sup>2</sup>.

Өрнектің нақты шешімі (5.1) *бос тірелген* пластина жағдайы үшін табылған:

$$z(x, y, t) = v_{i,k}(x, y) \exp(j\omega_0 t)$$

осы жерде  $v_{i,k}(x, y) = A \sin(\pi x/a) \sin(k\pi y/b)$  түріндегі өрнекпен көрсетілетін,  $v_{i,k}(x, y)$  — ауытқулардың өзіндік нысан функциялары, онда  $x$  өзегі бағытында пластинаның ұзындығы және жалпақтығы бойынша салынатын  $b$  иік — жартылай толқындардың бүтін сандары. Өрнекке (5.1)  $z(x, y, t)$  шешімін қойып, аламыз

$$\frac{(i\pi)^4}{a^4} + 2 \frac{(i\pi)^4}{a^4} \frac{(k\pi)^4}{b^2} + \frac{(k\pi)^4}{b^4} = \omega_0^2 \frac{m_0}{D}$$

болатынын ескеріп келесі құрылыстар жиілігін жазамыз.

$$f_0 = \frac{\pi}{2} \left[ \left( \frac{i}{a} \right)^2 + \left( \frac{k}{b} \right)^2 \right] \sqrt{\frac{D}{m_0}}$$

Тәжірибе жүзінде пластина ауытқуларының өзіндік мағынасын, оларды шеттері бойынша бекітудің (қатты, топсалы, бос, аралас) әртүрлі амалдарымен анықтау қажет. Осындай жағдайларда ауытқулар жүйесінің кинетикалық және потенциалды энергиясының талдауына негізделген жақын амалдар қолданылады. Эмпирикалық тәуелділіктер декеңінен пайдаланады, мысалы, *Рэлей — Ритц*

формуласы негізгі тонның резонансты жиілігі үшін:

$$f_{11} = \frac{\alpha}{2\pi a^2} \sqrt{\frac{D}{m_0 + m_s}}$$

осы жерде  $\alpha$  — пластина жақтарының өлшемі ( $a/b$ ) мен оны бекіту амалдарына тәуелді коэффициенті;  $m_0$  және  $m_s$  — сәйкес пластинаның метр салмағы және оған орналасқан элементтер, кг/м<sup>2</sup>.

### Мәжбүрлі тербеліс режимі

ЖЭК-нің нақты пластиналық құрылымын күштеу тербелістері  $z = z(x, y, t)$  уақыттың және координаттар функциясы болып табылатын күрделі кеңістіктік нысанына ие.

Қозғалыстың бастапқы дифференциалдық теңдеуі өз мәжбүрлі тербеліс режимінде пластинаның құрылымына әрекет ететін барлық күштерді қамтуы тиіс және жалпы жағдайда келесі түрге ие:

$$F_H + F_{y.c.} + F_{H.c.} = F_{BH} \quad (5.2)$$

Мұнда  $F_H + F_{y.c.} + F_{H.c.}$  және  $F_{BH}$  — серпімді және серпімді емес кедергі мен сыртқы әрекеттердің тиісінше инерция күші, келесі түрде болады:

$$F_{y.c.} = D \left( \frac{d^4 z}{dx^4} + 2 \frac{d^4 z}{dx^2 dy^2} + \frac{d^4 z}{dy^4} \right); F_{H.c.} = j\gamma D \left( \frac{d^4 z}{dx^4} + 2 \frac{d^4 z}{dx^2 dy^2} + \frac{d^4 z}{dy^4} \right);$$

$$F_H = m_0 \ddot{z}(t); F_{BH} = m_0 \ddot{z}_a(t);$$

Серпімді кедергі күші жүктеменің таралуы әсерінен пластина иілу теңдеуі арқылы беріледі.

Серпімді емес кедергі күші  $F_{y.c.}$  серпімді кедергі күші пропорционалдығын,  $\pi/2$  бұрышына  $F_{H.c.}$  күші әрекетіне  $F_{y.c.}$  күші әрекетінің кешігуі мен тербелістің энергия диссипациясын ескеретін теңдеуімен берілген,  $\gamma$  механикалық жоғалудың коэффициенті мен  $F_{H.c.}$  және  $j$  көбейткіші есепке алынған металдан және қатаң полимерлерден жасалған табақтарға қатысты:

$F_{H.c.}$  сыртқы күшінің әрекетімен, пластинадағы дірілдің кинематикалық қозғалысы ) заңына сәйкес жүзеге асырылады. Осыны ескере отырып, теңдеуді (5.2) келесі түрде ұсынамыз:

$$m_0 \ddot{z}(t) + (1 + j\gamma D) \left( \frac{d^4 z}{dx^4} + 2 \frac{d^4 z}{dx^2 dy^2} + \frac{d^4 z}{dy^4} \right) m_0 \ddot{z}(t) \quad (5.3)$$

Шекаралық шарттар тиесілі діріс режиміндегі шексіз саны бар мүмкіндіктерді ескеріп (5.3) теңдеу шішімін осы түрде жазамыз: пластина шекарасындағы нөлдік жылжуы  $z$ , пластинаның бүйірлері бойынша жарты толқындардың жалпы саны. Онда

$$z(x, y, t) = \sum_{i=k=1}^{\infty} \frac{[\ddot{z}_a(t)] K_i(x) K_k(y)}{\omega_{0ik}^2 \sqrt{(1-v^2)^2 + \gamma^2 v^2}}$$

мұнда  $\omega_{0ik}$  — пластинаның табиғи жиілігі;  $i, k$  — гармоника сандарын тиісінше пластинаның ұзындығы мен ені бойынша анықтайтын бүтін сандар;  $K_i(x), K_k(y)$  - пластинаны қысу әдісіне тәуелді аналитикалық немесе кестеленген түрімен анықталатын тербелістердің меншікті үлгілерінің коэффициенттері,  $x/a$  және  $y/b$ ;  $v$  — нашарлау,  $v = \omega/\omega_0$  салыстырмалы координаттар мәні және гармоника номерлері.

Негізгі дыбысты тербелу үшін ( $i = 1, f = 1$ ) теңдеудің шешімі (5.4) мына түрде болады

$$z(x, y, t) = \frac{\ddot{z}_a(t) K_i(x) K_k(y)}{\omega_{0ik}^2 \sqrt{(1-v^2)^2 + \gamma^2 v^2}}$$

Бірліктер диапазонымен  $Z_a$  жеделдету амплитудасы арқылы анықталады, сондықтан  $\eta(x, y)$  жеделдету коэффициенті есептеледі, оның максималды мәні

$$\eta_{\max}(x, y) = \frac{\ddot{Z}(x, y)}{\ddot{Z}_a} = \frac{K_i(x) K_l(y)}{\sqrt{(1-v^2)^2 + \gamma^2 v^2}}$$

мына шартта:  $Z(x, y) = \max z(x, y, t)$ ;  $Z(x, y) = \text{rng} Z(x, y)$ ;

$Z_a = \max z_a(t)$ .

Ең үлкен жүктемелер  $V = 1$  болған кезде резонанста туындайды. Бұл жағдайда

$$\eta_{11\max}(x, y) = \frac{K_1(x) K_1(y)}{\gamma}$$

$(x, y)$  координаты бар пластинаның белгілі бір нүктесінде абсолютті барынша жеделдеу

$$\ddot{Z}_{ac6\max}(x, y) = \ddot{Z}_a \eta_{11\max} [\eta_{11\max}(x, y) + 1].$$

Бұл өрнек РЭҚ жобалау элементтеріндегі резонанс туындайтын күштермен механикалық кернеулерді есептеу мүмкіндігін береді және оларды рұқсат етілген мәндермен салыстырады. Салыстыру нәтижелері бойынша соңғы шешімдер қабылданады.

**Мысал. 5.1.** РЭҚ клеткалық  $\ddot{Z}_{абс.макс}(x, y)$  тербелістерінің  $f_{11}$  алғашқы табиғи жиілікті анықтау (5.5, а суретін карау) және  $\zeta_x = x/a = 0,25$   $\zeta_y = y/b = 0,35$  салыстырмалы координаттары бар осы жиіліктегі клетка нүктелеріндегі діріл тездету абсолютті мәнін,  $Z_{рез. доп} = 60g$  рұқсат етілген дірілдеу үдеткіші бар кварцтық резонатор орналасқан. Дененің беткі қабаттарына енгізілген ұяшыққа жазықтыққа перпендикуляр бағытта  $Z_a = 5g$  үдеткішпен 100 ... 450 Гц жиілік диапазонында діріл әсер етеді. Ұяшық негізінің материалы—СТЭФ-2- 50-1,5 маркалы стеклотекстолит; механикалық ысыраптар коэффициенті  $\gamma = 0,05$ ; ұяшық өлшемдері:  $a = b = 0,1$  м, ЭРК массасы  $m_{ЭРК} = 0,15$  кг. Ұяшықтың алдыңғы және артқы жағы алдыңғы панельде қатаң түрде және ГРПМ-61 типті басып шығарғыш коннекторы қысылған, ұяшықтың жоғарғы және төменгі жақтары бағыттауыштарда және еркін түрде қолдаулы.

*Шешім.* Біз Рэлей — Ритца формуласын қолданамыз. Қысқыштың көрсетілген әдісі үшін  $a/b=1$  қатынасы  $\alpha=29$  коэффициенті. D ұяшығының икемділік қаттылығын оның материалының келесі параметрлері үшін табамыз:

$$E = 3,02 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2; \nu = 0,22; \rho = 2,05 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

Онда  $D = Eh^3/[12(1 - \nu^2)] = 3,02 \cdot 10^{10} (1,5 \cdot 10^{-3})^3 / [12(1 - 0,22^2)] = 8,92 \text{ Н} \cdot \text{м}.$

$m_0$  жер массасын анықтаймыз және  $T_{ЭРК}$  ЭРК:

$$m_0 = \rho h = 2,05 \cdot 10^3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = 3,075 \text{ кг/м}^2;$$

$$m_{ЭРК} = 0,15 / (0,1 - 0,1) = 15 \text{ кг/м}^2.$$

Параметрлердің мәндерін Рэлей—Ритца формуласына қойып,  $f_{11} = 324$  Гц табамыз. Жеделдету бойынша жылдамдық коэффициенті

$$\eta_{11\max}(x, y) = \frac{K_1(\zeta_y)}{\gamma} = \frac{K_1(0,25)K_1(0,35)}{0,05} = \frac{0,714 \cdot 1,06}{0,05} = 15,14$$

(0,25; 0,35) координаты бар нүктесінде абсолютті жеделдету

$$\ddot{Z}_{абс.макс}(0,25; 0,35) = \ddot{Z}_a [\eta_{11\max}(x, y) + 1] = 5(15,14 + 1) = 81g$$

Резонанс кезіндегі пайда болған артық резонаторға мүмкін емес және оны қорғау жөнінде шаралар қолдану керектігін есеп көрсетті.

## 5.5. Механикалық құрылымдардың концентрацияланған массасы бар динамикалық жай-күйін талдау

Шоғырландырылған массасы бар механикалық құрылымдарға тасушы объектісімен байланысы бар байланыстың құрылымдық элементтері бар 3-ші және 4-ші дәрежедегі РЭҚ (блоктар, рамкалар,

тіректер) құрылымдары жатады.

Осы байланыстырушы элементтердің серпімді және демпфирлік қасиеттері жалпыға белгілі. Демек, динамикалық жай-күйді талдау, діріл мен соққы әсерінен құрылымдардың мәжбүрлеп тербелуінің табиғи жиіліктерін және параметрлерін анықтауға дейін азаяды. РЭҚ құрылымы тасымалдаушы объектінің шегіне тығыз байланысты болған кезде, наразылық әсерлері құрылымның ішкі элементтеріне тікелей жіберіледі, өзара қарым-қатынастың қатандығы жиі белгісіз. Бұл жағдайда динамикалық жай-күйді талдау құрылымдық бекіту элементтерінің көлік құралының корпусына (штепсельдер, бұрандалар) қауіпсіздігінің маржасын және құрылымдық элементтердің нақты массасына және ЭРҚ-ға әсер ететін механикалық жүктемелерді бағалауға септеуге әкеледі.

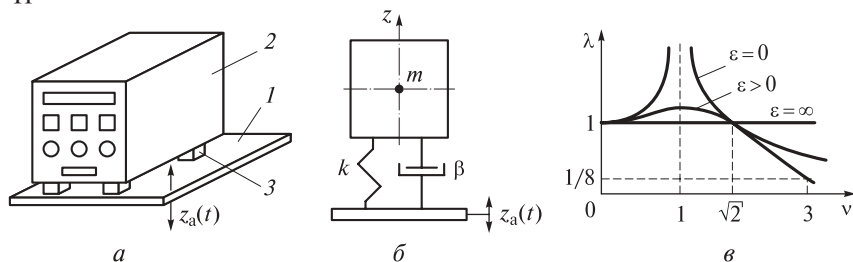
### Механикалық жүйенің кинематикалық қозғауы

Кинематикалық қозғалыс жағдайында (5.6, а-сурет), объект-тасушы 1 наразылықтардың көзі болып табылады, ал РЭҚ 2 онымен 3 шымыр элементтер арқылы байланысты.

5.6, б -суретте көрсетілген эквивалентті механикалық модельде  $m$  массалы блок тасушы-объектпен  $k$  серпімді элемент пен  $\beta$  демпфирленген элемент арқылы байланысты. Алдыңғы режимге қатысты сол болжамдар бойынша күштердің дифференциалдық теңдеуін жазамыз

$$m\ddot{z} + b\dot{z} + kz = \beta\ddot{z}_a + k\ddot{z}_a \quad (5.5)$$

Сыртқы әсерлері  $\ddot{z}_a(t) = \ddot{Z}_a \exp(j\omega t)$  және шартты орындаған жағдайда  $\beta > \beta_{\text{крит}} = 2\sqrt{km}$  (5.5) теңдеуінің шешімі  $z(t) = Z_B \exp(j\omega t)$  түріне ие.



Сур. 5.6. Кинематикалық қозу кезінде РЭҚ-ның еріксіз тербелісі:

а — физикалық модель; б — топологиялық модель; в — динамикалық күшейту коэффициентінің тәуелділіктерінің графиктері; 1 — объект-тасушы; 2 — блок құрылысы; 3 — созылмалы шымыр элемент

(5.5) теңдігіне осы шешімді қоя отырып, келесіге ие боламыз

$$Z_a(-m\omega^2 + j\omega\beta + k) = Z_a(j\omega\beta + k),$$

Осыдан динамикалық күшейту коэффициентінің мәнін табамыз

$$\lambda = \frac{Z_a}{Z_a} = \left| \frac{j\omega\beta + k}{k - m\omega^2 + j\omega\beta} \right| = \sqrt{\frac{1 + 4\varepsilon^2 v^2}{(1 - v^2)^2 + 4\varepsilon^2 v^2}}; \varepsilon = \frac{\beta}{\beta_{\text{крит}}}. \quad (5.6)$$

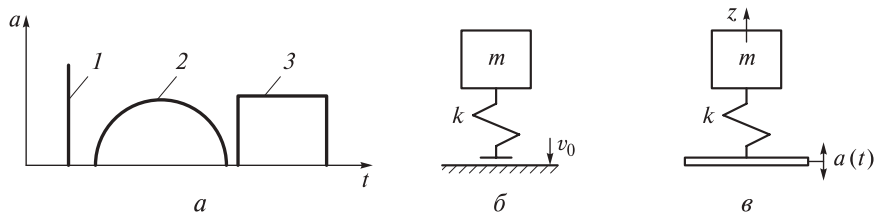
5.6 суретте, с динамикалық күшейту коэффициентінің қисықтар отбасы көрсетілген (5.6). Осы қисықтарды талдау көрсеткендей,  $\varepsilon = 0$  кезінде демпфирлеу жоқ,  $v$  өсімге сезімталдық ең көп және  $v = 1$  кезінде амплитуда шексіз артады;  $\varepsilon = \infty$  кезінде шымыр байланыс жоқ,  $v$  өсімге сезімталдық жоқ.  $v > \sqrt{2}$  мәндерін анықтау кезінде еріксіз тербелістердің амплитудасы сыртқы әсерлердің тербелістерінің амплитудасына қарағанда аз ( $\lambda < 1$ ).

Бұл серпімді элементінің қорғаныш қасиеттерін көрсетеді, соғұрлым оның қаттылығы азаяды. Демпфердің тұтқырлығы неғұрлым көп болса  $\rho$ , жүйенің сол резонанстық қасиеттерінің көрінісі соғұрлым кішірек, онда қорғаудың тиімділігі азаяды.

## Механикалық жүйеге соққы әсер ету

Тасымалдағыш объектісі бар РЭҚ конструкциясының бірдей серпімді қосылыс элементі діріл мен соққы жүктемелерін қабылдайтынын ескере отырып, серпімді сызықты элементтің көмегімен соққы импульстарынан қорғау тиімділігін талдау қажет.

5.7, а. суретте көрсетілген соққы жүктемелерінің әсерінен механикалық жүйелердің динамикалық жай-күйін талдауды импульстарының үш түрі үшін жүргіземіз.



Сур. 5.7. Соққы әсері:

$a$  — соққы импульсінің түрлері (1 — дельта-импульс; 2 — жартылай сусинусоидты импульс; 3 — тікбұрышты импульс);  $b$  — еркін құлау кезінде платформаға соқтығысқан жағдайына топологиялық моделі;  $c$  — платформаның соққы әсеріне арналған топологиялық моделі

Соққы *дельта-импульсінің* механикалық конструкцияға әсерін талдауда, массаның еркін құлдырайтын құрылымының платформасымен соқтығысқан сәтте  $m$  (сур. 5.7, б) және еркін дірілдеуден кейінгі қозғалыс кезінде  $v_0$  жылдамдығының жылдам өзгеруі мүмкін. Соққы импульсінің платформалық жағынан әсері қаттылығы бар  $k$  серпімді элемент арқылы жүзеге асырылады. Бұл жағдайда блоктық қозғалыс параметрлері екінші ретті дифференциалдық теңдеуді қанағаттандырады:  $mz'' + kz = 0$ , шешімі мына түрде

$$z(t) = A_1 \sin \omega_0 t + A_2 \cos \omega_0 t,$$

$$\text{мұнда } \omega_0 = \sqrt{k/m}$$

$$z(0) = 0 \text{ и } z'(0) = v_0 \text{ кезінде } A_1 = v_0/\omega_0, \text{ а } A_2 = 0 \text{ коэффициенті.}$$

Сондықтан,  $z(t) = (v_0/\omega_0) \sin \omega_0 t$ ,  $z'(t) = v_0 \cos \omega_0 t$ .

Соққы беру коэффициентінің максималды мәні

$$\lambda_{y0\max} = \ddot{z}_{\max} / g = v_0 \omega_0 / g$$

мұнда  $g$  — еркін құлауды жеделдету.

$a = G \sin \omega t$  түріндегі жартылай синусоид формасындағы соққы импульсінің соққы импульсінің әрекеті кезінде механикалық құрылыста күрделі қозғалыс болады (5.7с сурет): соққы импульсінің қозғалысы кезінде оның қозғалысы мәжбүрлеп тербеліс заңына сәйкес жүзеге асырылады, ал оның қолданылуын тоқтатқаннан кейін -соққы импульс аяқталған сәтте құрылымның қозғалыс параметрлеріне сәйкес келетін бастапқы шарттармен еркін діріл заңы бойынша. Бұл жағдайда блоктың қозғалыс дифференциалдық теңдеуі бар мына түрде

$$\ddot{z}_{\max} = \omega_0^2 z = G \sin \omega t \quad (5.7)$$

мұнда  $\omega_0$  — механикалық жүйенің табиғи тербеліс жиілігі,  $\omega_0^2 = k/m$ ;  $\omega$  — шартты жиілік,  $\omega = \pi/\tau$   $G$  — соққы импульсінің амплитудасы;  $\tau$  — соққы импульстің ұзақтығы.

Теңдеудің жалпы шешімі (5.7)

$$z(t) = A_c \sin \omega_0 t + A_b \sin \omega t,$$

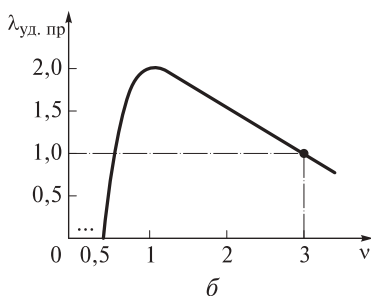
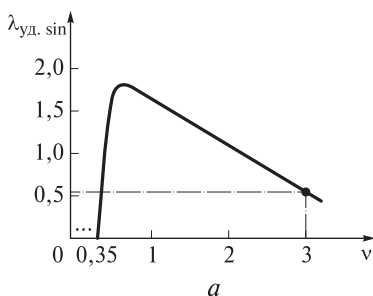
мұнда  $A_c$  и  $A_b$  — дұрыс және мәжбүрлі тербелістер амплитудасы.

Жартылай синусоидальды соққы импульсінің жеделдету үшін берілудің  $\lambda_{y0\max}$  коэффициенті үшін өрнек жазамыз

$$\lambda_{y0\sin} = \left[ 2v / (v^2 - 1) \right] \cos \pi / (2v) \quad (5.8)$$

*Тікбұрышты* соққы импульсінің ұзақтылық әсерінен қозғалыс дифференциалдық теңдеуі нысанға ие

$$\ddot{z} + \omega_0^2 z = G$$



Сур. 5.8. Жартылай синусоидальды (а) және тікбұрышты (б) әсер импульсінің жеделдету бойынша тасымалдау коэффициентінің кестесі

Аралық есептеулерді түсіріп, жеделдету бойынша тасымалдау коэффициенті үшін соңғы өрнек жазамыз:

$$\lambda_{\text{д.пр}} = 2\sin(\pi/2v). \quad (5.9)$$

Жеделдету бойынша тасымалдау коэффициентінің тәуелділік кестесі (5.8) ( $v \geq 0,35$  үшін) және (5.9) ( $v \geq 0,5$  үшін) 5.8 суретінде көрсетілген.

Конструкцияның серпінді *сызықты элементі* бар тасушы объектінің құрылымы мен платформасы бар еркіндіктің бір дәрежелі және нақтыланған массасының арасындағы байланыстың РЭҚ құрылымының динамикалық жай-күйінің талдау нәтижелері және бір мезгілде дірілдеуден және соққы жүктемелерінен бірдей тиімді қорғауды қамтамасыз ете алмайтындығын көрсетеді ( $\lambda$  мәндерін сол дислокациямен салыстыру 5.6, в және 5.8 суреттерде бейнеленген  $v=3$  бірдей растройкада мәндерін салыстыру). Соққы жүктемесін азайту үшін серпінді элементтің қаттылығын азайту ауыстырудың жылдам өсуіне әкеледі, ал ауыстыруды азайту үшін шектеуіштерді қолдану шектегіштердің шектен тыс қаттылығына байланысты түпнұсқадан асатын соққы жүктемелеріне әкелуі мүмкін.

### Серпінді сызықты емес элементі бар құрылымдардың мәжбүрлі тербелісі

Дірілдеу мен соққылықтың әсерінен тиімді қорғауды тегіс сызықты емес  $P(z)$  серпінді элемент қамтамасыз етеді. Шындығында, 5.9 суретте көрсетілгендей. 5.9, а,  $z_0$  бірегей ұзындығы және цилиндрлік 1 және конустық 2 серіппелердің бұрылыстар саны үшін  $P(z)$  қысық сызығындағы жазықтыққа тең, әлеуетті энергия резерві интервалда  $[0, z_0]$ , конус серіппесі үлкен. Демек, конус серіппесі соол серіппе кезінде үлкен соққы жүктемелерін де сіңіруі мүмкін. Сонымен қатар, серпінді механикалық элементтер жұмсақ (сурет 5.9, б) және қатты (сурет 5.9, в) сызықтық сипаттамалармен  $P(z)$  ерекшеленеді.

Серпімді сызықсыз элементтердің еркін дірілдерінің ерекшелігі олардың табиғи тербеліс жиілігінің амплитудаға тәуелділігі болып табылады.

5.9, г суретінде икемді сызықты элемент үшін  $\omega = f(z_0)$  тәуелділіктерін және «қатты» 2 және «жұмсақ» 3 сызықсыз элементтерді көрсету  $P(z)$  бейнеленген.

Мәжбүрлі тербелістерді талдау үшін, ол қалпына келтіретін серпімді күш  $P(z)$  сызықты сипатын ескеретін (диссипативті күшін ескермей) біз дифференциалдық қозғалыс теңдеуін қолданамыз:

$$m\ddot{z} + P(z) = F_0 \sin \omega t \quad (5.10)$$

Теңдеудің (5.10) нақты шешімі жоқ, сондықтан оны шешу үшін жуықтау әдісі қолданылады - сызықты немесе гармоникалық тепе-теңдік. Біз графоаналитикалық әдісті қолданамыз.  $P(z)$  симметриялық сипаттамасы үшін теңдеудің шешімі тек сызықты жүйелер үшін қатаң гармон болады. Алайда  $F(t)$  күші мәні мен  $z(t)$  ауысуы болғанда фиксированный уақыт кезінде максималды мәндеріне жеткен кезде,  $F_{\max} = F_0$ ,  $z_{\max} = A$ ,  $zm_{ax} = -A\omega^2$  - бұл шешім бастапқы теңдеуді жеке басына айналдырады. Бұл жағдайда дифференциалдық теңдеу (5.10) белгісіз амплитудасы  $A$  немесе тікелей  $P(A) = F_0 + mA\omega^2$  теңдеуіне қатысты алгебралық болады.

Симметриялық сызықты емес элементтің серпімді байланысы (5.10 а суреті)  $P(A)$  сызықшасын сызығына келтіреміз (Сурет 5.10, а) және  $m$ ,  $F_0$  және  $\omega$  мәндеріне сәйкес келетін күшті тербелістердің амплитудалық  $A_x$  мәнін графикалық түрде анықтаймыз.

Амплитудалық-жиілік сипаттамасын (АЧХ)  $A(\omega)$  құрастырған кезде, біз желінің теңдеуінде  $\omega^2$  коэффициенті көбейтілген жиілігімен

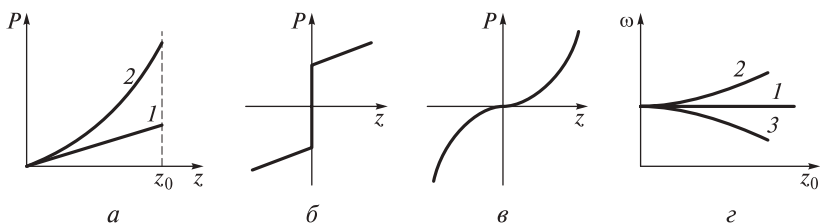
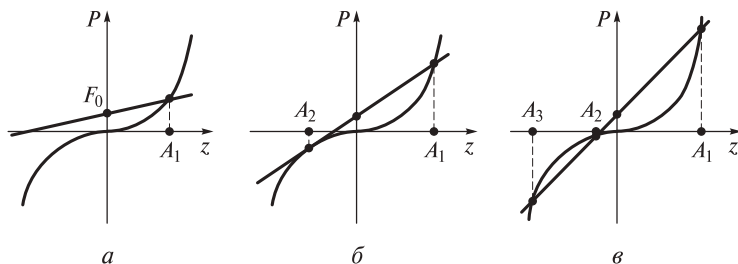


Рис. 5.9. Шымыр сызықты элемент:

а — Ықтимал энергияның салыстырмалы резерві (1 цилиндрлік серіппе); 2 — конустық серіппе); б —  $P(z)$  «жұмсақ» сипаты; в —  $P(z)$  «қатты» сипаты; г — табиғи тербелістер жиілігінің амплитудаға тәуелділігі (1 — сызықты элемент; 2, 3 —  $P(z)$  тиісінше «қатты» және «жұмсақ» сипаттамалары бар сызықты емес элементтер)



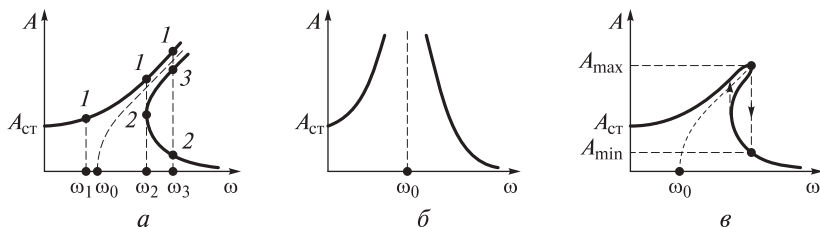
сур. 5.10. Сызықты емес дифференциалдық теңдеудің графикалық шешімі:  
 а — с бір түбірмен; б — екі түбірмен; в — үш түбірмен көрсетілген.

тік сызықтың бұрышын анықтаймыз, бұл айналадағы координаты бар нүктелер ( $F_0, 0$ ) сағат тіліне қарсы айналады; мәжбүрлі тербелістердің  $A_1$  амплитудасы артады және  $\omega$  жиілігінің белгілі бір мәнінен бастап  $A_2$  және  $A_3$  қосымша тамырлары пайда болады (5.10, б және в суреттерін қараңыз).

Осылайша,  $\omega$  жиілігінің мәнін өзгерту арқылы құрылыстың АЧХ -ні икемді сызықты емес элементпен құрастыра аламыз, оның 5.11, а. суретінен көре аламыз. Салыстыру үшін, 5.11 б суретінде, АЧХ серпімді сызықтық элементті құрылымның жиіліктегі реакциясын көрсетеді; 5.11, в суретінде - демпфированы бар серпінді сызықты емес элементпен АЧХ құрылысы.

Жоғары жиілікте теңдеудің шешімінде ( $\omega \geq \omega_2$  болғанда) белгісіздік осы аймақтағы дірілдеу үрдісінің тұрақсыздығын көрсетеді, алайда ауытқулардың амплитудасы диссипативті күштер болмаған кезде де шектеледі (әдеттегі мағынада резонанс құбылысы жоқ). Алайда тұтқыр үйкеліс күштерінің қатысуымен амплитудасы  $A$  амплитудасы  $A_{max} = F_0/(\beta\omega)$  мәнінен шектеледі.

5.11, с, жиіліктің артуы кезінде тербелістердің амплитудасы



Сур. 5.11. АЧХ құрылымдары:

а — с сызықсыз серпімді элементі бар, «қатаң»  $P(z)$  сипаттамасымен демпферлік жоқ шамағадейін күрт төмендейді; 1... 3 - жиіліктің әр түрлі мәндері үшін теңдеудің шешімдері (5.11); б — с демпфирленген сызықты серпімді элементпен; в - с - демпфированы бар «қатты»  $P(z)$  тән сызықты емес серпімді элементі бар

$A_{\min}$ , қауіпті резонансты аймақты өту кезінде маңызды онды әсер береді.

Осы қасиеттер РЭҚ конструкцияларында виброқорғалған сызықты еместік элементтерінің кең қолдануын анықтады.

Сызықты еместіктің  $P(z)$  түріне қатысты  $\omega$  жиіктілігі өзгеру кезінде мәжбүрлейтін күш амплитудасының өзгеру заңына қатысты резонанстық қисықтар нөлге тең бұзу кезінде теңселу амплитудасының шексіз әрдайым жоқ болатын әртүрлі нысанды болуы мүмкін.

## 5.6. РЭҚ вибрациялар мен соққылардан қорғау тәсілдері

### Қорғаудың конструктивті тәсілдері

РЭҚті механикалық ықпалдардан тәжірибелік қорғау тәсілдері кезең кезеңімен жүзеге асырылады, қосымша шығынды талап етпейтін, жеңілден бастап, ауырларға. Шешімдерді конструкцияларды жобалау кезінде және РЭҚті сынау мен пайдалану нәтижелері бойынша қабылдайды.

РЭҚтің конструкцияларының бөлек элементтері үшін пайдаланылатын қарапайым конструктивті тәсілдер біріншіден сәйкесті материалдарды таңдауымен, конструкцияның нысаны мен кесу өлшемдеріне, олар берілген түрі мен ықпал ету ұзақтығы кезінде қажетті қаттылық қорын қамтамасыз етеді. Одан басқа, өнімді конструкцияның максималды қаттылығы бағыты бойынша негізгі вектор бағытталған болу түрімен объект-тасымалдаушыда орналастыруға тырысады.

Атап айтқанда, пластина құрылымы үшін максималды қатаңдық бағыты жазықтықта жатыр. Егер бұл ескерілмеген болса, пластинаның сомалық бүгілуі пластинаның жазықтығына перпендикуляр бағытындағы діріл жүктемелерінің әрекеті мен сызықты жылдамдықтардың бір мезгіліндегі әрекеті оның беріктік шегінен асатын кернеулерді тудыруы мүмкін, ал оның нәтижесінде пластинаның тартылысы оның өзінің теңселу жиілігін көбейтеді. Бірақ жылжымалы объектерде вибрациялық салмақтар, әдетте, кеңістік болып табылады, сондықтан өнімдердің ең қолайлы орналасуын сызықтық пен соқпа ықпалдардың негізгі векторлары бойынша таңдау қажет.

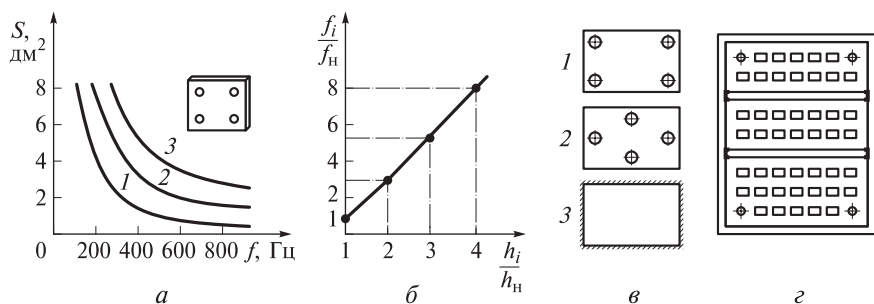
Пластиналық конструкциялар үшін олардың ішінде жағымсыз резонанстық құбылыстарды әлсірету бойынша шараларды қолданылады. Мысалы, пластиналық конструкциялардың өзіндік теңселу  $f_0$  жиілігін ықпал ету жиіліктердің  $f_B$  диапазонының жоғары жиілігіне жылжытуға болады, осымен оның қаттылығын жоғарлатып. Бұл тәсіл  $f_B$  жиілігінің мағынасы 200... 300 Гц аспау жағдайларында қолданылады. Резонанстық құбылыстарды толық жою үшін  $f_0/f_B > 2$  қатынасы қажет.

Тәжіребиде пластиналық конструкциялардың өзіндік теңселу жиілігін жоғарлатуға бірнеше жол арқылы мүмкін. 5.12, *а* сур. қалыңдығы 1,5 мм шынытекстолиттен тең қабырғалы баспалы платаның алаңынан теңселу модтың негізгі 1, екінші 2 және үшінші, жиіліктердің байланыстылықтар көрсетілген. 5.12, *б* сур. пластинаның қалыңдығы салыстырмалы үлкеюінен  $f_i f_H$  өзіндік теңселу жиілігінің  $h_i f_H$  салыстырмалы өзгерудің байланыстығы көрсетілген ( $h_H f_H$  — пластинаның номиналды қалыңдығы және оның өзіндік теңселу жиілігі;  $h_i f_i$  — пластинаның еркін қалыңдығы мен оның өзіндік теңселу жиілігі).

5.12, *в* сур. жақтардың ұзындығы екіге тең қатынасымен пластиналық конструкцияның нығайту тәсілдерінің варианттары көрсетілген; 1, 2 және 3 пластиналардың өзіндік теңселу жиілігі 1:3, 6:6 ретіде жатқызылады. Сонымен қатар қаттылық қабырғаларын қолдануы мүмкін (сур.з), оларды баспа плата мен салмақ түсетін конструкцияға бір мезгілде орнату кезінде оларды қолданудың максималды тиімділігіне жетеді.

Баспа плата конструкциясының қаттылығын көтеру бойынша кез келген шаралар ЭРК мен өткізгіштер трассасының төсемін орналастыру үшін қажетті оның монтаждау кеңістігінің жағымсыз азаюына соқтырады, ал плата қалыңдығының көбеюі оның массасын көбейтеді.

Резонанс кезінде теңселу амплитудасын азайту тәсілдерінің бірі арнайы дірілдеуді сорып алатын материалдарды пайдалануға қатысты конструкцияның демпфирлік қасиеттерін жоғарлату болып табылады. Кез келген конструкцияны циклдік механикалық жүктеу кезінде берілетін қуат конструкция материалында сорып алынады, *пластикалық деформация*, жылууды бөлуімен ілесетін материал қабаттарында ішкі қажанды жеңу үшін шығындалатыны айқын.



Сур. 5.12. Өзіндік теңселу жиілігіне баспа платасының параметрлеріне ықпал етуі

*а* — алаңдар  $S$  (1, 2, 3 — теңселу модтардың негізгі, екінші мен үшінші жиіліктерге сәйкес); *б* —  $h$  қалыңдығы; *в* — нығайту тәсілінің (1, 2, 3 — қыстыру тәсілдері); *з* — қаттылық қабырғаларының бар болуы

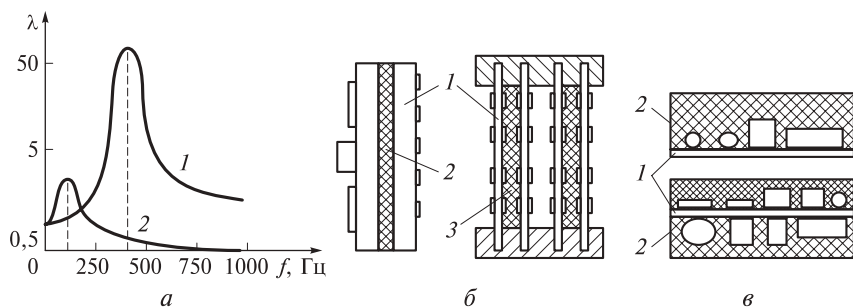
Энергияның қалған бөлігі (үлкен немесе кішірек) қозғалыстың кері циклі кезінде жүйеге қайтып оралатын, потенциалды энергияның қорын жасайтын, *материалдың серпінді деформациясына* шығындалады.

Энергияның сандық салыстырмалы жоғалтуды механикалық жоғалту коэффициентімен  $\gamma$  бағалайды. Электрикалық теңселмелі контуры  $1/\gamma = Q_m$  аналогиясы бойынша – механикалық теңселу конструкциясының мықтылығы, оны электрикалық теңселу контурының мықтылығына ерекше, әсіресе резонанс кезінде мәжбүрлі теңселу амплитудасын азайту үшін неғұрлым кішірек жасауға тырысады.

Тәжірибеде  $\gamma$  көбеюіне теңселу энергиясын тиімді сорып алуын қамтамасыз ететін дірілдеуді сорып алатын материалдар мен олардың негізіндегі көпқабатты құрылымдарды пайдалану есебімен жетеді. Осындай материалдарға келесі жатады: жапырақты агат, антивибрит 7М мастика, полиакрил-ВС, пенополиуретан. Бұл материалдар үшін мағыналар  $\gamma = 0,25 \dots 1,25$ . Салыстыру үшін, СТЭФ маркалы шынытекстолитте  $\gamma = 0,02, 0,05$ .

Дірілсіңіргіш материалдарды қолданудағы тиімділігі пластиналық конструкциялардың динамикалық коэффициентінің  $X$  (мәжбүрлі теңселу амплитудасының) 3-5 ретке азаюында болып табылады (сур.5.13, а). бірақ қорғаудың бұл әдісінің де бір қатар кемшіліктері бар.

5.13, б суретте желімді компаунд 2 пен дірілсіңіргіштен 3 жасалған демпфирленген қабаттары бар электрондық модульдердің 1 конструкциялары варианттары көрсетілген, олардың салдарынан конструкцияның габариттық өлшемдері мен массасы жоғарлайды. Электрондық ұяшықтарды 1 пенополиуретанбен 2 (сур. 5.13, в) толтырылуы активті және пассивті жылушығарғыш элементтерінен



Сур. 5.13. баспа платаларының теңселуін демпфирлеу:  
 а — баспа платаларының АЧХ (1 — демпфирлеусіз; 2 — демпфирлеумен дірілсіңіргіш қабаттарымен); б — желімді компаунд 2 пен дірілсіңіргіштен 3 жасалған демпфирленген қабаттары бар электрондық модульдердің 1 конструкциялар; в — электрондық ұяшықтардың конструкциясы (1) пенополиуретанбен (2) толтырылуымен

жылу ағынын шығару тиімділігін азайтады, бұл олардың жылу режимінің бүлінуіне апарады; осындай конструкциялар жөндеуге жарамсыз.

### **РЭҚті амортизаторлар көмегімен қорғау**

Амортизаторлар — төменгі жиіліктердің механикалық сүзгіштері – РЭҚ блоктарын дірілдеу мен соққы ықпалдардан қорғау үшін қолданылады. Қорғалатын блок пен дірілдейтін іргенің арасында орналастырылатын бір мезгілде икемді тірегіш бола тұра, амортизаторлар конструкцияларына міндетті түрде икемді элемент (жиірек бұл болат цилиндрлік немесе коникалық серіппе) және тұтқыр немесе құрғақ үйкеліс құбылыстары есебімен теңселу энергиясы шашылатын демпферлеу элементі кіреді. Демпферлеу элементінің болмау кезінде теңселу энергиясы икемді элементтің материалында ішкі үйкеліспен шашылуы мүмкін. Амортизаторлардың түрлері мен типтік өлшемдерін таңдау кезінде олар бір уақытта динамикалық, климатикалық пен конструктивті талаптардың жиынтығын қанағат етуі қажет [22].

*Динамикалық талаптарға* сәйкес берілген бағыттар мен жиіліктердің берілген диапазоны бойынша амортизаторлар дірілгіш- пен соққыдан қорғауды қамтамасыз етуі, резонанстар, соққылар мен дүмпу кезінде теңселуді дереу басу үшін тиімді демпфирлеуі болуы, ал олардың өздерінің теңселу жиіліктері эксплуатация кезінде дірілдеу ықпалдардың диапазонының  $\frac{1}{n}$  төменгі шекаралас жиіліктен кем болуы тиіс.

Пайдаланушылық талаптарға сәйкес амортизаторлар пайдаланудың белгілінген климатикалық жағдайларында – қоршаған ортаның жоғары немесе төмен температурасы кезінде, ылғал, теңіз тұман, шаң, грибоктар, зең ықпал ету жағдайларында сенімді жұмыс істеулері тиіс.

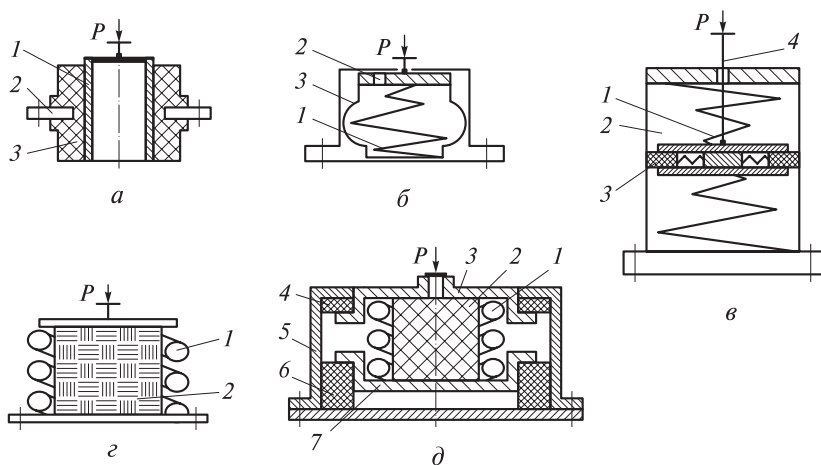
*конструктивті талаптарға* сәйкес амортизаторлар *жүктеу сызбасында* тағайындалған кезде жұмыс атқаруы керек, монтаж кезінде ыңғайлы, бір бірін алмастыру талаптарына сәйкес келуі тиіс, шағын массасы және габаритті өлшемдері болуы қажет. Конструктивті орындау және әрекет қағидасы бойынша бес негізі амортизаторларды бөліп қарастыруға болады: резеңке металлды, резинометаллические, ауа демпфирленуі бар серіппелі, демпфирленуі бар серіппелі, құрылымдық депмфирленуі бар тұтқас металды серіппелі-полимерлі. Аталаған амортизаторлардың түрлеріне, олардың қолданылуын шектейтін өзіндік конструктивті ерекшеліктері, артықшылықтары мен кемшіліктері тән.

*Резеңкеметаллды амортизаторлардың құрылымы* (5.14 сур., а) / және 2 элементтерінен металлды арматура және үлгілемді резеңке

серпімді және демпфирлеу элементтінен тұрады 3, вулканизацияның көмегімен арматура бөлшектерімен жалғастырылған. Бұл типтің амортизаторлары қарапайым, ықшам, технологиялы және арзан. Олар үлкен жүктеу қабілетіне және негізге қатысты оларды еркін мүмкіндігіне ие. Алайда, олардың жұмыс температурасына қатысты тар диапазоны бар және резеңкенің ескіруіне байланысты қызмет етудің шектеулі мерзімі бар және металлдың резеңкемен ілісуін пайдалау үрдісінде әлсірейді. Оның үстіне, оларды агрессивті ортада, бензин, май және т.б. буы бар ортада пайдалануға кеңес берілмейді.

Кремний органикалық резеңке (силиканның) негізінде жасалған амортизаторлар неғұрлым беріктілікке ие,  $-55...+150^{\circ}\text{C}$  температурасы диапазоны кезінде өзінің динамикалық қасиеттерін өзгертпейді, ішкі демпфирлеуге айтарлықтай ие және серпімді құрылымдардың азғантай өзгеруі бар. Резеңке металлды маркалардың (Lord, АП, АЧ, АР, АН, АМ және АКСС) құрылымның барлық алуан түрлілігін көрсетеді (пластиналы, табақшалы, айдаулық), параметрлерін және пайдалану шарттарын көрсетеді.

АД типті ауа демпфирленуі бар серіппесі бар амортизаторда (5.14 сур., б) серпімді элемент болып сызықты емес статистикалық сипатамасы бар  $P(z)$  үлгілемді серіппе 1, конусты немесе экспоненциалды серіппе болып табылады,



5.14 сур. Амортизаторлардың құрылымы:

а — резеңке металлды (1, 2 — арматура элементтері ; 3 — серімді және демпфирлеуші элемент); б — ауа демпфирлеуі бар серіппелер (1 — үлгілемді серіппе; 2 — калибренген тесік; 3 — резеңке қабықша); в — фрикционды демпфирлеуі бар серіппелі (1 — конусты серіппелер; 2 — корпус; 3 — диафрагма; 4 — соташық); г — құрылымдық демпфирленуі бар серіппелі (1 — цилиндрлі серіппе; 2 — металл шатастырма); д — серіппелі-полимерлі (1 — цилиндрлі серіппе; 2 — полимерлі демпфер; 3, 7 — шенбер; 4, 6 — полимерлі төсемелер; 5 — корпус)

демпфирлеу эффектiсi калибрленген тесiк арқылы ағатын, ауа ағынын жоғалтулардың нәтижесiнде пайда болады 2 резеңке қабықшада 3, осылайша ол ауа демпферi болып табылады. Бұл амортизатор тең жиiлiк қасиетiне ие, яғни жүктемеден табиғи тербелiстер жиiлiгiнiң тәуелсiздiгi, бiрақ оның демпфирлеу қасиетi температураға байланысты және резеңкеден ескiруiне байланысты өзгередi.

*Серiппелi фрикционды демпфирленуi бар* АФД және АПН (5.14 сур., в) амортизаторларында серпiмдi элемент екi бiрiздi жалғастырылған конусты серiппеден тұрады 1; эффект демпфирования возникает за счет сил «сухого» трения между корпусом 2 демпфирлеу эффектi корпуспен 2 және серiппен асты пластмассалы диафрагма арасындағы "кұрғақ" қажалу күшiнiң арқасында пайда болады, 3 соташықпен байланысқан 4 оларға қорғалатын зат сүйенедi. Амортизаторлар жақсы жұмыс сипаттамаларына ие, алайда төмен тербелмелi амплитудаларда ол дiрiл қорғанысын қамтамасыз етпейдi, себебi диафрагмалық қозғалысты бастау үшiн үйкелiс күшiн жеңу керек.

*Құрылымдық демпфирлеу бар*, амортизаторларда мысалы, АЦП типi ( 5.14 сур., г), серпiмдi элемент , демпфер болып табылатын металл2 шатастырмадан цилиндрлi массивке ("жастықшаға") оралған цилиндрлi серiппеден тұрады1. Бұл амортизаторлар қатты климаттық жағдайда жұмыс iстейдi, бiрақ шатастырманы бiртiндеп орналастыруына байланысты демпферлiк қасиеттердiң тұрақтылығы төмен.

АПН серiппелi-полимерлiк амортизаторлары құрылымы, АЦП түрiнiң амортизаторларынан, полимерлi материалдарды қолданатын жастық материалымен ерекшеленедi. Механикалық шығындардың мәндi коэффициенттерi, механикалық сипаттамалардың кең шамасындағы өзгерту мүмкiндiктерi, осы материалдардан әртүрлi құрылымдар дайындаудың технологиялығы мен қарапайымдылығы сияқты полимерлi материалдардың сапасы, жақсы дiрiлдi оқшаулаушы сипаттамалары бар амортизаторлар дайындауға полимерлi материалдарды пайдалануға мүмкiндiк бередi.

Серiппелi-полимерлiк амортизатордың құрылымы (5.14 д сур.) жоғарғы және төменгi полимерлi аралықтарға тiрелушi 4 және 6; құрсауда орнатылған 3 және 7, полимерлi демпфер оралған 2, цилиндрлi серiппеден 1 тұрады; құрылым 5 корпуска жайғастырылған.

Көлбеу жазықтықтағы амортизатордың тұрақты жұмысын қамтамасыз ету үшiн серпiмдi элемент ретiнде конустық немесе экспоненциалды серiппелер қолданылады. Бұл амортизатордың қорғаныстың кең ауқымы бар, бiрақ оның параметрлерi қоршаған ортаның температурасы мен ылғалдылығына байланысты. Амортизатордың тұрақты жұмыс iстеуiнiң температуралық ауқымын кеңейту әр қабат белгiлi бiр температура диапазонында тербелiстердi

тиімді демонстрациялауға арналған демпфирлейтін элементтердің көп қабатты құрылымдарының көмегімен жүзеге асырылады.

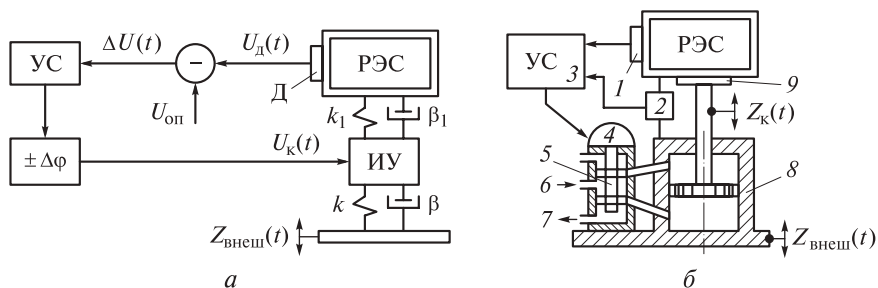
Осы амортизаторлардың түрлеріне сүйене отырып, РЭҚ құрылымдарының пассивті тербеліс қорғау жүйесі әзірленіп, пайдалануға берілді. Олардың параметрлерін есептеу тәртібі одан әрі қарастырылады.

### Белсенді дірілді қорғау жүйесі

Пассивтік дірілдеудің бұл әдістері тиімсіз немесе қолайсыз болып табылған кезде, олар «автоматты түрде реттелетін жүйелер» болып табылатын белсенді дірілден қорғау жүйелерін пайдаланады. Оларда мәжбүрлеп ауытқу (ауытқу немесе жылдамдық) параметрінің бақылауы дірілдің толық бұзылуына немесе қорғалатын объектінің қозғалыс параметрлерін оның жұмыс істеуі үшін қолайлы дірілдеу жүктемелерінің белгіленген деңгейлерінде сақталуына негізделген. Ондай жүйенің құрылымдық сызбасы 5.15, а суретте көрсетілген.

РЭҚ қорғаныш блогында орналасқан Д тетігінің Цд(7) белгісі, и<sub>оп</sub> тіреуіш белгісімен салыстырылады. Айырымдық белгі А U(t) УС күшейткішімен күшейтіліп және ДФ фазаны түзеткеннен кейін, өтеу белгісі ретінде U<sub>к</sub>(t) ИУ орындалушы электромеханикалық құрылғы кірісіне беріледі, оның шығысында механикалық әсер ету қалыптасады, оның амплитуда және фазасы төмендеуге көмекседі немесе әсер етудің сыртқы механикалық толық өтемін қамтамасыз етеді Z<sup>^^</sup>(t).

Шынайы белсенді дірілі қорғанысының шынайы жүйесінің әсер қағидасын мысал негізінде қарастырайық *электрлі гидравликалық жүйе 1 діріл-қорғанысы* (5.15 сур., б).



5.15 сур. Белсенді дірілді қорғау жүйесі құрылымы (а) және электр гидравликалық жүйе сызбасы (б):

1 — үдеткіш тетігі; 2 — жылжу қатынасының тетігі; 3 — күшейткіш; 4 — электрлі магнит; 5 — бөліп таратқыш; 6, 7 — жұмыс сұйықтығын беру каналдары; 8 — күш цилиндрі; 9 — серпімді төсеме; Д — тетік; УС — күшейткіш; ИУ — қорғанысорындау құрылғысы

(5.15 сур., б). Бұл жүйеде үдеткіш тетіктерінен белгілер 1 және 2 жылжу қатынасына байланысты күшейткіш кіруіне түседі 3. Күшейткіш электрлі магнитпен бақаратын белгі өндіреді 4, ол бөліп таратқышты әрекет жасауға алып келеді 5, 8. күш цилиндріне жұмыс төмендетілмейтін сұйықтығын 6, 7 реттеу каналдары арқылы береді. Бөліп таратқыш арқылы жұмыс сұйықтығы жылдамдыққа қатысты үдеткіш арқылы реттеліп отырады, жылжуына қатысты және жылжуына қатысты интегралына қатысты. Кер байланыстың әрбір каналы бойынша күшейткіш коэффициенті тәуелсіз баптайды.

*Бейтарап гидравликалық қоздырғыштың* тығыздығы жоғары болғандықтан, онда оқашалану нысандары арасында (РЭҚ) және гидроцилиндрдің соташық арасында серпімді төсемені орнатады 9. Мұның өзінде жүйенің динамикалық тығыздығы тербелістегі бөліп таратқыштың дроссельді тесігі арқылы жұмыс сұйықтығыны ағынының гидравликалық кернеуінде кіші болып табылады, және кері байланыс шынжыры біткен кезде жүйенің айтарлықтай аз 1 Гц жеке жиілігін алуға болады.

### **5.7. Пассивті дірілден қорғану жүйесі параметрлерінің есебі**

Пассивті дірілден қорғану жүйесі массасы 10 кг-нан асатын РЭҚ блоктарының діріл мен соққы жүктемелерінен қорғануға арналған. Олардың құрылыстарын жобалау және есептеу параметрлері үшін бастапқы деректер мыналар болып табылады: тасымалдаушы нысаны тарапынан сыртқы динамикалық әсер параметрлері; РЭҚ пайдалану және сақтау шарттары үшін қоршаған ортаның параметрлері; қорғалатын РЭҚ массасы және көлем (габаритный) параметрлері.

Бұдан әрі тасымалдаушы нысанда РЭҚ орналасу қабылданған сызбасы үшін рұқсат етілген жүктеме мен пайдалану шарттарын есепке ала отырып амортизаторлар түрін таңдайды және статикалық және динамикалық режимдерде дірілден қорғану жүйесі параметрлерін есептеу жүргізіледі.

*Статикалық режимде* дірілден қорғану жүйесін есептеудің мақсаты амортизаторлар типтік өлшемдері мен рационалды монтаждау шарттарын қанағаттандыратын олардың орналасу нүктелерінің координаттарын анықтау болып табылады. Бұл шарт РЭҚ қорғау блогының ауырлық орталығы координаттары мен қаттылық амортизаторлары ауырлық орталығы координаттарының сәйкестігін білдіреді. Рационалды монтаждау шарттарының орындалуы дірілден қорғану жүйесінің динамикалық жүктемені қабылдауға дайындығын көрсетеді.

*Динамикалық режимде* дірілден қорғану жүйесін есептеудің мақсаты жүйенің өздігінен және мәжбүрлі тербелістерінің параметрлерін анықтау, сондай-ақ діріл әсерінің жиіліктер диапазонында дірілдің тиімділігін бағалау болып табылады.

## Статикалық режимде дірілден қорғану параметрлерін есептеу

Дірілден қорғанудың кеңістік жүйесін есептеуде рационалды монтаждау шарты  $P$  - тірек реакциясының мәні келесі сызықтық теңдіктің жүйесін қанағаттандыратын болса орындалады:

$$\begin{aligned} \sum P_i &= G; \sum P_i x_i = 0; \sum P_i y_i = 0; \sum P_i z_i = 0; \sum P_i x_i y_i = 0; \\ \sum P_i x_i z_i &= 0; \sum P_i x_i y_i z_i = 0; \end{aligned}$$

Мұндағы,  $G$  - блоктың салмағы;  $P_i x_i, P_i y_i$ , және  $P_i z_i$ , - тірек реакциясының негізгі сәттері болып табылады.

Егер  $x_i$  және  $z_i$  координаттары берілсе, жүйенің шешімі жүйе анықтаушы  $D$  арқылы және  $P_i = GM_i/D$  түріндегі минорлар  $M_i$  арқылы табуға болаты  $P_p$  тірек реакциясы болып табылады.

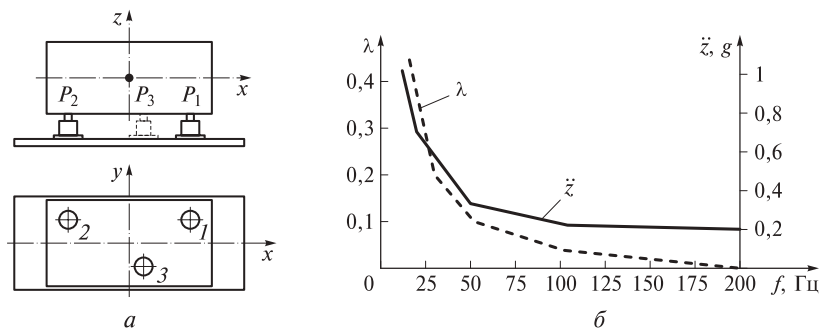
Іс жүзінде, жиі әр амортизаторға тең жүктеме жағдайы бойынша кері мәселені де шешеді; бұл жағдайда орнату нүктелері координаттарының белгілі мәндері арқылы мәлімсіз (ең көп жеті) координаттар мәні анықталады.

Егер тірек реакциялары  $P_i$  әр түрлі болса, онда таңдалған амортизаторлар типтік өлшемдері үшін әр амортизатордың нақты шөгуге байланысты түзетуші аралықтың қалыңдығын есептеу керек.

**5.2 мысалы.** Салмағы  $G = 20,6$  Н ( 5.16, а-сур) РЭҚ блогы амортизатор көмегімен тасымалдаушы нысан жақтауына көлденең орнатылған. Тірек нүктелерінің координаттары:  $x_1 = 0,1$  м,  $x_2 = -0,08$  м,  $y_1 = 0,1$  м,  $y_2 = 0,05$  м,  $y_3 = -0,08$  м.

Қоршаған ортаның температурасы  $\pm 50$  °С.

Рационалды монтаждау шарттарының орындалуын қамтамасыз ететін  $P_p$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , тірек реакцияларын, үшінші амортизатордың



5.16. сурет. Амортизаторлардағы РЭҚ блогы

а — монтаждау сызбасы (1... 3 — тірек нүктелері); б — еріксіз тербелістер параметрлерінің жиілік тәуелділігі

$x_3$  координатын табу керек, амортизаторлардың типі мен типтік өлшемдерін таңдау, сонымен қатар еріксіз тербелістер -  $\lambda(f)$  және  $z(f)$  функция параметрлерін есептеу керек.

Жүйе келесі параметрлермен үйлесімді әрекет етуі керек:

- Жиілік диапазоны  $f = 20 \dots 200$  Гц;
- $Z$  жеделдету амплитудасы  $z_0$  шеткі жиілік диапазонына әсері 2g мен 8g тең және диапазон ішінде сызықтық түрде өзгереді.

Шешім.. Амортизаторларды орналастырудың жалпақ схемасы үшін тендеулер жүйесі түріндегі рационалды монтаждау шартын жазамыз:

$$\begin{aligned} P_1 + P_2 + P_3 &= G; \\ x_1 P_1 + x_2 P_2 + x_3 P_3 &= 0; \\ y_1 P_1 + y_2 P_2 + y_3 P_3 &= 0 \\ y_1 x_1 P_1 + y_2 x_2 P_2 + y_3 x_3 P_3 &= 0 \end{aligned}$$

Осы жүйеге нүктелердің координаттарын қойып келесіні аламыз :

$$\begin{aligned} P_1 + P_2 + P_3 &= G; \\ 0,1P_1 - 0,08P_2 + X_3P_3 &= 0; \\ 0,1P_1 + 0,05P_2 - 0,08P_3 &= 0; \\ 0,01P_1 - 0,004P_2 - 0,08x_3P_3 &= 0. \end{aligned}$$

Белгісіз  $P_1, P_2, P_3$  тірек реакцияларына қатысты және үшінші амортизатордың  $x_3$  координаттарына қатысты тендеулер жиынтығын өзгертіп, келесіні аламыз:

$$P_1 = 4,07 \text{ Н}; P_2 = 7,07 \text{ Н}; P_3 = 9,46 \text{ Н}; x_3 = 0,0165 \text{ м}.$$

Берілген пайдалану шарттары және  $P_1, P_2, P_3$  тірек реакциялары бойынша келесі типтік өлшемдері бар АД типті әуе демпфирлеу амортизаторын таңдаймыз: 1 нүктесінде - АД-0,6; 2, 3 нүктелерінде — АД-1,0.

Таңдалған амортизаторлардың параметрлері 5.2 кестеде келтірілген..

Амортизатордың статикалық иілуі ( $\delta_{ст} = P_1/k_1$ ) әр түрлі болғандықтан, олардың екінші және үшіншісінің астына: екінші

5.2 кесте

| Тірек нүктесі | Амортизатор типі | $\kappa$ , Н/мм | $\varepsilon = \beta / \beta_{крит}$ | $\delta_{ст}$ , мм | $h_{пр}$ , мм |
|---------------|------------------|-----------------|--------------------------------------|--------------------|---------------|
| 1             | АД-0,6           | 1,67            | 0,2                                  | 2,45               | —             |
| 2             | АД-1,0           | 1,96            | 0,2                                  | 3,6                | 1,15          |
| 3             | АД-1,0           | 1,96            | 0,2                                  | 4,82               | 2,37          |

астына қалыңдығы  $h_{np2} = 3,6 - 2,45 = 1,15$  мм, үшінші астында қалыңдығы  $h_{np3} = 4,82 - 2,45 = 2,37$  мм төсеніш салу керек.

Төсеніш көмегімен иілім айырмашылығы жойғаннан кейін жүйе динамикалық жүктемелерді қабылдауға дайын.

## Динамикалық режимде дірілден қорғану параметрлерін есептеу

Есептеу барысында өзіндік тербелістердің  $\omega_{0j}$  жиілік мәндерін, еріксіз тербелістер параметрлерін және механикалық құрылымның қозғалыс бағытының әр қайсысының дірілден қорғану тиімділік мәнін анықтайды. Осылайша амортизацияланған блок рационалды монтаждау шарты орындалған және гармоникалық сыртқы әсердің берілген параметрлерінің әсерінен қайтымды ілгерілеме қозғалысын және бұрыштық тербеліс жасай алатын статикалық тепе-теңдік жағдайындағы өте қатты дене ретінде қарастырылады.

Өзіндік тербелістердің жиіліктерін мына формуламен табады

$$\omega_j = \omega_{0j} \sqrt{1 - \varepsilon_{\Sigma}^2}$$

мұндағы  $\omega_{0j}$  —  $j$  амортизаторының өзіндік тербеліс жиілігі,  $\omega_{0j} = \sqrt{gk_j / G}; \varepsilon_{\Sigma}$  — салыстырмалы демпфирлеу коэффициенті,

$$\varepsilon_{\Sigma} = \left( \sum_i \beta_{\dot{y}} \right) / \beta_{\text{крит}} \quad | (\beta_j - \text{«тұтқыр» демпфирлеу коэффициенті; у-м}$$

бағытындағы амортизатордың  $\beta_{\text{крит}} = 2 \sqrt{m \sum_i k_{ij}}; i$  — амортизаторлар саны).

Белгіленген режимде у-нші бағыт бойынша еріксіз тербелістер параметрлерін анықтау үшін жүйенің белгі параметрлері және у-нші бағыт бойынша сыртқы әсерлер параметрлері кезінде жүйе қозғалысының айырым теңдеуін шешеді және құрайды.

Құрылымның дірілге беріктігін одан кейінгі талдау еріксіз тербелістердің сызықтық және бұрыштық параметрлерінің табылған амплитудалық мағынасына әкеледі

**Мысал.** (5.2. мысалының жалғасы). Амортизатордың механикалық жүйесінің өзіндік тербеліс жиілігін анықтаймыз:

$$f_0 = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{k_{\Sigma} g}{G} (1 - \varepsilon_{\Sigma}^2)} = \frac{1}{6,28} \sqrt{\frac{5,6 \cdot 9810}{20,6} (1 - 0,12)} = 7 / 71$$

мұндағы  $k_{\Sigma}$  — амортизатор қаттылығының жиынтық коэффициенті,  $k_{\Sigma} = k_1 + k_2 + k_3$ ;  $g$  — еркін түсуді жеделдету;  $\varepsilon_{\Sigma} = \sqrt{3 \cdot \varepsilon}$

|                    |       |      |       |      |        |        |        |
|--------------------|-------|------|-------|------|--------|--------|--------|
| $f, \text{Гц}$     | 7,71  | 20   | 30    | 50   | 100    | 150    | 200    |
| $v$                | 1     | 2,6  | 3,9   | 6,5  | 13     | 19,5   | 26     |
| $z''_{\Lambda}, g$ | 0,812 | 2    | 2,39  | 3    | 4,65   | 6,3    | 8      |
| $z'', g$           | 1,17  | 0,68 | 0,466 | 0,33 | 0,25   | 0,225  | 0,215  |
| $\lambda$          | 1,44  | 0,34 | 0,2   | 0,11 | 0,0538 | 0,0357 | 0,0267 |

Серпімді күштердің сызықтық сипаты туралы рұқсатты қабылдай отырып, амортизацияланған механикалық жүйенің  $\lambda$  динамикалық коэффициентін есептеу үшін (5.6) өрнегін қолданамыз.  $\lambda(f)$  және  $z''(f)$  функциялары графигі 5.16,б-суретінде көрсетілген.

Есептеу нәтижелері 5.3 кестесінде көрсетілген..

Есептеу нәтижелерін талдау көрсеткендей, діріл жүктемелерінің әсерінің берілген жиіліктер диапазонында осы дірілден қорғау жүйесі олардың анағұрлым әлсіреуін қамтамасыз етеді. Дегенмен, РЭҚ конструкциясының әрбір нақты элементі үшін алынған механикалық жүктемелері олардың массасы және бекіту әдісін ескере отырып қана есептелуі мүмкін.

### Бақылау сұрақтары

1. Нағыз құрылымды адекватты модельмен қандай мақсаттарда ауыстырылады?
2. РЭҚ нағыз құрылымын оның моделімен алмастыруы кезінде болу мүмкін негізгі жорамалдарды атаңыз.
3. Құрылымның динамикалық күйіне мысал келтіріңіз.
4. Пластиналардың дірілгетөзімділігін жақсарту жолдарын көрсетіңіз.
5. Серпімді сызықты емес элементтің кемшіліктері қандай?
6. Серпімді сызықты емес элементтің артықшылықтарын атаңыз.
7. Әр түрлі типті амортизаторларда тербеліс энергиясының диссипациясы ненің әсерінен орын алады?
8. Белдсенді дірілден қорғау жүйесінің белсенділігінің мәні неде?
9. Амортизация жүйесінің рационалды монтаждау шарттарының мағынасын түсіндіріңіз.
10. Механикалық тербелмелі жүйенің күш пен кинематикалық қоздырғыш арасындағы айырмашылықты түсіндіріңіз.

## Радиоэлектрондық құралдарды иондаушы сәулелену әсерінен қорғау

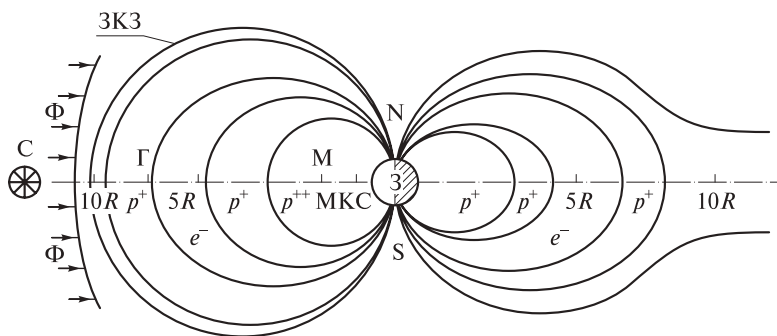
### 6.1. Жалпы ақпарат

Иондаушы сәулелену (ИС) РЭҚ пайдалану шарттарын тұрақсыздандыратын фактор ретінде өзінің әсерін табиғи немесе жасанды ИС көздерін құрайтын қоршаған ортада көрсетеді. ИС табиғи ортасы КЛА мен РЭҚ жабдықталған басқарылатын орбиталық станциялар қызмет ететін жермаңы ғарыштық кеңістік (ЖҒК) болып табылады.

6.1-суреті Жердің радиациялық белдерін және магнитосфераның құрылымын көрсетеді.

Байланыстың қазіргі заманғы құралдары ашық ғарыштық кеңістіктегі магнитосферадан тыс та жұмыс жасайды.

ИС әсеріне төзімді РЭҚ жобалау кезінде ИС нақты құрамы мен параметрлерін, РЭҚ материалдарына және ЭРК-ге олардың әсерін, радиациялық қорғаудың қолданыстағы әдістері мен тәсілдерін ескереді.



6.1-сур. Жердің магнитосфера құрылымы:

$p^{++}$  - ішкі жоғары энергиялық протон белдеуі;  $p^{+}$  - төмен энергиялардың протон белдеуі;  $e^{-}$  - сыртқы (электрондық) белдеу; D - геостационарлық жерсерік орбитасының орналасуы ( $\sim 36\,000$  км); M - метеорологиялық жерсерік орбитасының орналасуы ( $\sim 1000$  км); МКС (ХҒС) - Халықаралық ғарыш станциясы орбитасының орналасуы ( $\sim 300$  км); С - Күн; З - Жер;  $\Phi$  - күн желінің соққы толқынының фронты; ЗКЗ - күн желі бөлшектерінің квазикаптандыру аймағы

## 6.2. ИС жалпы сипаттамасы, құрамы және параметрлері

Иондаушы сәулелеленуге өзара әрекеттесуі оның иондалуына әкелетін сәулелену жатады. Өзара әрекеттесудің механизмі мен тиімділігі ИС ену қабілетін анықтайды және ИС және заттың параметрлеріне байланысты болады.

Заттың ИС өзара әрекеттесу механизмі электрондық қабықшалар немесе өзектермен серпімді немесе серпімсіз соқтығысу нәтижесінде зат атомдары немесе ядролардың қоздыруына жұмсалатын кинетикалық энергиясының кванттары немесе бөлшектердің жоғалтуымен жүзеге асатын тежелу және сіңу әсерлерімен қамтамасыз етіледі.

ИС-ге  $\alpha$ - және  $\beta$ -сәулелені, протонды ( $p$ ) және нейтрондық ( $n$ ) сәулелену, рентген ( $R$ ) және  $\gamma$ -сәулелену жатады.

$\alpha$ -сәулелену - гелий атом ядроларының ағыны (заряд  $q_a = +3,2 \cdot 10^{-19}$  Кл, масса  $m_a = 6,6 \cdot 10^{-27}$  кг, энергия  $E_a$  — до  $1 \cdot 10^3$  МэВ), ол массалық саны  $A \geq 200$  радиобелсенді ауыр ядролардың өздігінен ыдырауы кезінде шығады. Табиғи  $\alpha$ -сәулеленудің негізгі көздері - бұл галактикалық сәулелену және күн сәулесінің жарқылы.

$\beta$ -сәулелену (электрондық пен позитрондық) — жеңіл зарядталған бөлшектердің ағыны (заряды  $q_\beta = \pm 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл, массасы  $m_\beta = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг, энергиясы  $E_\beta$  — до 10 МэВ), атом ядроларының  $\sim 1 \cdot 10^8$  м / сек жылдамдықта ыдырауы кезінде шығады.

Протондық сәулелену - барлық атом ядроларының құрамында болатын ауыр оң зарядталған бөлшектер-протондар ағыны (заряды  $q_p = +1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл, массасы  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$  кг, энергиясы  $E_p$  —  $1 \cdot 10^3$  МэВ дейін, өте сирек —  $10^{14}$  МэВ дейін), бұл ядролардың  $\alpha$ -бөлшектер, нейрондар немесе  $\gamma$ -кванттарымен бомбалау нәтижесінде шығарылады Протон сәулелену көздері - бұл галактикалық сәулелер, күн сәулесі және Жердің радиация белдеулері (РПЗ).

Нейтрондық сәулелену — барлық ядролар (сүтегі қоспағанда) құрамында бар қысқа өміршең ауыр бейтарап бөлшектер-нейтрондардың ағыны (массасы  $m_n = 1,67 \cdot 10^{-27}$  кг, энергиясы мұздай үшін  $E_n = 0,025$  эВ — дан өте жылдам нейрондар үшін 15 МэВ — дейін, өміршең мерзімі  $1 \cdot 10^3$  с дейін), олар бомбалау және ядролық бөлінудің нәтижесінде шығады. Нейтронды сәулелену көздері - ядролық жарылыстар және энергетика және күш қондырғысы станцияларының ядролық реакторлары.

Рентгендік сәулелену - электромагниттік сәулелену (толқын ұзындығы  $\lambda_R \sim 2 \cdot 10^{-9} \dots 2 \cdot 10^{-11}$  м;  $E_R \sim 1 \cdot 10^{-3} \dots 0,2$  МэВ), толқын ұзындығы  $\lambda_R = ch(E_\gamma - E_n)$ , м, мұндағы  $c$  — вакуумдағы жарық жылдамдығы, м/с;  $h$  — тұрақты Планка ( $h \sim 6,62 \cdot 10^{-34}$  Дж·с) сипаттамасымен заттың қозған электронданының  $E_n$  энергиясымен жоғарғы орбитадан  $E_n$ ,

энергиясымен төменгі орбитаға ауысына жұмсаған энергиясынан туындайды.

$\gamma$ -сәулелену - электромагниттік сәулелену (толқын ұзындығы  $\lambda_\gamma \sim 2 \cdot 10^{-11} \dots 1 \cdot 10^{-13}$  м,  $E_\gamma \sim 0,2 \dots 100$  МэВ), атом ядроларының ішінде олардың қозған күйінен аралық немесе негізгі күйіне өту кезінде туындайды.

ИС аталған түрленінің әсерін есептеу РЭҚ негізгі радиациялық қауіпті ортада – физикалық параметрлерімен сипатталатын радиациялық өрістерде тұрақты қызмет етуін қамтамасыз ету үшін жеткілікті болып табылады. СЭВ 1052— 78 стандартымен ИС өрісінің сипаты үшін алты параметр және сәулелену сіңіру мөлшерін сипаттайтын төрт параметрді белгіледі:

1) қозғалыс бағытына перпендикуляр беті арқылы өтетін бөлшектердің (кванттардың) ағыны  $F = \Delta N / \Delta t$ , 1/с;

2) ағынның тығыздығы  $\phi = \Delta F / \Delta S$ , 1/(с·м<sup>2</sup>);

3) флюэнс,  $\Phi = \int \phi(\tau) d\tau$  1/м<sup>2</sup> — ағынның интегралдық тығыздығы;

4) энергия  $E$ , Дж, эВ — бөлшектердің кинетикалық энергиясы немесе кванттардың энергиясы; 1 эВ =  $1 \cdot 10^{-19}$  Дж;

5) энергия ағыны  $P_E = \Delta E / \Delta t$ , Вт;

6) энергия ағынының тығыздығы  $I = \Delta P_E / \Delta S$ , Вт/м<sup>2</sup>;

7) сіңірілген мөлшер  $D = \Delta E / \Delta m$ , Дж/кг, грей (Гр), рад, зиверт;

$$1 \text{ Дж/кг} = 1 \text{ Гр} = 1 \cdot 10^2 \text{ рад};$$

8) мөлшер қуаты  $P_D = \Delta D / \Delta t$ , Вт/кг, Гр/с;

фотондық сәулелену экспозициялық мөлшері  $D_0 = \Delta Q / \Delta m$ , Кл/кг, рентген (Р) — Эталонды ауада сәулеленген бос электрондармен туындаған бір белгі иондарының электр зарядтары жиынтығының сол ауа массамына қатынасы; 1Р =  $2,58 \cdot 10^{-4}$  Кл / кг;

9) экспозициялық мөлшер қуаттылығы  $P_0 = \Delta D_0 / \Delta t$ , А/кг.

## 6.1 кестесі

| Сәулелену түрі   | Белсенді өмір кезінде жұтылған мөлшері, рад                              |                |                                                                          |                |                                                                          |                   |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------|
|                  | Алюминий бойынша қорғаныс, экран қалыңдығы $h_3 = 3,3$ мм (бұйым тобы А) |                | Алюминий бойынша қорғаныс, экран қалыңдығы $h_3 = 1,7$ мм (бұйым тобы В) |                | Алюминий бойынша қорғаныс, экран қалыңдығы $h = 0,033$ мм (бұйым тобы С) |                   |
|                  | 2 жылда                                                                  | 5 жылда        | 2 жылда                                                                  | 5 жылда        | 2 жылда                                                                  | 5 жылда           |
| РПЗ Электрондары | $1 \cdot 10^4$                                                           | $1 \cdot 10^8$ | $1 \cdot 10^5$                                                           | $1 \cdot 10^9$ | $2 \cdot 10^6$                                                           | $5 \cdot 10^{11}$ |
| РПЗ протондары   | $6 \cdot 10^2$                                                           | $1 \cdot 10^4$ | $3 \cdot 10^3$                                                           | $1 \cdot 10^6$ | $1 \cdot 10^5$                                                           | $8 \cdot 10^{10}$ |

ИС көздерінің белсенділік бірлігі болып 1 беккерель (Бк) алынды, ол секундына изотоптардың ыдырауының бір актісіне сәйкес келеді ( $1 \text{ Бк} = 1 \text{ с}^{-1}$ ); 1980 жылға дейін белсенділікті кюримен өлшеген (Ку);  $1 \text{ Ку} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ .

Биіктігі Н орбитаға шығарылған Жасанды Жер серігінің (ЖЖС) құрамына кіретін РЭҚ радиациялық тұрақтылық шартына келтірілген мысал 6.1-кестеде берілген.

Қызмет шарттары бойынша бұйым түрлі қорғауға, оның ішінде қорғаусыз орнатылуы мүмкін.

### 6.3. ИС затпен өзара әрекеттесу процестері

ИС затпен әрекеттесу процесінің сандық тиімділігін ИС *ену қабілеті* мен радиациялық әсер өзара әрекеттесу процесінен туындайтын (қайтымды немесе қайтымсыз) заттың *радиациялық-сезімтал параметрлерінің* (РСП) салыстырмалы өзгеруімен анықталады. Өзара әрекеттесу процестерін сапалы зерттеуден кейін, зарядталған бөлшектердің бейтарап бөлшектерге қарағанда ену қабілеті аз екендігі; үлкен көлемді бөлшектер жеңілден қарағанда затты әлдеқайда тиімдірек ұстайтынын, ал энергиясы жоғары ИС ену қабілеті жоғары екені туралы қорытынды жасауға болады. Сонымен қатар, *қайтымды радиациялық әсерлер* ағынының тығыздығы және мөлшерінің қуатына байланысты, ал *өзара қайтымсыз әрекеттесудің деструктивті салдары* сіңген мөлшер мен заттың молекулалық құрылымына байланысты деп анықталды.

Радиациялық-төзімді РЭҚ жобалау тәжірибесінде ЭРК-ға және негізгі конструкция материалдарына ИС әсерін әлсірету немесе толық болдырмау мақсатында жалпы қорғау құралдарын әзірлеу басым болғандықтан алдымен РЭҚ сыртқы қорғау конструкциясы элементтері материалдарымен (жеңіл және ауыр металдармен) ИС өзара әрекеттесу процесстерін қарастырайық.

#### Зарядталған бөлшектердің затпен өзара әрекеттесуі

Зарядталған бөлшектердің қозғалысы кезінде зат арқылы олар атомдардың иондалуы мен қозуы (иондалған шығындар), сонымен қатар атомдармен серпінді соқтығысу салдарынан кинетикалық энергиясын (тежеледі) жоғалтады. Энергияны жоғалтып, ұзындығы иондалған шығындар үлесіне  $dE/dx$  байланысты бөлшектер  $x$  жол арақашықтығында тоқтайды.

Энергиясы  $E > 20 \text{ МэВ}$  бөлшектерге атомдармен икемсіз соқтығыстардан пайда болатын, сонымен қатар тежеу және черенковск сәулеленуден болатын шығындар жатады. *Тежеу сәулелену* заттағы бөлшектердің жылдамдығының өзгеруімен байланысты; *черенковск*

сәулеленуі (Вавилов—Черенков) берілген ортадағы фотонды сәулелену жылдамдығы бөлшектердің жылдамдығынан қарағанда үлкен болған жағдайда туындайды.

Зарядталған бөлшектердің  $\bar{x}$  орташа жүруін практикалық есептеулері үшін эксперименттік деректерден алынған, және тәжірибе үшін теориялық қатынасымен келісілген қолданбалы эмпирикалық қатынастар пайдаланылады. мысалы  $\bar{x} = \delta E^n / \rho$ , мұндағы  $\delta$  және  $n$ — материалдық және бөлшектердің параметрлеріне байланысты тұрақты ( $\delta_e \sim 0,5$ ;  $\delta_p \sim 5 \cdot 10^{-3}$ ;  $\delta_a \sim 2 \cdot 10^{-4}$ ;  $n_e \sim 1,32$ ;  $n_p \sim 1,2$ ;  $n_a \sim 1,7$ );  $\rho$  — заттың тығыздығы. Осылайша, үлкен бөлшектер затты жоғары тиімділікпен ұстап қалады. Сонымен қатар заттардың тығыздығындағы айырмашылықтар орташа жүруге айтарлықтай әсер етпейді. Зарядталған бөлшектердің затпен өзара әрекеттесу процестерін толығырақ қарастырайық.

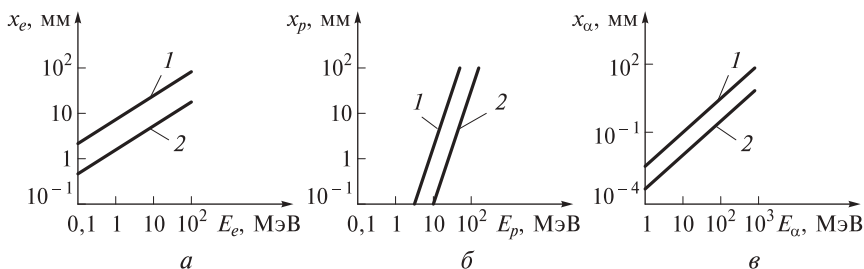
**Электрондық сәулелену.** Электронды сәулеленудің затпен әрекеттесуі кезінде иондалу және радиациялық шығындар, сондай-ақ атомдар серпімді соқтығысуы орын алады. Тежеу сәулеленуімен байланысты радиациялық шығындар энергия мәндері  $E \geq 1,5$  МэВ кезінде электрондар мен атом ядроларының өрісі арасындағы кулондық өзара әрекеттесуінен пайда болады. Серпімді соқтығысу шығындары электрондар мен атомдар массаларының үлкен айырмашылығына (үштен жоғары) байланысты жалпы шығындардың аз бөлігі болып табылады; алайда, электрондардың жоғары ағыны кезінде бұл шығын механизмі заттың кристалдық тор ақаулардың айтарлықтай санын туғызады.

Моноэнергетикалық электрондардың орташа жүру мәнін бағалау үшін көбінесе  $x_1 p_1 \approx x_2 p_2$  қатынасын қолданады, ол басқа заттағы оның жүруін біле отырып, бір заттағы электрон жүрісін нақты дәлдікпен анықтау үшін қолданбалы болып табылады. Алюминий және қорғасыннан қорғаныш қақпақтары үшін  $\bar{x}_e = f(E_e)$  тәуелділік графиктері 6.2, а-суретінде берілген.

**Протондық сәулелену.** Затпен протондық сәулелену арақатынасы кезінде де сондай-ақ иондық және радиациялық шығындар болады, одан бөлек, протондардың айтарлықтай массасына байланысты материалды атомы бар серпімді соқтығысуынан шығындар үлкен көлемде болады. Сондықтан орташа жүру мәндерінің практикалық есептері үшін келесі эмпирикалық қатынас қолданылады:

$x_1 \rho_1 \sqrt{A_1} = x_2 \rho_2 \sqrt{A_2}$  мұндағы  $A$  — заттардың жаппай саны. Алюминий және қорғасыннан қорғаныш қақпақтары үшін  $x_p = f(E_p)$  тәуелділік графиктері 6.2, б-суретінде көрсетілген.

**$\alpha$ -бөлшектер.**  $\alpha$ -бөлшектердің затпен әрекеттесу кезінде бөлшектердің массасы үлкен болғандықтан және олардың зарядының жоғары болуынан үлкен көлемде иондаушы шығындарға алып



6.2-сурет. Алюминийден (1) және қорғасыннан (2) жасалған қорғаныс қабықшасы арналған зарядты бөлшектердің еркін жүрісінің орташа ұзындығының энергетикалық тәуелділігі: а— электрондар; б— протондар; в — а-бөлшектер

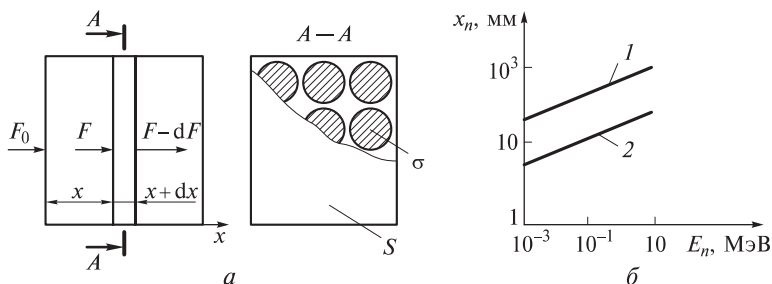
келеді. Сондықтан а-бөлшектер тіпті ауаны жақсы сіңіреді, оның салдарынан оларды орташа жүру мәнін практикалық есептеуде келесі эмпирикалық қатынас қолданылады:  $\bar{x}_a = 3,2 \cdot 10^{-4} x_0 p A^{-0,5}$ , мұндағы  $x_0$  — а- бөлшектердің ауадағы орташа жүрісі.

Алюминий және қорғасыннан қорғаныш қақпақтары үшін  $\bar{x}_a = f(E_a)$  тәуелділік графиктері 6.2, в-суретінде берілген. Осы графиктердің талдауы РЭЖ құрылымдық элементтері (мысалы, қалыңдығы  $\sim 2$  мм құрылғылардың алюминий қабықшалары) кең ауқымды энергияда зарядталған бөлшектердің әсерінен қорғауды қамтамасыз етпейді деген қорытындыға әкеледі.

## Нейтронды сәулеленудің затпен өзара әрекеттесуі

Кез келген энергия нейтрондардың затпен өзара әрекеттесуі атомдар ядроларының серпімді шашырау түрінде, және атом изотоптар қалыптастыратын ядролық реакциялар түрінде болады. Нейтронды затпен өзара әрекеттесудің ерекшелігі оның *бір ретілігінде*, яғни, нейтронның заттың атом ядросымен өзара әрекеттесуінің нәтижесінде түйіннен шығады. Сондықтан, әрекеттесудің бұл механизмін сандық сипаттау үшін нейронның зат атомы ядросымен «ықтимал әрекеттесуі» деген түсінік енгізілген, оның мәні өзара әрекеттесудің 0 тиімді микроқимасына байланысты болып табылады (6.3, а-сур). 0 өлшемі ядро айналасындағы сфераның қимасы болып табылады, оны қиып нейтрон затпен әрекетке түседі. Реакциялардың әртүрлі түрі үшін  $\sigma$  мәндері де әртүрлі болады.

Нейтрондардың энергиясы мәніне байланысты, атом ядроларының зат қорғаныш материалдармен оның өзара әрекеттесуінің мынадай процестері болуы мүмкін: серпімді шашырау ( $\sigma_s$ ); күрделі ядроның қалыптасуымен және нейтрондардың, у-кванттардың, протондардың және басқа да бөлшектердің шығарылуымен өзара әрекеттесуі ( $\sigma_n$ ); ядро



6.3. сурет. Нейрондардың заттармен әрекеттесу механизмін түсіндіру  
 а - өзара қима кескінін қалыптастыру; б - алюминийден (1) және қорғасыннан  
 (2) жасалған қорғаныс конструкцияларының е рет нейрондар бумасының әлсіреу  
 қабатының қалыңдығы үшін энергетикалық тәуелділіктер

қозуымен және  $\gamma$ -квант түріндегі энергия шығарылымымен жүзеге асатын шашырау ( $\sigma_y$ ); ядролардың ыдырауы және бөлінуі ( $\sigma_n$ ).

Тиісті өзара әрекеттесудің мәндері  $\sigma_s$ ,  $\sigma_p$ ,  $\sigma_y$  және  $\sigma_n$ , қорғаныш материалының түріне және нейтрондық энергияға тәуелді болады.

Жылу нейрондарымен ( $E_n < 1$  кэВ) ең тиімді массасы аз және шашырау қимасы мәні  $\sigma_s$  көп заттар әрекеттеседі: сутегі, бор, және сутегі мен бор құрамдас материалдар. Ауданы  $S$   $dx$  қабатында барлық заттар ядросының әрекеттесуі қимасының жалпы ауданы  $S_0 = (\sigma_p N_A S dx)/A$ , мұндағы  $N_A$ —Авогадро саны;  $A$  —масса саны;  $p$  — зат тығыздығы,  $г/м^3$ .

$Dx$  қабаты арқылы өту кезінде (6.3 а-суретті қараңыз), ядролардың біреуінің өзара әрекеттесуінің көлденең қимасына енген нейтрондар сәуледен шығарылады.  $dx$  қабаты арқылы өтетін  $F$  нейтрондар ағынның  $dF$  өзгеруі

$$dF = -FS_\sigma/S = -F\sigma N dx,$$

немесе

$$dF/F = -\sigma N dx.$$

Соңғы теңдіктің сол жақ бөлігін  $F_0$ -ден  $F_x$  ауқымына және оң жақта 0-ден  $x$ -ге дейінгі диапазонда біріктіріп мынаны аламыз

$$F = F_0 \exp(-x\lambda_n),$$

мұндағы  $\lambda_n = 1/(\sigma N)$  – нейтрондық сәуленің әлсіреу коэффициенті.

Соңғы қатынас алдын ала белгіленген бөлінгіштікпен  $K=F_0/F$  нейтрондық сәуленің әлсіреуін қамтамасыз материалдың қорғаныш қабатының қалыңдығын  $x$  есептеуге мүмкіндік береді. 6.3-суретте алюминий және қорғасыннан жасалған РЭЖ қорғаныс конструкцияларының е рет нейрондар бумасының әлсіреу қабатының қалыңдығы үшін энергетикалық тәуелділіктері  $x_n = f(E_n)$  берілген.

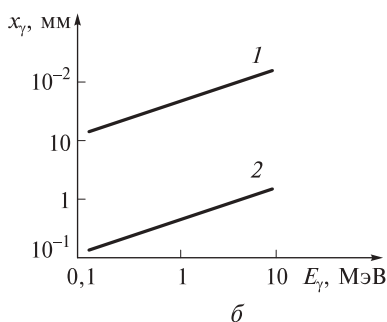
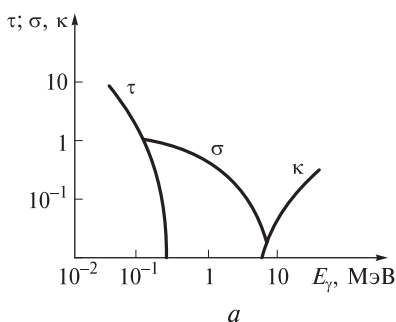
## Рентген және $\gamma$ -сәулеленудің затпен өзара әрекеттесуі

Заттармен нейтрондардың өзара әрекеттесу механизмі сияқты, әрбір  $\gamma$ -квант бір рет әрекеттеседі, содан түйіннен шығады.  $\gamma$ -кванттардың  $I$  түйін қарқындылығының әлсіреуі  $\mu$  параметрімен -  $\gamma$ -кванттары түйіні қарқындылығының жалпы сызықтық әлсіреу парциалды коэффициентімен  $\mu = \tau + \sigma + \kappa$  (мұндағы  $\tau$ ,  $\sigma$  және  $\kappa$  — тиісінше, фотоэффекті, Комптон эффектiсi және бу пайда болу әсерінен әлсіреудің сызықтық коэффициент мәні).  $I = I_0 \exp(-\mu x)$  экспозициялық заңға бағынады.

$\gamma$ -кванттарының түрлі энергиясының белгілі мәндерінде  $E_\gamma$  әсер де әртүрлі болады. (сур. 6.4, а).  $E_\gamma < 0.5$  МэВ мәнінде фотоэлектрлік әсері басым болады.  $0.5 < E_\gamma < 5$  МэВ п мәнінде Комптон әсері басым. Электрондық позитрондық бу пайда болу әсері энергиялық у-кванттардың ( $E_\gamma > 1$  МэВ) ядро жанынан өтуі кезінде. Электрондық позитрондық будың пайда болуын шақыратын өріспен әрекеттесу нәтижесінде болады.

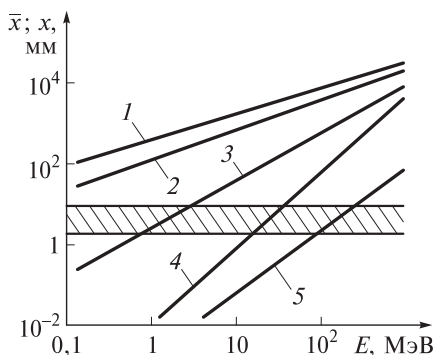
Сызықтық әлсіреу парциалды коэффициенттері зат тығыздығына  $\tau \approx \rho Z^3$ ,  $\sigma = \rho$ ,  $\kappa \approx \rho Z$  пропорционалды болғандықтан, у-квант азайып бара жатқан ағын әлсіреуінің максималды әсері үлкен атом сандары бар, электрон сандары көп және үлкен ядролы қорғаныс материалдарын қолдану арқылы жүзеге асады. 6.4, б - Суретте алюминийден (1) және қорғасыннан (2) жасалған қорғаныс экрандарының е рет квант түйінінің әлсіреу қабатының қалыңдығы үшін тәуелділіктер  $x_y = f(E_\gamma)$  берілген.

Суретте бөлшектердің орташа еркін жолына арналған нысаны  $x = f(E)$  қабаты электрондық сәулеленің әлсіреу қамтамасыз қалыңдығына



6.4.-сурет у-кванттар үшін энергетикалық тәуелділік:

а — әлсіреудің сызықтық коэффициентінің парциалды мәні; б — алюминийден (1) және қорғасыннан (2) жасалған экранның е рет түйін әлсіреу қабатының қалыңдығы үшін энергетикалық тәуелділіктері



6.5-сурет. Ғарыш аппараты нақты қабығын әр түрлі типті ИС әсерінен қорғауды салыстырмалы бағалау:

1 — нейтрондар ; 2 — у-кванттар; 3 — электрондар; 4 — протондар; 5 — а-бөлшектер

және 3, 4 және 5 (E) 6,5 шоу учаскелері нысаны  $x = f(E)$  1 және 2 және 6.5-суретте е рет түйін әлсәреуін қамтамасыз ететін қабат қалыңдығы үшін  $x = f(E)$  түрлі 1 және 2 тәуелдіктері мен  $x = f(E)$  түрлі бөлшектер мен ИС түрлі түрлері кезіндегі алюминийден жасалған экранның орташа жүрісі үшін 3,4,5 тәуелділіктер суреттелген.

6.5-суретте олардың энергиясы үшін көрсетілген мәндер шегінде сәулелену барлық түрлері нысан нақты қалыңдығының (2 .. 10 мм) сыртқы қорғаныш қабығы материалымен h толық сіңірілмейтіні көрінеді. Сондықтан, ИС сындарлы ену А.И. өзі РЕҚ және АРС және радиациялық әсерлер қарсылық шектеулі құрылымдарын көтергіш материалдар олардың тікелей әсер қорғайды. Бұл олардың кристалдар мен молекулалардың құрылымына сәулеленудің түрлі түрлерінің сәулелену әсерінен жинақталған.

#### 6.4. Радиациялық әсерлер және радиотехникалық материалдардың зақымдануы

##### Радиотехникалық материалдардың радиациялық төзімділігі

ИС өрістеріндегі радиотехникалық материалдарды пайдалану ИС әсеріне сезімтал қасиеттер мен параметрлерді айтарлықтай өзгерте алады. ИС әсері нәтижесінде қасиеттер мен параметрлердің өзгеруі жалпы терині астында «радиациялық әсер» ұғымы табылады.

ИС кезінде белгіленген нормалар аумағында параметрлердің сақталуы мен өз қызметін орындауы бұйымның радиациялық төзімділігі (РТ) деп аталады. РТ радиациялық сезімтал параметрлерінің мәнін өлшеу арқылы бақыланады, олардың әрқайсысы үшін ИС ісер еткінде өзгеру мүмкін шектердешекті мәндері белгіленген.

Мысалы, ИС өрістеріндегі радиотехникалық материалдар параметрлері айтарлықтай өзгермейтін, яғни 25 % көп өзгермейтін сіңіру мөлшері мен флюэнс мәнін орнатады.

Бұйымға әсер ететін ИС *максималды деңгейі*, оның өнімділігі сақталғанда, радиациялық тұрақтылық (РТК) көрсеткіші болып табылады. ИС түрлі типтері түрлі радиациялық әсерге ие болады. Ір мүмкін әсер бойынша ИС әр түріне РТК белгілеу керек. Әсерлер иондаушы және мөлшерлі болады.

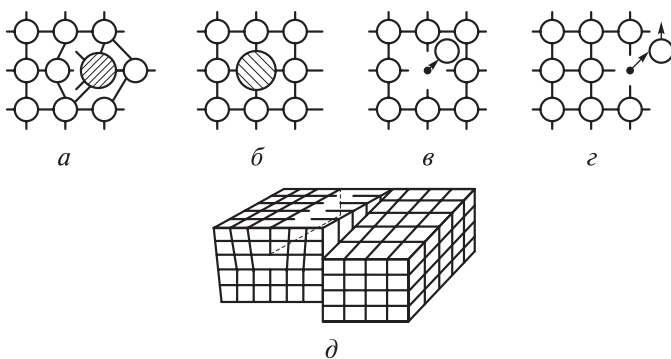
*Иондаушы әсерлер* қайтымды өзгерістермен байланысты және  $\gamma$ -сәулелену дозасының күші мен протонды немесе нейтронды сәулелену  $\phi$  ағынының тығыздығына тәуелді. Иондаушы әсер атом иондауында көрсетіледі, заряд тасушы концентрациясы ұлғаяды және сипаттамалық немесе тежеу радиация есебінен кванттар шығарылады. ИС тоқтатылғаннан кейін қайта қалпына келтірілетін өзгерістер жоғалады. Өнімдердің ДК нейтрондардың  $\Phi_n$  шекті мәніне сәйкес бағаланады.

*Дозалық әсерлер*, қайтымсыз өзгерістер тудыруы, өнімдер мен материалдарға ИС ұзақ және үздіксіз әсер нәтижесінде пайда болады және ИС сіңіру дозасына  $D$  тәуелді болады. ИС әрекеті тоқтағаннан кейін дозалық әсерлер кристалдық тор құрылымында және молекула құрылымының өзгеруі баланысты радиациялық ақаулары түрінде көрініс табады. Өнімнің РС  $\gamma$ -сәулелену  $D_\gamma$  дозасының шектік мәндеріне сәйкес бағаланады.

Кристалдық тордың радиациялық зақымдануы ковалентті, иондық және аралас байланысты заттар үшін өте маңызды юбойлп табылады. Осы заттардың қолданылу аясына олар нүктелік ақаулар ретінде көрінеді (сурет 6.6.): «басқа» атомдардың енуі кристал торының басқа атомдармен ауысуы, тор түйіндерінде бастықтарды құра отырып атомдарды орын ауыстыру (Фенгель ақауы), тор түйіндерінде бастықтарды құра отырып атомдардың жойылуы (Шоттки ақауы)

Серпімді соқтығысу кезінде кластер ақау пиктреінің ауысуы пайда болады.

Зарядтың концентрациясын, ұтқырлығын және қызмет ету мерзімін түрлі, заряд тасымалдаушылардың рекомбинация орталықтары, шашырау немесе ұстау мүмкін энергетикалық саңылаусызға алып келеді. Жартылай өткізгіштер және диэлектриктер қосымша энергия деңгейлері басталуынан туындаған ақаулар өтелді. ИС әсерінен



### 6.6.-суреті Кристалл тор ақаулары:

*a* — «бөтен» атом енуі; *б* — түйінді бөтен атоммен алмастыру; *в* — бос жер пайда болып атомның жылжуы; *г* — бос жер пайда болып атомның жойылуы; *д* — торшық бетінің ығысуы

термиялық пиктер – қыскамерзімді заттардың жергілікті қызуынан ( $\sim 1 \cdot 10^{-17}$  л / см<sup>3</sup>) кіші көлемді ( $\sim 1 \cdot 10^{-10}$  с) пайда болуы мүмкін. Бұл кемшіліктерді генерациялау үшін энергияны  $\sim 25$  эВ атомға беру жеткілікті. Құрылымдық ақаулар кристалдық торшықтар түзу немесе спираль орналасу немесе ауыстыру түрінде заттардың салыстырмалы көп мөлшерде пайда болуы мүмкін (сур. 6.6, г).

Радиациялық молекулалардың құрылымын және олардың қасиеттері өзгеруін ковалентной материалдарға тән. Олар газдар, сұйықтар мен органикалық заттар, соның ішінде полимерлі диэлектриктер - шыны, термопластика және баспасөз материалдары. Бұл өзгерістер мыналардың салдарынан болуы мүмкін: қысқа ұзындығы және газ оқшаулау (Оргстекла, тефлон, целлюлоза) молекулаларын қалыптастырумен макромолекулаларды жою; осылайша оның тығыздығы, механикалық және электрлік беріктігі, химиялық төзімділігі (полистирол, резеңке) артады; оттегінің қатысуымен белсенді құралдарды сәулелендіру кезінде тотығу реакциялары.

Бұйым деформация тудыратын, іргелес бөліктерін коррозияға, шыны ісіну және оның бетіне жапсырылған фольга жарылуына алып келетін газдарды (H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, F<sub>2</sub> және т.б.) босататын процесі полимер материалдар радиолізі болып табылады. ,.

Радиациялық төзімділікке сәйкес - иондалудың және дозаның әсеріне төзімділік - радиотехникалық материалдарды төмен, орташа және жоғары ДК-мен бөледі.

ТР-ның әрбір деңгейі ағынның интегралды тығыздығының кейбір шектеулі мағыналарымен сипатталады— нейтронды сәуле шығару Фпфлюэнсі және  $D_\gamma$   $\gamma$ - сәуле шығарудың жұтылған мөлшері, — бұл кезде РЧП 25 %-дан көп өзгермейді. Төмен ТР материалдарына жалтылай өткізгіштер мен органикалық диэлектриктер жатқызылады; орташа ТР – органикалық емес диэлектриктер және жоғары ТР – металдар, керамика, ферриттер, кварц, слюда.

### ЭРК радиациялық төзімділігі

ИС-нің ЭРК-ның негізгі түрлеріне (конденсаторлар, резисторлар, жартылай өткізгіш құрылғылар, ИМС) әсер етуін және оны жоғарылату жолдарын қарастырайық.

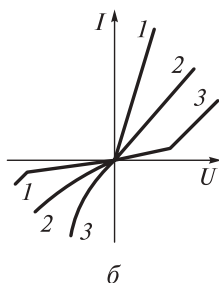
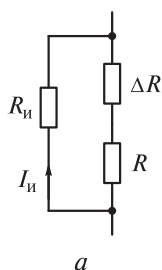
**Конденсаторлар.** Конденсаторларда РЧП диэлектриктің электрофизикалық параметрлері болып табылады:  $\epsilon$ ,  $\text{tg}$ ,  $\delta$ ,  $\rho V$ ,  $\rho_s$ ,  $\sigma$ , және ИС әсері олардың сыйымдылығына және окшаулау кедергісіне әсер етеді. Қатты диэлектригі бар РС полярлы емес конденсаторларда диэлектриктің  $\epsilon$  мәнінің азаюы салдарынан қайтымсыз сыйымдылық және беткі және көлемді иондаушы әсер салдарынан окшаулану қарсылығының қайтымды өзгерісімен анықталады.

Электролиттік конденсаторларда РС газдардың шығуы арқылы жүретін радиоактивтік-химиялық тозуға ұшыратылған электролит ( $\text{MnO}_2$ ) төзімділігімен анықталады.

Жалпы, РС конденсаторлар мынадай тәртіппен диэлектрлік түріне байланысты артады: органикалық (қағаз) және полимер (фторопласт) окшаулағыштары, электролиттік  $\rightarrow$  бейорганикалық диэлектрлік (шыны, керамика)  $\rightarrow$  ауа, вакуумдық.

**Резисторлар.** Резисторларда РЧП –өткізгіш қабатының үлестік беткі қарсылығы  $r_s$  (пленка резисторы үшін) немесе оның көлемдік қарсылығы  $\rho V$  (көлемдік резисторлар үшін) болып табылады.

Резистордың ИС-ге ұшыраған баламалы тізбегі. 6.7, а суретінде берілген. Бұл сызбада резистор  $R$  қарсылықтың номиналды мәніне ие болса, Резистор  $\Delta R$  оның қайтымсыз өзгерісін ескереді, резистор  $R_H$  резистордың қорғаныс бетінің иондалуы салдарынан иондалған тоқ  $I_n$  пайда болуын ескереді. Эксперименттік түрде анықталғандай,  $R_H \sim 1/\Phi_n$ , а  $\Delta R/R \sim D_\gamma$ . Бұл жағдайда резистордың РС өткізгіш қабатының материалына байланысты төмендегі тәртіпте артады: композиттік, көміртек, металл-пленка, сым. Мысалы,  $\Phi_n = 2 \cdot 10^{18} \text{ 1/cm}^2$  жағдайында көміртегі резисторлары үшін мән  $\Delta R/R \sim 5...30 \%$  тең, ал сым үшін —  $\approx 0,2...1 \%$ .

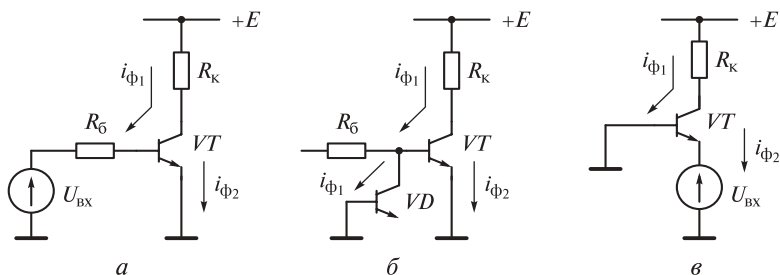


6.7-сурет. Параметрлердің өзгеруі ИИ әрекеттесуі кезіндегі ЭРК:  
 а — резистордың қарсыласуы;  
 б — жартылай өткізгішті диодтың өткізгіштігі; 1 — сәулеленуге дейін;  
 2 —  $\Phi_p = 8 \cdot 10^3 \text{ 1/cm}^2$ ; 3 —  $\Phi_i = 2 \cdot 10^{14} \text{ 1/cm}^2$

**Жартылай өткізгіш диодтар.** Жартылай өткізгіш диодтарда РЧП олардың вольт амперлік сипаттамаларының параметрлері, негізгі емес тп,р, тасымалдаушылардың өмір сүру уақыты, Сб кедергі сыйымдылығының шамасы болып келеді. Диодтардың вентильді құрамының нашарлауы тікелей өткізгіштіктің азаюы және кері өткізгіштіктің артуы тікелей тармақ үшін иондаушы әсер есебінен кері тармақтың (сур. 6.7, б) базалық аймақтағы кедергілердің өсуі мен еркін тасымалдаушылардың концентрациясының азаюы арқылы болады(тп,р азаюы). Кремний диодтары үшін ИИ параметрлерінің рұқсат етілген мәндері  $\Phi \leq 1 \cdot 10^{14} \text{ 1/cm}^2$  и  $D < 1 \cdot 10^6 \text{ Гр}$ .

**Биополярлы транзисторлар.** Биополярлы транзисторларда РЧП а тоғымен берілетін коэффициент, коллектордың  $I_{k0}$  кері тоғы,  $U_{к-энас}$  қанығудың қалған кедергісі болып келеді. Ағынның төмендеуі ИИ әсерімен рекомбинацияның тұзақтарының санының артуына байланысты аймақтағы аз тасымалдаушылардың өмір сүру мерзімінің төмендеуіне байланысты болады. РС-нің өсуі базалық аймақтың қоспалау деңгейін арттыру және оның енін азайту есебінен қол жеткізіледі. Транзистордың жұмыс жиілігі базалық аймақ арқылы тасымалдаушы, тасымалдау уақытына байланысты, RF транзисторлары жоғары сұйықтық деңгейінде жұмыс істейді. Гамма-сәулеленудің әсерінен транзисторлық VT (рис. 6.8, а) коллекторының кері қозғалысы  $i_{\phi l}$  фототеруының пайда болуына байланысты, кері қозғалтқыштың қосымша буынының пайда болуымен байланысты, бұл транзистордың базалық әлеуетін арттыруға алып келетін және, қосымша фототоктың пайда болуы /  $\phi 2$ . РС-нің ұлғаюы транзистор базасында р-п-түйісетін VD өтемдік теңгерімін қосу немесе транзистордың (6.8,б сур.) схемаға сәйкес ортақ негізге қосылуы есебінен мүмкін болады(сур. 6.8, в).

**Полялық транзисторлар.** МДП полялық транзисторларда РЧП  $I_{C0}$  бастапқы ток ағыны, S тіктігі,  $U_{пор}$  шектік кернеуі, бекітпенің ағып кету тоғы /30 болып келеді. Олардың өзгерістері толығымен жартылай өткізгіш құрылым көлеміндегі ақаулармен және диэлектрлік-жартылай өткізгіш интерфейсіндегі диэлектриктрмен толық анықталады. Атап



Сур. 6.8. Биополярлы транзисторда (а) ағындық радиоактивті әсердің пайда болу механизмі және өтемдік төлем р — п өткізуінің (б) нейтральдау тәсілі арқылы және ортақ база арқылы транзисторды қосу схемасы(в).

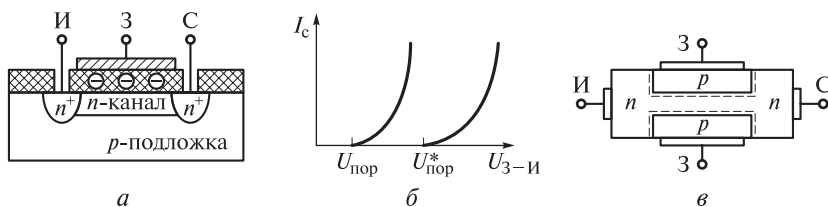
айтқанда, ИИ әсерінің диэлектрлік әсерінен (6.9 а суретте) МДП-транзистордың қақпасында тұрақты потенциал құрайтын, ипор -дың үлкен оң мәніне қарай өзгертін еркін кернеулері бар (6.9-сурет, б); сонымен қатар, кіріс сипаттамасының S көлбеуі төмендейді.

РС МДП транзисторларының компьютерлері келесі тәртіпте артады (диэлектрлік материалдың ысырмасы үшін):  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . ИИ әсер ету шектері:  $\Phi_{\text{II}} \leq 1 \cdot 10^{18} \text{ 1/м}^2$ ,  $D_{\gamma} \leq 1 \cdot 10^4 \text{ Гр}$ .

Үлкен РС-лар бақыланатын р-п түйіспесі бар полялық -әсерлі транзисторлармен жабдықталған, олар негізінен қақпаның зарядының пайда болу мүмкіндігіне ие болмайды, бірақ оларда басқару р-п түйісінің ағындық әсерлерін бақыланады (сур. 6.9, в).

Электрондардың ұтқырлығына байланысты РС тесіктердің қозғалғыштығымен салыстырғанда, n-арна транзисторларлары жоғарырақ, бұларнадағы қоспалау деңгейінің жоғарылауымен артады. ИИ әсер ету шектері:  $\Phi_n < 1 \cdot 10^{19} \text{ 1/м}^2$ ,  $D < 1 \cdot 10^5 \text{ Гр}$ .

**Интегральды микросхемалар.** ИМС РЧП-да активті компонентінің жартылай өткізгіш және диэлектрлік оқшаулағыш қабаттар мен өтпелі аймақтар қате маржасының параметрі болып табылады.

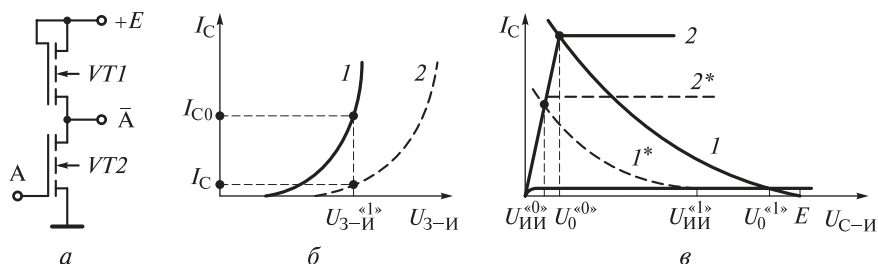


Сур. 6.9. Дала әсеріндегі транзисторлардағы радиациялық әсерлері: а -МДП-транзистордың қақпақ оксидінде бос зарядтардың пайда болуы; б —ВАХ МДП-транзисторда өрістер кірісі; в —р — п-өткізуде; 3 — жапқыш; С — кіру тегі; И — шығу тегі басқаруындағы өткізу қабілетін өзгерту

Биполярлық және басқару р—n—өткізу мен далалық әсер транзисторларға негізделген ИМС-мен бірге БЛЭ цифрлық үшін ИИ ағынның тығыздығына байланысты және флюэнса  $\Phi_n$  рұқсат етілген мәні бойыша бағаланатын иондалған эффект қауіпті. МДП-транзисторына (n-МДП, к-МДП) негізделген ИМС-мен бірге БЛЭ үшін жартылай өткізгіш және  $D_u$  дозасы рұқсат етілген мәні бойыша бағаланатын оқшаулағыш материалдардың құрылымында қайтымсыз өзгерістер қауіпті. n-МДП транзисторына негізделген ИМС –та төмен РС қарапайым логикалық операцияны орындау – А кіріс сигналының инверсиясы БЛЭ кіріс деңгейіндегі «0» және «1» логикалық кедергіге төзімді ИИ деңгейінен әсерінен азаюуына байланысты (рис. 6.10, а).

Деңгей жинақтылығы әсерету кезінде транзистордың кіріс сипаттамасын ИИ ауыстыру есебінен жүреді (рис. 6.10, б), бастапқы орнына қатысты және стоктогының азаюуы  $I_{C0}$  деңгейінен  $I_{CII}$  деңгейіне дейін бірдей қақпақ кернеуі өзгереді. 6.10 суретте, в (VT1) жүктің біріктірілген жүктеме және (VT2) басқарушы БЛЭ транзисторының ИИ әсеріне дейін (кривые 1, 2) және кейін (кривые 1\*, 2\*) сипаттамалары берілген. 6.10 суретте, в ( $U_0^{<0>}$  до  $U_{III}^{<0>}$ ) БЛЭ шығысында логикалық «0» деңгейінің аз ғана өзгеруіне байланысты «1» ( $U_0^{<1>}$  до  $U_{III}^{<1>}$ ) логикалық деңгей өзгергені көрінеді, бұл кедергі келтірмейтін ИМС азаюуы болып табылады.

к-МДП құрылымы(6.11-сурет, а) бар БЛЭ негізінде ИМС-тің мәселесі теристорлық әсер болып табылады — /скв өтпе токтың VT1 және VT2 транзисторлары арқылы ағуы — паразитті р<sup>+</sup>—n—p—n+ құрылымында ИИ әсерінен пайда болады. сурет 6.11, б).



6.10.-сурет -МДП инверторының радиациялық төзімділігін түсіндіру:

а — инвертор сызбасы; б — бастапқы (1) және ИС әсерінен ығысқан(2) жүктеме транзисторының кіру сипаттамасы; в — біріктірілген тұрып қалған жүктемелік (1) және басқарушы (2) транзисторларының БЛЭ (1 және 2) дейін және (1' мен 2' кейін) ИС әсерінің сипаттамасы; А — анод

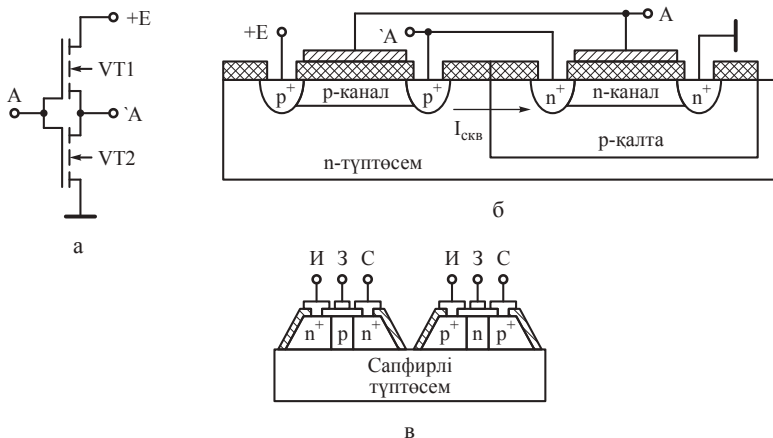
Энергиямен жабдықтау тізбегіндегі ағымның күрт ұлғаюымен бірге бұл нәтиже қайтымсыз құбылыстардың себептері болып табылады - өтулердің үзілуі, байланыстардың жылу бұзылуы және т.б. Оған қарсы тұрудың бір жолы - электр тізбегіндегі ток шектегі резисторларды қосу. Дегенмен, тиристорлық әсердің пайда болу мәселесінің ең жақсы шешімін «сапфирадағы кремнийді» қолдану - бұл п-каналды және «сапфирлік төсемде арналы транзисторлардың жеке орналасуы». (сур. 6.11, в).

РС сандық ИМС-тары иондау ток импульсінен туындаған кернеудің төмендеуі әсерінен ИМС шығысындағы логикалық күйлердің ерікті өзгеру ықтималдығының құнын қосымша бағалайды. Сондықтан кедергіге төзімділік қорының өсу ретімен мәніне қарап іріктеу арқылы ИМС сандық БЛЭ типіне (И<sup>2</sup>Л, ЭСЛ, ТТЛ (ТТЛШ), «-МДП) и к-МДП, РС өсу ретінің мәніне қарап іріктеу мына түрде болады: И<sup>2</sup>Л, «-МДП, ТТЛ (ТТЛШ), ЭСЛ, к-МДП.

Аналогтық ИМС-та кері иондалу әсерінің пайда болуының негізгі себебі жалған сигналдарды шығаратын коллектордағы иондалу токтарының және оқшауланған п-түйіндердің генерациясы болып табылады.

РС ИМС-ты жетілдіру үшін келесі тізбекті және құрылымдық-технологиялық шаралар ұсынылады:

- биполярлық транзисторлардың ИМС-ты жоғары токтарда және қанықтыру режимінде жұмыс істейтін күшейтудің үлкен шектеу жиілігіне ие «жұқа» базасымен.



Сур. 6.11. МДП инверторына схема (а) және оның жартылай өткізгіштегі конструкциясы (б) және диэлектрик (в) төсемінде; 3 — бекітпе; С — ағу;

И — бастау

| Нейтрондардың флэенсі $\Phi_n$ , $1/m^2$ |                   |                                             |                   | у-сәулелену дозасы $D_\gamma$ , Гр |                                              |                               |
|------------------------------------------|-------------------|---------------------------------------------|-------------------|------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------|
| ТТЛ                                      | ТТЛШ              | ИЭЛ                                         | ЭСЛ               | и-МДП                              | к-МДП                                        | ПТ<br>басқарушыр<br>п-өткізуі |
| $1 \cdot 10^{18}$                        | $2 \cdot 10^{19}$ | $\frac{2 \cdot 10^{17}}{2 \cdot 10^{18}}$ * | $8 \cdot 10^{19}$ | $2 \cdot 10^{3**}$                 | $\frac{3 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^9***}$ дейін | $10^5$                        |

\*

Ион имплантациясының және «диффузияның жоғарлауының» арқасында транзистордың тоқты беру коэффициенті бар ИМС үшін.

\*\* Радиацияға төзімді қақпақ оксидін пайдаланған кезде  $Si_3N_4$ .

\*\*\* «Сапфирдегі кремний» технологиясын пайдаланған кезде.

• шектік кернеудің ұлғаюын қамтамасыз ететін алынған ИИ мөлшерінің өсуі бойынша п-МДП ИМС құрылғылары үшін қуат көзі кернеуін автоматты түрде арттыру;

• ИС-дің транзисторлардың ағымдық күшейту параметрлеріне әсер етуінің ықтимал төмендеуін есепке ала отырып, рұқсат етілген жолдың максимальды коэффициентін қамтамасыз ету;

• иондалу токтарының әсерін өтеу үшін жоғары қуатты каскадтарға транзисторлардың дифференциалды жұбын пайдалану;

• ИМС белсенді компоненттердің мөлшерін азайту;

• жартылай өткізгіш материалдың кішігірім  $pV$  мәнімен, сондай-ақ транзисторлар мен диодтардың негізгі аймағының қалыңдығының төмендеуімен қолдану;

• кері орналасқан  $p-n$  өткізуінің орнына диэлектрлі ИМС компоненттерін оқшаулау ;

• МДП транзисторларын төзімді диэлектриктермен пайдалану;

• Үлкен атом санымен (мысалы, алтын) материалдарды пайдалануды шектеу  $\gamma$ -сәулелену энергиясын белсенді түрде сіңіріп, ИМС жылытуды тудырады.

6.2 кестесінде РС ИМС-тің орташаланған параметрлері көрсетілген.

## 6.1. ИС әрекеттесуінен РЭҚ қорғау әдістері Тікелей экрандау

Жоғарыдағы барлық РС жоғарылату әдістерін сызба, құрылым жоспарлау және база элементін дайындау технологиясы барысында жүзеге асырады. Олардың барысында РС мүмкін қоры қамтамасыз етіледі. ИС ағындық және мөлшерлік жүктемелері шынайы боып табылады, олар РЭҚ қорғау барысында немесе сіңіру материалдарына

тұратын арнайы экрандар көмегімен алынуы мүмкін. немесе жалпы, жергілікті және көлеңкелік әдісті қолдана отырып, ИС әсеріне төзімсіз үлкен көлемді материалдар мен түйіндер қорғалатын элементтер мен түйіндер конструкциясының алмасуы арқылы жүзеге асады.

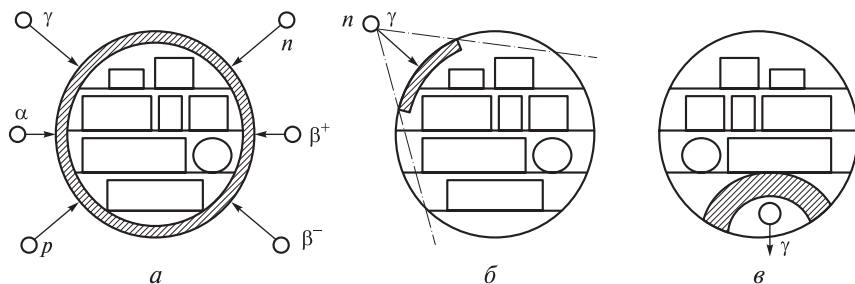
*Жалпы экрандау* (сур. 6.12, а) ИС әсерінің барлық түрлерінен РЭҚ ең тиімді қорғауды қамтамасыз етеді, алайда, жалпы салмағы мен объектінің өлшемдерін арттырады. Қорғаудың бұл әдісі ИС әрекетінің параметрлері мен бағыттары туралы және РС жабдықтары туралы мәліметтер туралы ақпараттың толық еместігі жағдайында қолданылады.

*Көлеңкелі экрандау* (сурет 6.12, б) объектінің жабдықтарын егер олардың параметрлері мен күйі белгілі болса және жұмыс кезінде өзгермесе, ИС көздерінен тиімді қорғауды қамтамасыз етеді. *Жергілікті экрандау* кезінде салмағы мен барлық өлшемі аз құралдар қолданылады. Бұл РС жеке РЭҚ құралдарын немесе у-бөлшектерінің (сурет 6.12) мысалы, ғарыш кемесінің жұмсақ қону жүйелерінде пайдаланылатын у-көздерді жинақтау үшін қолданылады.

Қорғау әдісін таңдау тасымалдаушы нысан түріне, РЭҚ пайдалану шарттарына, ИН көздерінің құрамы мен параметрлеріне, олардың әсерінен, әсіресе талап етілген әлсіреу дәрежесіне байланысты. Нақты есептеу күрделілігіне, немесе мүмкін еместігіне байланысты радиациялық қорғау параметрлерін материалдардың ең тиімді және қолжетімді қорғау оңайлатылған модельдер негізінде олардың шамамен есептеулері жүргізіледі.

## Нейрондық және у-сәулеленуден РЭҚ қорғау

Нейрондық сәулеленуден РЭН қорғау материалдарын таңдағанда, қорғау механизмдерінің жұмыс істеуінің келесі ерекшеліктерін ескеру керек:



6.12-суреті. ИС әсерінен экрандау сызбасы а — жалпы; б — көлеңкелік; в — жергілікті

• қорғау механизмі «жылу» сіңіру нейтрондардан тұрады, яғни, «Жылдам» нейтрондарды алдымен баяулату керек;

• энергиясы  $E \geq 0,5$  МэВ нейтрондар Икемсіз соқтығыс кезінде шашыраңқы, нейтронды төменгі энергиясын бере отырып ядролар ыдырайды; ал ядролар қозып, бастапқы жағдайға қайтып, б-бөлшектерді немесе у-кванты шығарады, нәтижесінде «Жылдам» нейтрондар «жылу» нейтрондарға дейін баяулайды және қорғаныш қабатында сіңіріледі немесе одан шығады;

• нейтрондық сәуле әсерінен кейбір қорғау материалдары белсенденеді, өзгереді, ал бұл қорғау тиімділігін төмендетеді.

Тиімділігін бағалайтын қорғау материалдарының сандық параметрлері шашырау қимасы және жаулап алу қимасы болып табылады, және нейтрондардың сіңуін баяулатуы материалдарды сандық параметрлері қорғау, ядро радиусы  $r_{\text{я}}$  мен атом радиусына  $r_{\text{а}}$  тәуелді шашырау қимасы және қимасы  $\sigma_{\text{с}}$  болып немесе (барндармен өлшенеді, 1 барн -  $1 \cdot 10^{-24} \text{ см}^2$ ) :

$$r_{\text{я}} \approx 1,4 \cdot 10^{-15} (\sqrt[3]{A}); r_{\text{а}} \approx 6 \cdot 10^{-10} (\sqrt[3]{M/\rho});$$

ондағы  $A$  — массалық саны;  $M$  — атомдық масса;  $\rho$  — тығыздық.

Нейтрондармен өзара әрекеттесудің жоғары тиімділігіне құрамында сутегі бар материалдар мен ядролардың тығыз орамасымен және атомның кіші радиусына ие материалдар жатады. Көбінесе, ауыр су, сутегісі бар полимерлер, графит және бор нейтронды баяулатушы ретінде пайдаланылады, ал кадмий және боры бар материалдар суық және жылу нейтрондарының сіңірушілері ретінде қолданылады.

Деутериумы  $D_1^2 (D_2O)$  және тритий  $T_1^3 (T_2O)$  негізіндегі ауыр су - сутегі атомдарының тығыздығының жоғары ортаның тығыздығына байланысты нейтронды сәулеленуден қорғайтын нейтронды баяулатушы және қорғаныс материалы. салыстыру үшін:  $\sigma_{\text{с}} (\text{Al}) = 1.4$  барн,  $\sigma_{\text{с}} (\text{Pb}) = 2$  барн.

*Сутегісі бар полимерлер* (полистирол, полипропилен - термопластикалық полимер ( $C_n H_{2n}$ )) нейтронды үздік баяулатушы болып табылады, бірақ олар жылуға төзімді.

*Графит* (C) нейтронды баяулатушы және рефлектор ретінде пайдаланылады; ол ұзаққа созылған, өңделуі мүмкін, бірақ жоғары температураларда және нейтрондармен ұзақ сәулелену кезінде өте нәзік болады.

*Бордың карбиді* «термиялық» нейтрондарды ұсақтайды (немесе  $\sigma_{\text{т}}(\text{B}) = 718$  барн); бірақ ядролық реакция нәтижесінде Li және He түзіледі, бұл коррозияға төзімділік пен беріктігін төмендетеді. Графитпен бор карбидінің дисперсиялық қоспасы «жылулық» нейтрондарды 400 есе әлсіретеді.

*Кадмий* (Cd) «суық» және «жылу» нейтрон (немесе  $\sigma_r$  (Cd) = 3500 барн) өте жақсы (бірақ өте қымбат) сіңіруші болып табылады.

Қалыңдығы 1 мм болатын кадмий тактасы нейтрон тығыздығын  $1 \cdot 10^9$  есе азайтады. Cd (5%) және Pb (95%) қоспасы нейтрондар мен у-сәулеленуін әлсіретеді және жақсы механикалық қасиеттерге ие.

*Темір* (Fe) құрылымдық және қорғаныш қасиеттерін үйлестіре отырып, (, жылжымалы соғу, фракция) болат және шойын сияқты әсерінен өнімдерді нейтрондардан қорғаныш ретінде пайдаланылатын болып табылады.

Нейтрондардан  $\gamma$ -кванттардың айырмашылығы олар қорғаныш материалының атомдарының электрон қабықшаларымен өзара әрекеттеседі, сондықтан үлкен массалық А (қорғасын, темір, сонымен қатар бетон) материалдары олардың сөнуінің жоғары тиімділігіне ие.

*Қорғасын* (Pb) у-сәулеленуді басудың жоғары тиімділігіне ие, бірақ оны қолдану балқыту температурасының төмен болуына байланысты ( $T_m = 600K$ ) шектелген. Жоғары температура кезінде вольфрам (W) және тантал (Ta) қолданылады.

*Темір* (Fe) нейтронды сәулеленуден тиімді қорғау болып табылады, бірақ болатты қорғаныс құрылымының массасы  $\gamma$ -сәулеленуден қорғасын эквивалентінен гөрі 30% артық.

*Бетон* - бұл қорғаныстың массасы мен өлшемдері шектелмеген жағдайда, нейтронды және  $\gamma$ -сәулеленуден қорғау үшін негізгі материал.

### Бақылау сұрақтары

1. Иондаушыға қандай сәулелену түрлері жатады және неге?
2. ИС өрістерін және мөлшерін сипаттайтын параметрлерді атаңыз.
3. Жеңіл және ауыр зарядталған бөлшектердің, зарядталған және бейтарап ауыр бөлшектердің өзара әрекеттесуіндегі айырмашылықтарды көрсетіңіз.
4. Бір энергияның бөлшектері мен кванттарының өзара әрекеттесуіндегі айырмашылық қандай?
5. ЭРК радиациялық беріктік дегеніміз не?
6. иондаушы әсері мен мөлшер арасындағы айырмашылық қандай? Зат құрылымында қандай құрылымдар мен құрылымдардың параметрлері өзгереді?
7. Биполярлық және далалық транзисторларда, интегралды схемалар құрылымдарында радиацияға сезімтал аймақтарды белгілеңіз.
8. «Тиристордың әсері» деген не және оны қалай болдырмау керек?
9. ИС қарсы жалпы қорғаныс әдісінің артықшылықтары мен кемшіліктері қандай?
10. Нейтронды және  $\gamma$ -сәулеленуден қорғау материалдарына қойылатын талаптар қандай?

## **Кедеріден қорғау және шуды бәсеңдету негіздері**

### **7.1. Жалпы ақпарат**

РЭК кедергәде қорғауға осы тәртіпте кездейсоқ электромагниттік бұзылуларға әсер ету жағдайында тұрақты жұмыс істейтін РЭК-ты қамтамасыз ететін әдістер мен құралдар енгізіледі; Шуылдарды бәсеңдетуге РЭК шығарған кездейсоқ кедергіні, сондай-ақ қуат схемаларында РЭК шығаратын генерацияланған шу басудың әдістері мен құралдары енгізілген. Кедергден қорғау және шуды жою проблемалары электромагнетизмнің басқа техникалық құралдармен бір мезгілде жұмыс істейтін РЭК үйлесімдігінің жалпы проблемасының бір бөлігі болып табылады.

Кедергіден қорғау мен шуды төмендету шараларын әзірлеу үшін негіздеме РЭК талап еткен радиотехникалық жүйенің немесе кешеннің құрамында жұмыс істейтін техникалық талаптар болып табылады. Атап айтқанда, олар жиілік диапазонын және РЭК электр тізбектерінде жасай алатын кернеулер мен токтардың рұқсат етілген деңгейлерін анықтайды. Қуат көзінің параметрлерін бір мезгілде көрсетеді. Бұдан басқа, электромагниттік сәулеленудің ықтимал көздері, қорғалмаған байланыс желілері, сыртқы кедергіге сезімтал элементтер көрсетілуі мүмкін.

РЭК жобалау тәжірибесі сыртқы шуды және ішкі шуды болдырмауға байланысты проблемалардың 95% -на дейін схемалар мен конструкциялардың жобалау кезеңдерінде жойылуы мүмкін екенін көрсетеді; Қалған 5% прототипін немесе қалыпты жұмысын тексергеннен кейін жойылады. Кері қайтару әдісімен бұйым құны артады, өйткені қазірдің өзінде дайын бұйымға кедергі болдырмау әдістері шектелген [12].

### **7.2. Кедергілер мен шуды жою көздері, жіберу жолдары мен әдістері**

Жалпы алғанда, шу мен кедергі беру жолында кедергі көзі, кедергі рецепторы (рецептор) және байланыс арнасы бар. Кедергілердің көздері - сигналдарды генерациялауға және ауыстыруға арналған құрылғылар, электрондық құрылғылар мен ЭРК ішкі шуы болып табылады. Кедергі қабылдағыштары - жоғары сезімталдық күшейткіштері, бисталды және шекті құрылғылар, байланыс желілері болып табылады.

Байланыс арналары РЭҚ жобалау кезінде туындайтын және схемалық диаграммаларда қарастырылмаған пайдалы сигналдар мен паразиттік байланыс арналарын беру үшін байланыс желілері болуы мүмкін; Бұл жағдайда паразиттік байланыстар: өткізгіш және жақын және алыс аймақтардағы электромагниттік өріс арқылы бөлінеді.

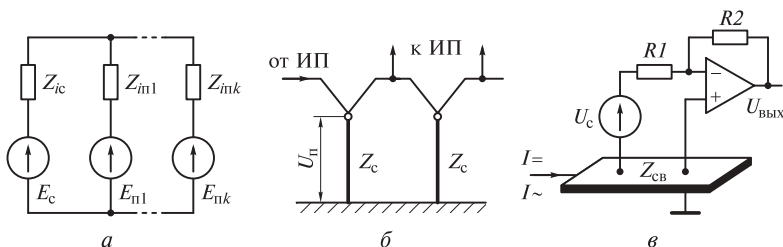
## Кондуктивті паразиттік байланыс

### Кондуктивті паразиттік байлауыс пайда болу шарттары

Паразиттік өткізгіш байланыс кедергі көзі және импеданс рецепторы үшін ортақ болған кезде пайда болады:

- $Z_{\text{ж}}$  ішкі импедансымен  $E_c$  сигналының бір көзінен қуатталған кезде, бірнеше қабылдағыш -  $Z_{\text{tak}}$  ішкі кедергісі бар  $E_{\text{uk}}$  кедергісі сигналдарының көздері қуаттанған кезде (7.1-сурет, а);
- кедергі көзі мен қабылдағышын ортақ байланыс желек арқылы жерлендіруі (7.1, б сурет);
- кедергі көзі мен қабылдағышында басу монтажи бар болған жағдайда (сур. 7.1).

Мысал ретінде (7,1-сурет қараңыз ..) күшейткіштің басылып шығу деректер орнатылған мынадай жағдайларда жалпы мыс шина бөлімінде әсерін қарастырайық: шиналар мөлшері - 5 x 0,5 x 0,05 мм, күшейту коэффициенті  $K = 1 \cdot 10^3$ , Тир DC шина бойынша тұрақты ток  $I = 100$  мА, 1 МГц  $L = 0,4$  мА жиілігінде компонент тоғы амплитудасы, мыс қарсылығы  $\rho = 1,710 \cdot 8$  Ом·м. Бұл кезде DC кедергісі  $R = 7$ , содан кейін - оған кернеу түсуі, екінші жағынан 0,7 В шығыс кернеуі деңгейінің жылжуына әкелетін 0,7 мВ, болып табылады  $10^{-3}$  Ом, 1 МГц индуктивті қарсылық  $X_L$  тең 0,05 Ом, айнымалы кернеу олар амплитудасы 20 мВ шу амплитудасы кернеуі күшейткіш сигнал себеп болатын күш 20мВ, болады.



Сурет. 7.1. Паразиттік өткізгіш байланыс схемалары:

а - сигнал көзінің ішкі кедергісі арқылы; б - ортақ контактілі желек арқылы жерге тұйықталуы; с - басып шығарылатын шинаның ортақ бөлімі арқылы; ИП – қуат көзі

Паразиттік өткізгіштің сандық бағалауы үшін қажетті сигнал көздері тиісінше кернеу көздері болып табылатын жағдайла үшін  $E_c$ ,  $J_c$  және ағымдағы ток жағдайында баламалы тізбек қарастырамыз.

Кедергі көзі кернеу көзі ( $E_n, Z_{in}$ ) (сур. 7.2) болып табылса, ол сигнал көзіне ( $E_c, Z_{ic}$ ) және жүктемелерге  $Z_{H1} \dots Z_{Hk}$  параллель қосылған болып табылады.

Ал кедергі көзі ток көзі болса ( $J_n, Z_{in}$ ) (7.2, б-сур) онда сигнал көзіне қосылған болып табылады. ( $J_c, Z_{ic}$  және жүктемелерге  $Z_{H1} \dots Z_{Hk}$ ) онда сигналдың әшкі импедансы паразиттік кондуктивті байланыс импедансы  $Z_{ic}$  болып табылады және байланыс  $Z_{cb}$  және жүктеме импедансының  $Z_{cb}$  байланысы дегенді білдіреді.

$Z_{cb} \parallel Z_{Hn}$  төмендегідей кернеу мен тоқтың паразиттік өткізгіш байланыс коэффициенттерін жазамыз :

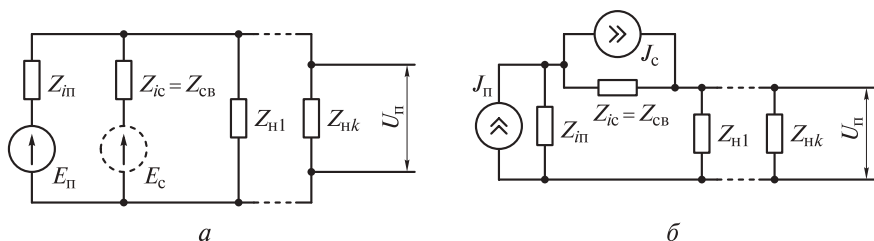
$$K_K^U = \frac{Z_{cb} \parallel Z_H}{Z_{in} + Z_{cb} \parallel Z_H}; K_K^I = \frac{Z_{in}}{Z_{cb} + Z_H};$$

Сур. 7.2, а, суреттелген сызба үшін әрдайым  $|Z_H| \gg |Z_{cb}|$ , шарты орындалады, ал сур. 7.2, б үшін әрдайым  $|Z_{cb}| \gg |Z_H|$  орындалады.

Осы шарттарды ескере отырып келесіні жазамыз:

$$K_K^U = Z_{cb} / Z_{in} + Z_{cb}; K_K^I = Z_{in} / Z_{cb}$$

Осылайша, кернеу арқылы өткізетін паразиттік байланыстарды азайту үшін барлық мүмкін құралдармен ZB шамасын төмендету және өткізетін паразиттік ток байланысын азайту үшін, керісінше, оны көбейту керек.



Сурет. 7.2. Кедергі көздері сұлбасы:

а - кернеу көзі; б - ток көзі

## Кедергі бәсеңдетуші компоненттер мен сүзгілер

Мысалы, 7.1, а - суретінде ZCB а мәнін төмендету айнымалы кернеу сигнал кедергілерге қатысты төмен кедергісі бар кедергі бәсеңдету элементтері рецепторы мен кедергі көзі арасындағы қосу арқылы жүзеге асырылса, кедергі сигналының айнамалы тоққа қатысты жоғары импеданс арқылы жүзеге асады. Ұқсас қасиеттері бар - бұл конденсаторлар мен индукторлар, сондай-ақ оларға негізделген түрлі сүзгілер. Кедергі сигналын басудың тиімділігі тізбегіне енгізілген азаюға байланысты S, дБ:

$$S^U = 20 \lg \left| \frac{U_N}{E_{II}} \right|; S^I = 20 \lg \left| \frac{I_N}{J_{II}} \right|$$

Пайдалы сигнал бұрмаланусыз берілуі керек. Сур. 7.1,б, тізбектердің жерге тұйықталу ортақ бөліктерін немесе сигнал токтарының өтуін ( $I$ ) және интерференцияны ( $I$ ) қоспағанда, конструкцияны өзгерту арқылы жүзеге асырылады.

Фильтірдің түрін таңдау, сондай-ақ оның компоненттерінің түрлері, типтері мен түрлері пайдалы сигналдың көздеріне және кедергі сигналына, жүктің импедансіне, жұмыс жағдайына, технологиялық мүмкіндіктеріне байланысты. Сүзгі мынадай талаптарға сай болуы керек:

- қажетті жиілік диапазонында кедергілер берілген  $f_{\min} \dots f_{\max}$  сигнал қарағанда жақсы сүзу тиімділігін қамтамасыз ету;
- сигналдың жоғалуын және бұрмалауды азайту қамтамасыз ету;
- өлшемдер мен салмақтың аз болуы.

РЭҚ-те кедергіден қорғау және шуды болдырмау міндеттеріне қолданылатын сүзгілер шектеу жиілігі кең жолақты кесу жиілігі

$F_{CP} = 1 / (2\pi \sqrt{L_\phi C_\phi})$  болатын LC-сүзгілер (ФНЧ) болып табылады.

басылу мәні S, катушка индуктивлігі және конденсатор сыйымдылығы реактивті элементтерінің түрлі параметрлері үйлесімімен бір қию жиілігінде қамтамасыз етуге болады. Осы параметрлерді таңдауда келесіні ескеру керек:

- фильтр схемасындағы токтар мен сигнал кернеулерінің қатынасы: салыстырмалы түрде жоғары ток және қатысты төмен кернеу үшін индуктивті төмен катушкалар пайдаланылады. Бұл жағдайда катушкалардағы кернеудің төмендеуі аз, ал шағын жұмыс кернеуле жоғары сыйымдылықты конденсаторлардың көлемі аз. Егер кернеу салыстырмалы түрде жоғары болса және ток салыстырмалы түрде төмен болса, жоғары индуктивтілік катушкалар қолданылуы керек; бұл жағдайда кернеудегі кернеудің төмендеуі де аз болып табылады,

ал қажетті жоғары вольтты конденсатордың жалпы өлшемдері аз

• жиілік спектрі минималды және максималды құндылықтары және  $f_{\min} \dots f_{\max}$  F минималды араласу жиілігі, сүзу тиімділігін паразиттік параметрлерін әсерін болдырмау үшін барынша жиілігі араласу  $f_{\max}$  сәйкес таңдалған типтік өлшемді элементтер үшін есептеледі;

• резонанстық күшейту сигнал жиілігі сүзгі жарығы сөну мүмкіндігі, <2 дБ деңгейіне оны шектеу; Осы декремент сүзгі  $\xi = R / (2\rho)$  0,5 (  $\rho$  - сүзгі тән кедергісі шығындар; R артық болуы тиіс.

### ЭРК сериялық кедергілерді басу

*Конденсаторлар.* Өнеркәсіп өндірушілерге келесідей конденсаторлар түрлерін ұсынады (7.3-сурет):

• екі шығарушы - полярлық емес және полярлық емес, төмен жиіліктегі мен жоғары жиілікті түрі К-10, К-50, К-52 (сурет 7.3, а.) және т.б.

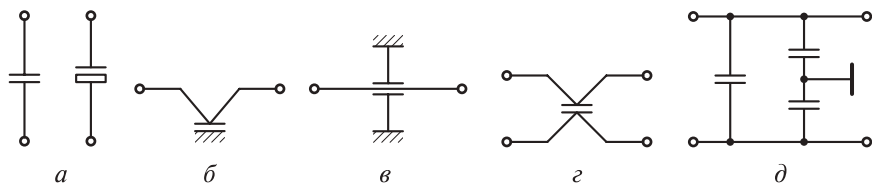
• Үш-шығарушы түрлері КО КДО К10-54 (сурет 7.3 б).

• коаксиалды К10-44, К73-18, (сурет 7.3.) және т.б және коаксиалды емес К73-21 түрі (сурет 7.3 г.) ;

• Симметриялы және асимметриялық кедергіні бір мезгілде тоқтату үшін К75-37 түріндегі конденсаторлық құрастыру (сурет 7.3, d).

Конденсатордың нақты түрлерін және типтерін таңдау үшін электрлік, жобалау және пайдалану параметрлерін, оларды пайдалану және орнату бойынша ұсыныстарды қамтитын индустрияға тән немесе жалпыға қол жетімді каталогтарды пайдалануға болады.

Нағыз конденсатордың эквивалентті сызбасына конденсатор сыйымдылығынан басқа паразиттік параметрлері де кіретінін ұмытпау керек.. Осылайша, Zс конденсатор импедансі кедергі жиілігіне тәуелді болып табылады, және оның ең жоғары мәні конденсатор индуктивті кедергісі бар жоғарыда сериясы резонанстық жиілікте F жұмыс жиілігі шектеледі. Бұл жағдайды, сондай-ақ бөгетке және шуды азайту міндеттерін РЭҚ айналысатын белгілі түрін және



Сур. 7.3. конденсаторлардың кедергі басу УГО:

а - екі жақты полярлық және полярлық емес; б - үш шығарушы тірек; в - үздіксіз коаксиалды; г - үздіксіз коаксиалды емес; d – конденсаторлық жинау

конденсаторлар тандағанда әзірлеушілер үшін нақты өнімділік және дизайн талаптары ұсынылады.

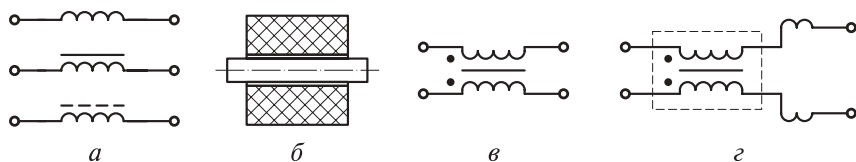
*Индуктивті элементтер.* Индустриялық элементтерді шуды басатын индуктивті элементтерді әзірлеушілерге ұсынады (7.4-сурет):

- Диэлектриктік, ферромагниттік ядро және магнитодиэлектриктердегі D және Д.М. түрі орамдық дроссельдер (сурет 7.4, а.);
- орамдық емес дроссельдер (7.4 сурет б).
- байланысқан дроссельдер - FKOB, PLA10 типті EMI- сүзгілері, (сурет 7.4 г.)

Дроссельдер біліктері ретінде 1 000НМ...3000НМ маркалы ену қабілеті жоғары жиілігі төмен марганец-мырыш (MnZn) ферриттері, 100НН... 2 000НН, маркалы ену қабілеті төмен жиілігі жоғары никель-цинк (NiZn) фирритері және магнитодтэлектрлер негізінде: Р 10, Р-100 маркалы карбонил темір және SENDUST HF-22, ПМ-60 маркалы альсифер қолданылады.

Орамалы дроссель жоғары жиіліктегі эквиваленттік сызбасы паразиттік орама аралық сыйымдылық  $C_L$  пен дроссельді орауға қарсылықты ескеретін белсенді қарсылықтан  $L_d$  тұрады. Сондықтан дроссельдің максималды жұмыс жиілігі параллельді резонанстың табиғи жиілігімен шектеледі, одан жоғары россель сыйымдылық импедансқа ие. Сонымен қатар, магнит өткізгіштігінің магнит өрісінің беріктігіне тәуелділігін ескере отырып (номиналды қуаттылығы бойынша), дроссеельдің әр номиналды сыйымдылығы орнатылған  $L_d$  үшін оның номиналды жұмыс істеу тогы  $I_p$  тең. Дроссельдің белсенді қарсыласуы скин әсерінің феномені есебінен жиілікте артып, оның Q-факторының төмендеуіне әкеледі.

Орамалы емес дроссель құбырл тәрізді магниттік білік болып табылады, ол ток тасымалдаушы өткізгішке орнатылады. Бұл дроссельдің индуктивтілігі өте аз (микроорганизмнің фракциялары мен бірліктері); Жұмыс жиілігінің диапазоны материалының жиілік сипаттамаларына байланысты және жүздеген мегагерцке жетеді.



7.4. суреті. Кедергіні басу элементтерінің УГО:

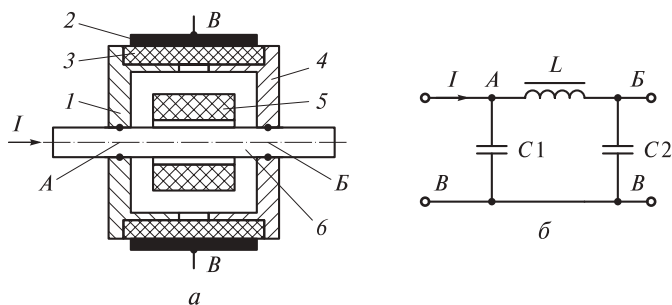
а — орамалы дросселдер; б — орамалы емес дроссельдер; в — қосарланған дроссель PLA10; г — қосарланған дроссель PLY10

| Дроссель<br>типі | $L, \text{мкГн}$     | $I_{\text{раб}}, \text{А}$ | $U_{\text{раб}}, \text{В}$ | $D_z, \text{МОм}$ | $t_{\text{раб}}, \text{С}$ |
|------------------|----------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|
| ФКОВ             | 250.1 500            | 1,5.2,5                    | 250                        | 100               | - 20. +95                  |
| PLA10            | $(0,9 \dots 43)10^3$ | 0,3.2                      | 300                        | 100               | -25 .+120                  |
| PLH10            | 70.370               | 1,0.3,6                    | 300                        | 100               | -25 .+120                  |
| PLY10            | $(0,7.11) 10^3$      | 0,5.2                      | 300                        | 100               | -25 .+120                  |

Орамалы емес дросель эквиваленттік сызбасы өзінің  $L_d$  индуктивлігінен басқа тоқ тасушы сымның қарсылығын ескеретін оның белсенді қарсылығын  $r_d$  қамтиды, скин әсер серінен жиілігінің жоғарылауынан өседі. Біріктірілген дроссельдердің кейбір параметрлері 7.1- кестеде келтірілген.

*Микроминатура сүзгілері.* Өндіріс әзірлушілерне келесі кедергі бәсеңдету сүзгоерін ұсынады: В7, В14, В23, В24, К10-78. Олар П-пішінді немесе Г-пішінді LC-төмен жиілік сүзгілері болып табылады, олардың  $L$  және  $C$  компоненттері бір түрдегі барлық құрылғыны біріктіреді.

Мысал ретінде 7.5- суретінде В7 сүзгісінің конструкциясы мен баламалы тізбегі көрсетілген. Конденсатор  $C1$  ішкі қоршау 1 және сыртқы қоршау 2 және сегнетокерамикалық құбырмен қалыптасады;  $C2$  конденсатор ішкі қоршау 4, сыртқы қоршау 2 және сегнетокерамикалық құбырмен 3 қалыптасады; дроссель  $L$  феррит түтігі 5 және ток өткізгіш сымның бір бөлігінен 6 жасалады. Мұндай фильгірмен 10 ... 100 МГц диапазонында кедергі сигналының тізбегіне енгізілген басу 60 дБ кем емес.



7.5-сурет. Микрокіші В7сүзгі конструкциясы (а) мен эквиваленттік сызбасы (б):

1, 4 — ішкі қоршаулар; 2 — сыртқы қоршау; 3 — сегнетокерамикалық құбыр;  
5 — ферриттік құбыр; 6 — ток тасушы сым

Мұндай фильтрлердің практикалық қосымшалары, мысалы, корек көзі мен сигналдары герметикалық қорғалған жинақтарда, модульдерде және микрэлементтерде қолданылған кезде кездеседі.

*Кедергі бәсеңдетуші сымдар.* Магниттік өткізгіштігінің және жоғары айрықша жоғалтулардың жоғары мөлшері бар темір толтырғыштары бар арнайы сымдар. 10 ... 1000 МГц диапазонында осындай сым арқылы кедергі сигналының тізбегіне енгізілген басу, 6...128 дБ / м құрайды.

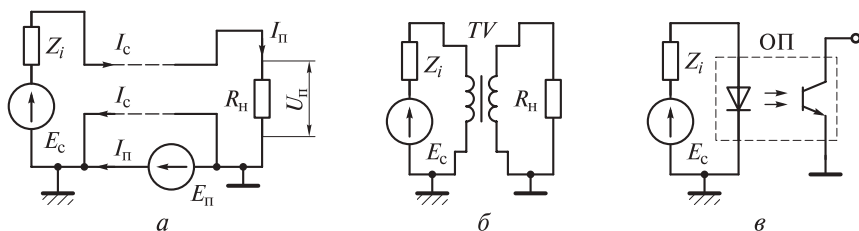
*Көпіртектегі жалғағыш - сүзгілер.* Мұндай жалғағыштың әр контактісі П-тәрізді миниатюралық сүзгіден ( $d = 3.2$  мм,  $l = 9$  мм) тұрады. Осы филтiрмен басу 10.100 МГц диапазонында кедергі сигналының тізбегіне  $R_n = 50$  Ом жүктемесінде енгізілген басу 20,80 дБ құрайды.

Қорытындылай келе, РЭҚ құрылымдарында өткізгіш кедергілерді басудың екі практикалық жолын қарастырайық

### Екі сымды желіде симметриялық емес кедергіні басу

*Ішкі  $Z_i$  импедансы бар  $R_n$  жүктемесінде  $E_c$  көзінен пайдалы сигнал беру сызбасында екі сымды желі арқылы (сур. 7.6, а) сигнал көзі және жүктеме жерге тұйықталу нүктелерінің потенциалдар айырмасынан  $E_n$  сигнал кедергісі пайда болады. Кедергі тоғы  $I_n$  пайдалы сигнал көзінің тізбегі арқылы ағып,  $R_n$  жүктемесінді кедергі кернеуін  $U_n$  құрады.*

Кедергінің осы түрін бәсеңдетудің бір жолы трансформатор (сур. 7.6, б) немесе оптожұп ОП (-сур. 7.6 в) арқылы жүктеме мен сигнал көзі тізбегінің гальваникалық шешуі болып табылады. Дегенмен, ол әрқашан мүмкін емес. Мұндай кедергілер жолын кесу тиімді құралы 7.7, а-суретте көрсетілгендей, жұпталған дроссель L1, L2 пайдалы сигнал беру тізбегіне қосу болып табылады.



Сурет. 7.6. (А) байланыс желісіне кедергі және оның (б) трансформатордың және оптоэлектрондық оқшаулау (в) көмегімен кедергінің пайда болу сызбасы ; ОП - оптоэлектрондық жұп

Құрылымдық жағынан, дроссельдің орамдары бір білікке оралып, Еп пайдалы сигналға қатысты сифазды және пайдалы сигналға  $E_c$  қатысы қарсыфазды қосылған. Осылайша, жұптастырылған дроссель пайдалы сигнал беруге әсер етпейді, өйткені оның индуктивтілігі бұл жағдайда нөлге тең. Бұл жағдай әр түрлі сигнал тізбектерінің индукторларының бірнеше жұптарын бір білікке орналастыруға мүмкіндік береді.

Дроссельдің кедергі сигналына әсерін қарастырайық.. 7.7, б-суретте кедергі сигналының көзін бәсеңдету тізбектерін жұптастырылған дроссель мен жүктеме тізбегіне қосу сызбасы берілген. Кедергінің  $U$  кернеуі үшін,  $L_1 = L_2 = L$  жағдайында мына өрнекті жазамыз:

$$U_{\Pi} = \frac{E_{\Pi} R_H}{j\omega L + R_H + r_2} - \frac{E_{\Pi} j\omega M}{j\omega L + r_1} \frac{R_H}{j\omega L + R_H + r_2}$$

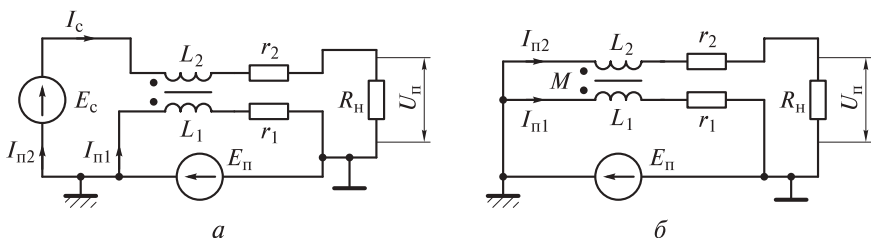
$\omega L \gg R_H \gg r_2$  жағдайында аламыз.

$$U_{\Pi} = E_{\Pi} R_H \left[ \frac{1}{j\omega L} - \frac{j\omega M}{j\omega L + r_1} \frac{1}{j\omega L} \right]$$

Нәтижесінде  $M = L$  жағдайында, мынаны аламыз

$$U_{\Pi} = E_{\Pi} R_H \left[ \frac{1}{j\omega L} - \frac{1}{j\omega L + r_1} \right]$$

Соңғы өрнек талдауы  $r_1 \rightarrow 0$  кезінде  $U_{\Pi} \rightarrow 0$  екенін көрсетеді. Өзара индукция коэффициенті  $M = 0$  тең болса, онда яғни толық кедергіні бәсеңдету болмайды.



7.7 -суреті. Жұпталған дроссель көмегімен байланыс желісінде кедергілерді бәсеңдеті тәсілдері:

a - дроссельдің тізбегі; b - кедергілерді басу тізбегінің баламалы тізбегі;  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $M$  - дроссельдің орамдарының индуктивтілігі және тиісінше олардың өзара индуктивтілік қатынасы;  $r_1$ ,  $r_2$  - дроссель орамаларының жалпы белсенділігі қарсылығы мен байланыс желілері

Қазіргі уақытта жұптастырылған дрессельді қолдану барлық РЭҚ қуат тізбектерін үшін байқаусыз кедергілерді бәсеңдету құрылғыларының міндетті болып табылады.

### Сандық құрылғы қуат тізбектеріндегі кедергіні сүзу

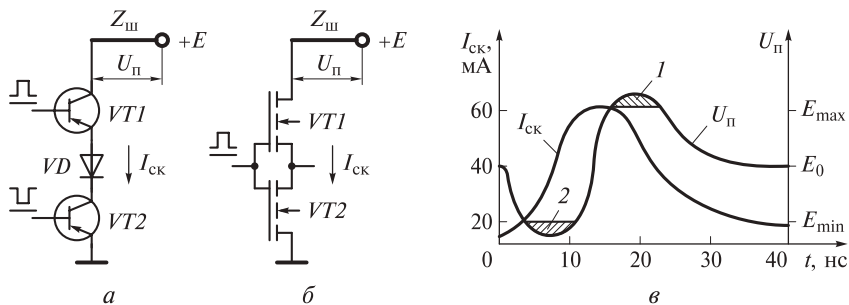
ИМС негізіндегі «бағандық» шығуы бар (ТТЛ, ТТЛШ, к-МДП) сандық құрылғылардың қызметінің ерекшелігі ерекшелігі шығу сигналының логикалық жағдайын ауыстыру кезінде қорек тізбегінен ктпелі ток  $I_{ck}$  қысқа импульсінің пайда болуы болып табылады (7.8-суреті). Бұл құбылыс екі шығыс ашық кезде: бірі әлі толық жабық емес, ал екінші ішінара ашық болғанда орын алады. Осы уақытта, қорек шинасында, индуктивті кедергісі  $Z_{ш}$  нөлдік емес, кедергі кернеуінің импульсі пайда болады.  $U_{п} = I_{ck} jZ_{ш} \approx i = I_{ck} j\omega L_{ш}$

Қорек шинасының индуктивтілігі

$$L_{ш} = L_{ш.пог} \cdot l_{ш}$$

мұндағы  $L_{ш.пог}$  — сызықтық индуктивтілік шина, Гн/см;  $l_{ш}$  — шина ұзындығы. Қоректендіру құрсымы үшін баспа монтажи әдісімен орындалған  $L_{ш.пог}$  мағынасы бір сантиметрге ондаған наногенрді құрайды.

ИМС-те қуат көзінің жиынтық кернеуінің ауыспалы процесінің нәтижесінде ИМС-тың қалыпты жұмысын қамтамасыз ететін, нормативтік-техникалық құжаттамаларда бекітілген рұқсат етілген жоғары (1-аумақ) және төменгі (2-аумақ) шектен шығып кетуі мүмкін (7.8, б-сурет). Бұл өз кезегінде ИМС-тың дұрыс жұмыс жасауына немесе жұмыста басқа да ақауларға әкелуі мүмкін.



7.8.-сурет. Сандықтарда қорек тізбегінде кедергі пайда болуын түсіндіруі ИМС:

а — ТТЛ және к-МДП логикалық элементтерінің «бағандық» шығысы;

б — ток және қорек кернеуінің эпюры; 1, 2 — тиісінше кернеуінің жоғарғы және

төменгі шектерінен тыс шығу аймақтары

ИМС қуат көзі тізбегіндегі кедергілер деңгейін төмендету үшін ұсынылады: тікелей және кері өзгішгіштердің өзара магниттік байланысын ескере отырып, қоректердіру құрсымының (соның ішінде, олардың енінің артуы есебінен) идуктивтігін азайту; түрлі ИМС-тан (әлсіз және күшті токтар) ортақ ток болып табылатын қоректендіру құрсымдарының учаскесінің ұзындығын қысқарту; ИМС-тың әрбір қуат көзінің шығулары арасында кедергіні азайтатын жоғары жиілікті конденсаторды орнату, оның сыйымдылығы қоректендіру құрсымына  $U_{\text{пдоп}}$  кернеудің шекті пульстік деңгейін ескергенде есептеледі, ал /ск өтпе ток импульсінің амплитудасы және оның  $t_{\text{пдоп}}$  ұзындығының қатынасы  $C \geq I_{\text{ск}} t_{\text{пдоп}} / U$ . Конденсатор сыйымдылығының практикалық мәні 0,001 ... 0,1 мкФ аралығында болады.

### **Жақын және алыс зоналарда электрмагниттік өрім арқылы паразиттік байланыс**

Индустриалдық кедергілерді талсау кезінде кедергі мен рецептор арасындағы қашықтыққа  $R$  байланысты электромагниттік толқын ұзындығы  $X$  электромагниттік толқын таралуының алыс және жақын аймағы ұғымы қолданылады.

Өрістің *жақын* аймағында ( $r \leq \lambda / (2\pi)$ ) әлі толқын құрылмаған, электрлік диполь кедергі көзі болып табылса,  $E$  кернеуі басым электр өрісі немесе кедергі көзі тоғы бар контур болса,  $H$  кернеулі магниттік өрісі басым өріс болып табылады. кедергілер көзі электр диполь немесе  $H$  магнит өрісі болып табылады, егер, электр РЭҚ үшін жақын аумақ 1 ГГц-дан 10 кГц дейінгі жиілік диапазонында 5 км болып табылады.

«Жақын» аймағы ерекшелігі  $Z_w^E$  және  $Z_w^H$  салыстырмалы арақашықтықтан  $k$  ( $k = 2\pi r / \lambda$ ) өріс көзін дейін магниттік өрісінің толқынды қарсыластығы болып табылады.

$$Z_w^E = 60 \lambda / r; Z_w^H = 240 \pi^2 r / \lambda$$

және олардың  $Z_w = E / H$  қатынасы бақылау нүктесіне байланысты.

Алыс аймақта ( $r \geq \lambda / (2\pi)$ ) өріс жазықтық толқынына қалыптасады және оның толқындық қарсылығы

$$Z_0 = \sqrt{\mu_0 / \varepsilon_0} = 377 \text{ Ом}$$

ондағы  $\mu_0$  - вакуумнің абсолютті магнит өткізгіштігі,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м;  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.

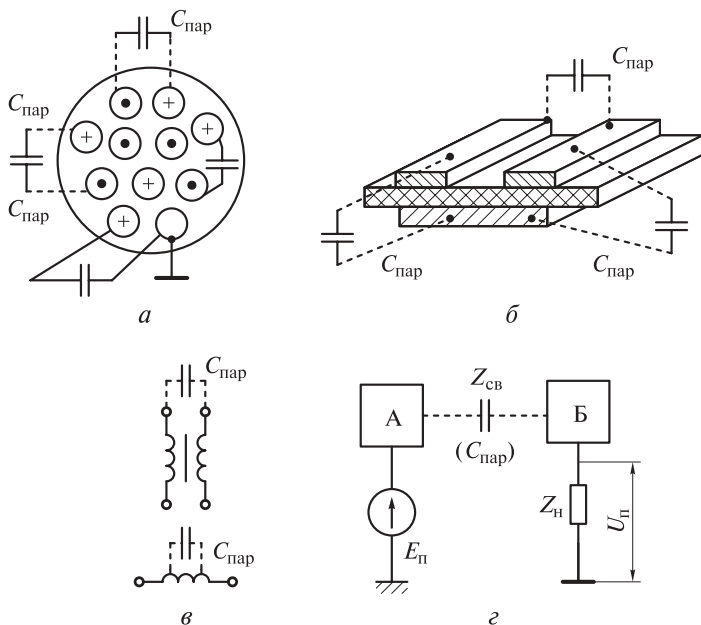
Осылайша, РЭҚ нақты құрылымында жақын электромагниттік өріс

арқылы қабылдағышқа әсер етуі мүмкін және алыс аумақта электр өрісі арқылы қабылдағышқа паразиттік индуктивтік салдарынан әсер етуі мүмкін.

### ***Паразиттік сыйымдылық байланысы***

Паразиттік сыйымдылықты байланыс (ПСБ) бар және көп сымды байланыс желілерінде: сусымалы бұрау және кабельдер (сурет 7.9, а.) , жалпақ шлейфтер және басылған монтажда (Сурет 7.9 б.); витковтік және паразиттік сыйымдылықтарды катушкалар мен трансформаторлар түріндегі бұйымдарда (сур. 7.9 г ) көрініс бере алады

Осы мысалдарда, ПСБ байланысты бірдей немесе әр түрлі тізбектерінің (т.б. мысалы, екі сымды сілтеме, қуатты кедергілер көзі және рецепторлық) тиесілі ток өткізетін сыйымдылық өткізгіштердің арасындағы паразиттік сыйымдылығы Еп көзінің электр өрісі арқылы пайда болады. ПСБ салдары кедергі пайда болуы орамасының шектейтін операциялық жиілігін төмендетуі, байланыс желісінің сигнал кешіктіру уақытын арттыруы, құрылғының істен шығуы ретінде болуы мүмкін.



Сур. 7.9. көлемді сымдар (а), баспа бетінде (б) орама бұйымдарында (в) паразитті сыйымдылықты байланыс және оның тізбегінің эквиваленттік схемасы(г),

А, Б — денелер

ПСБ сандық мәнін 7,9, г суретінде көрсетілгендей ПСБ эквиваленттік сызбасы праметрлері арқылы  $-K_{ПЕС}$  коэффициентпен анықтайды. 2:

$$K_{ПЕС} = \frac{\dot{U}_{II}}{\dot{E}_{II}} = \frac{Z_H}{Z_H + Z_{CB}}$$

мұнда  $Z_{CB}$  — паразиттік сыйымдылықты байланыс импедансі,  
 $Z_{CB} = 1(j\omega C_{ПАР})$  Осылайша ПСБ бәсеңдету үшін кезкелген әдіспен  $C_{ПАР}$  мәнін азайту керек.

Іс жүзінде, көптеген жағдайларда сыйымдылық шамасын формула бойынша паразиттік цикл ұшақ конденсатор геометриялық параметрлер бойынша есептеуге болады:  $C_{ПАР} = \epsilon \epsilon_0 S/d$ , мұндағы  $\epsilon$  - орта диэлектрлік тұрақты,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м;  $S$  - өзара бетінің ауданы, м<sup>2</sup>;  $d$  - өзара беттер арасындағы шартты қашықтық, м.

Сондай-ақ, басылымды монтаждаудың түрлі типтері мен элементтерінің байланыс желілерінің сыйымдылығын анықтау үшін қатынастар алынды. Олардың көмегімен құрылғыны жобалау және баспа платасының орналасуы бойынша нақты шешімдер қабылдау кезінде байланыс желісінің жылдамдық параметрлерін бағалау мүмкін болады.

Жобалаудың ерте кезеңдерінде жүзеге асырылатын жобалаудағы РЭҚ қысқарту бойынша қолданыстағы практикалық ұсынымдар айтарлықтай және салыстырмалы түрде төмен шығындары олардың жұмыс істеу тұрақтылығын арттырады:

- геометриялық өлшемдер азайтылуы және тізбектің тұйықталу шу көздері мен рецепторларға максималды қалыптастыру керек;
- желілік параметрлерді дәл есептеуге болатын жалпақ кабельдер мен ілмектерді қолдану керек;
- көп қабатты баспа тақталарының іргелес қабаттарындағы өткізгіштер ортогоналды күйде болуы керек;
- Фазалық кедергілер деңгейін төмендету үшін күшейткіштің кірісіне сигнал көзінің дифференциалды байланысын пайдалану керек.

Егер ЕПС-ты қолайлы деңгейге дейін азайту немесе жою мүмкін болмаса, кедергі және / немесе рецепторлардың және / немесе электр беру тізбектерінің көздерін жоғары электрөткізгіштігі бар жерге тұйықталған металл қабықшалармен көрсету керек.

## Паразиттік индуктивті байланыс

Паразиттік индуктивті байланыс (ПИБ) бар және көпқаткізгіштік кабельдер және түйіндерде (сур. 7.10, а) баспа тізбегінің өткізгіштері арасында (сур. 7.10, б) әр түрлі күшейту тиесілі резонанстық

тізбектерінің орамдар арасында (сур. 7.10). бола алады.

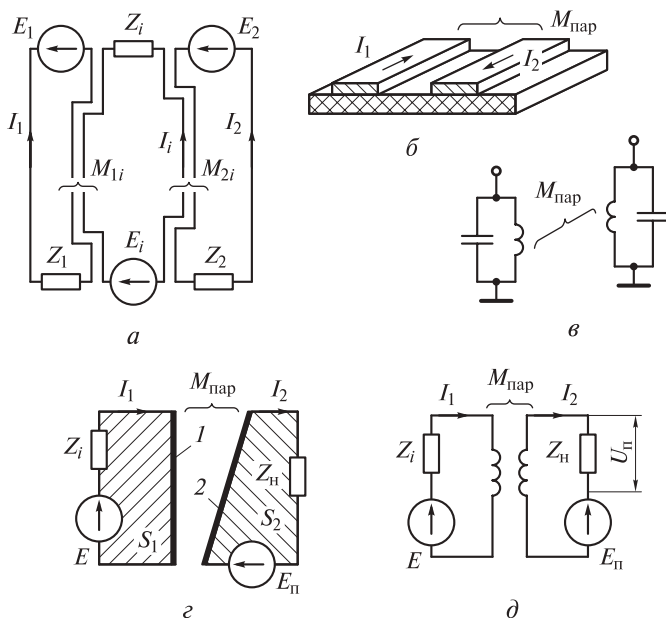
Осы мысалдарда ПИБ кедергі және рецепторлардың тиесілі ағымдағы көзі схемалары бар тізбектерді арасындағы паразиттік өзара Мраг байланысты далалық Н ең жақын магниттік өріс арқылы пайда болады.

ПИБ салдарынан құрылғыда кедергі пайда болады немесе параметрлері тізбектерінің өзгеруіне алып келеді.

ПИБ пайда болуының физикалық суреті 7.10, г-суретте көрсетілген.

I контурында ауданы  $S$  өзіндік индукциясы  $L_1$  ( $L_1 \sim S_1$ ) ішкі қарсылығы  $Z_1$  бар Е көзімен пайда болған ток өтеді. I контурмен ПИБ арқылы аралық индукция коэффициентімен  $M_{\text{пар}}$  ( $M_{\text{пар}} = k_{\text{св}} = \sqrt{L_1 L_2}$  мұндағы  $k_{\text{св}}$  — контурлардың орналасуна тәуелді байланыс коэффициенті)  $S_2$  ауданында өзіндік индукциясы  $L_2$  ( $L_2 \sim S_2$ ), жүктесеі бар контур байланысқан.

2 контурындаға ЭДС кедергілерді  $E_n = I_1 j \omega M_{\text{пар}}$  ток  $I_2$ , құрады. Оны салдарынан жүктемеде кедергі кернеуі  $U_n$  пайда болады .



Сурет. 7.10. Екі тізбектің қатысуымен (а) айналмалы тізбектердің (в) арасындағы көлемдік түйіндерде (б) паразиттік индуктивтілік байланыстың тізбегі (г) және оның тізбектің эквиваленттік сұлбасы (д: 1, 2 - ток тізбегі)

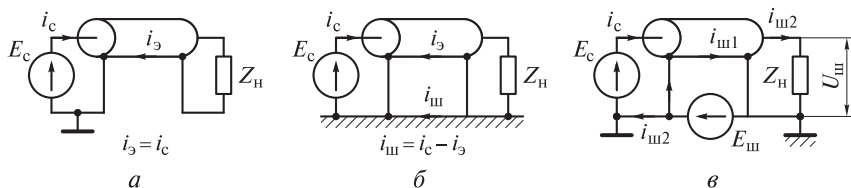
ПИБ сандық деңгейін 7.10, д суретте келтірілген ПИБ тізбегінің эквивалентті жүйесінің параметрлері арқылы КПИБ коэффициентімен анықтайды:

$$K_{\text{ПИБ}} = \frac{\dot{U}}{\dot{E}} = \frac{j\omega M_{\text{ПАР}}}{Z_I + j\omega L_1} \frac{Z_H}{Z_H + j\omega L_2}$$

Бұл қатынастан көретініміз, ПИБ азайту үшін барлық мүмкін болатын әдістерді қолдана отырып, Мпар азайту керек, контурлардың (алаңдардың) индуктивтілігін төмендету арқылы, немесе олардың өзара орналасу тәртібін өзгерту арқылы (контурлар жазықтығы ортогональ орналасқан  $k = 0$  болғанда  $M_{\text{ПАР}} = 0$ ; контурлар бір-бірін жауып, бір жазықтықта жатқан  $k = 1$  болғанда  $M_{\text{ПАР}} = \text{max}$ ;  $0 < k < 1$  болғанда контурлардың өзара орналасуы еркін)

Тәжірибеде бөгеттер мен рецепторлар көздері тізбегінің контурлар алаңын азайту есебінен ПИБ әлсіреу мәселесін шешуге мүмкіндік беретін көптеген әдістер бар. Сонымен, байланыс желілерімен құрылған немесе қабылданған бөгеттерді бейтараптандыру үшін соңғысы ретінде (жиілік диапазонына байланысты) есулі қосақты (ЕК), коаксиальді кабельді (КК) немесе оптикалық-талшықты байланыс желісін (ОТБЖ) қолдану ұсынылады. Тура және кері ЕҚ сымдарының белгілі бір аралығымен шиыршықтау арқасында оның контур алаңы нөлге жақын, бұл белгінің тура және кері токтарымен құрылатын магнит алаңдарының толықтай компенсациясы есебінен ЕҚ магниттік бейтараптығын қамтамасыз етеді. Және де КК - алаңының олардың белгі көзі және жүктеме тізбегіне дұрыс қосылған жағдайында кабель орамының ішінде толықтай орналастырылуын қамтамасыз етеді. 7.11 суретте КК іске қосудың мүмкін болатын сызбалары келтірілген.

КК қолданатын магниттік бейтарап байланыс желісін қамтамасыз етудің маңызды шарты болып белгінің  $i_c$  кері тогының тек экран(4) орамы арқылы ғана өтуі табылады(сурет. 7.11, а). Алайда тәжірибеде белгі  $E_c$  көзі мен  $Z_H$  жүктеме жерлендірудің жалпы шинасына (7.11, б сурет), немесе әртүрлі шамадағы шиналарға қосылады (7.11, в сурет).



Сурет. 7.11 Коаксиальді кабельді іске қосу сызбасы:

а — жоғары бөгеуілден қорғанушылықпен; б — төмен бөгеуілден қорғанушылықпен; в — қосымша шу көзімен

Бірінші жағдайда белгінің іб кері тогының бөлігі жерлендіру шинасы арқылы өтеді (ток  $i_{ш}$ ), бұл КК магниттік бейтараптылығын бұзады; екінші жағдайда жерлендіру нүктелерінің шамаларының кездейсоқ мәндері салдарынан жүктемеде  $U_m$  шу кернеуін тудыратын Еш шу көзі пайда болады. Назарға аламыз, экран мен орталық тарам КК арасындағы өзара индукция коэффициенті МКК шамамен экран индуктивтілігіне  $L_s$  тең, шу кернеуі

$$\dot{U}_m = \dot{E}_m \left( \frac{Z_H}{j\omega L_s} \frac{Z_H}{j\omega L_s + r_s} \right)$$

мұндағы  $r_s$  — экран орамының белсенді қарсылығы ( $r_s \rightarrow 0$  және  $U_m \rightarrow 0$  болғанда).

Ескере кету керек, ЕҚ экрандау мен ЕҚ мен КК экрандарының орамдарын жерлендіру ЕҚ мен КК орталық тарамын ПЭБ арқылы сыртқы электр алаңының әсерінен қорғаныспен қамтамасыз етеді.

### **Қашық аймақтағы электромагнитті алаң арқылы паразитті байланыс**

Қашық аймақтағы электромагнитті алаң (ЭМА) паразиттік байланыс АЭЖ болуы мүмкін, мысалы, базалық салмақ түсетін құрылым шегінде жиілігі  $f_c > 20$  МГц ( $\lambda < 15$  м) тең жоғары жиілікті белгінің ашық көзінің IV деңгейінің болуы барысында, немесе базалық салмақ түсетін құрылым шегінде жиілігі  $f_c > 100$  МГц ( $\lambda < 3$  м) тең ЖЖ белгінің ашық көзінің II—III деңгейлерінің болуы барысында.

Бұл мәліметтер қорғаныс тәсілін таңдауға көмектесетін алаңдар сипаттамасының жалпы бағалануы болып табылады.

Қашық аймақтағы ЭМА рецепторларға әсер ету мысалдары паразитті сыйымдылық пен индуктивті байланыстардағы сияқты-бұл АЭЖ күшейткіш каскадтары және байланыс желілері алаңдарының және т.б. әсерлеріне сезімтал. Алайда әртүрлі алаң көздеріне ие ортаның толқындық қарсылық мәндеріндегі айырмашылық олардың қорғаныс құрылымдары материалдарымен, әдістерді таңдаумен және қорғаныс құралдарымен өзара әрекетін анықтайды.

### **7.3. Электрлі және магнитті алаңдарды экрандау**

ЭМА әсері мен оның орналасуынан қорғайтын ең тиімді құрал электромагнитті экрандар болып табылады-жоғары электр өткізгіш(мыс, алюминий, болат) материалдардан жасалған бітеу қабық. АЭЖ құрылымының бөлігі бола отырып, экрандар АЭЖ пайдалану жағдайындағы факторлар әсеріне төзімділігіне де әсер

етеді.

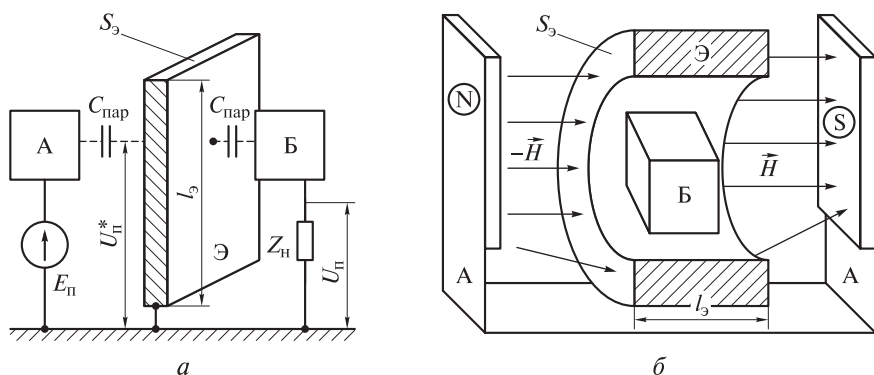
Электромагнитті экрандардың әрекет ету қағидасының негізінде құлаған электромагнитті сәулелердің өткізгіш қабықшалармен өзара әрекеттесуі мен одан қорғанудың бірнеше механизмдері жатады: тұйықтау, компенсация (ығыстыру), жұтылу, көрініс беру.

Барлық механизмдер бір уақытта, бірақ құлаған сәуле жиілігіне байланысты әртүрлі нәтижелілікпен әрекет етеді.

### Жиілігі төмен алаңдарды экрандау

Жиілігі төмен алаңдардың әсерінен қорғау үшін қоршаған кеңістік өткізгіштігінен жоғары болып келетін жоғары магнитті  $\sigma_H$  (7.12, б сурет) немесе электрлі  $\sigma_E$  (сурет. 7.12, а) өткізгіштікке ие материалдан жасалынған экранмен Э алаңның тұйықталуы механизміне негізделген әдіс тиімдірек болып табылады. Экран алаң көзі А мен қорғалатын нысан Б арасында орналастырылуы керек. Өткізгіштік мәндері тең:  $\sigma_E = \sigma S_3 / l_3$ ;  $\sigma_H = \mu \mu_0 S / l_3$  мұндағы  $\sigma$ ,  $\mu$ -сәйкес экран материалының меншікті өткізгіштігі мен қатыстық магнитті өткізгіштігі;  $S_3$ , 4-сәйкес қималар алаңы мен экран ұзындығы.

Осылайша, ТЖ электр алаңдарының әсерінен қорғаныстың жоғары тиімділігін қамтамасыз ету үшін экран үшін жоғары меншікті өткізгіштікке ие материалдарды (күміс, мыс, алюминий,  $\sigma \approx 1 \cdot 10^8$  См/м) таңдау керек. Сонымен қатар экран жалпы шинамен жақсы әсерлесуі керек. Тек осы жағдайда ғана бөгеттің қалдық кернеуі мәнін  $U_N^*$  және  $U_{\Pi}$  айтарлықтай төмендетуге болады. Осы талаптарды орындау жиілігі жоғары электр алаңдарын экрандауда да міндетті.



Сурет. 7.12. Жиілігі төмен алаңдарды тұйықтау механизмі :  
а — электрлі; б — магнитті; А — алаңдар көзі; Б — қорғалатын нысан

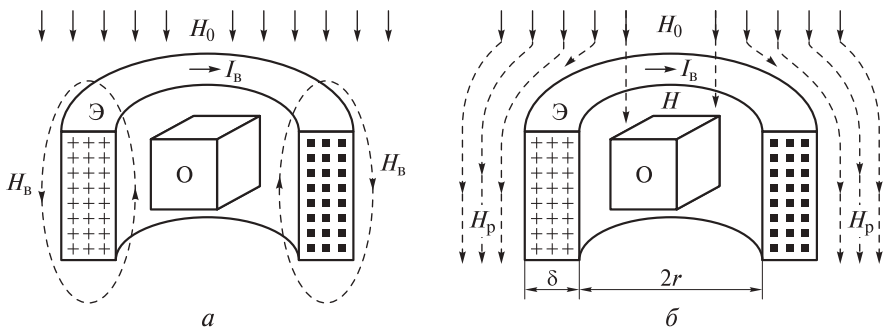
ЖТ магнитті алаңдардың әсерінен қорғаныстың жоғары тиімділігін қамтамасыз ету үшін магнитті өткізгіштігі жоғары (темір, пермаллой, феррит;  $\mu \approx 10^2 \dots 10^5$ ) материалдардан жасалынған экрандарды қолдану керек. Алайда экранның қорғалатын нысанның электрлік параметрлеріне мүмкін болатын әсерін әрқашан ескеру қажет.

### ЖЖ магнит алаңын экрандау

Бөгеуіл белгісінің жиілігі артқан сайын АЭЖ қорғау мәселелерін экрандар көмегімен шешу қосымша қорғаныс механизмдерінің әрекеті арқасында қарапайымданады. Олар қарама-қарсы (компенсациялайтын) Н-алаңдарының пайда болуымен, өзіндік индукция құбылысы салдарынан экран денесіне дәлденетін сыртқы жоғары жиілікті алаңмен  $H_0$ , экран материалының қалыңдығына өтетін алаң қуатын жұтумен, оның экранда жылу қуаты түрінде шашылуымен, Н-алаңының, Е-алаңының немесе әртүрлі импедансты екі ортаның бөліну шекарасындағы электромагнитті алаңның құлама толқындарының көрініс беруімен (сонымен қатар бірнеше рет) байланысты.

### Компенсация механизмі

Сыртқы ЖЖ магниттік алаңның ішінде қорғалатын О нысаны бар, қалыңдығы 5 және диаметрі  $2r$  (сурет. 7.13, а) цилиндрлік өткізгіш экранмен өзара әрекеттесу нәтижесінде экран денесінде құйын тоғын /қ тудыратын ЭҚК дәлденеді. Осы құйын тоғы меншікті магнит алаңын  $H_B$  құрайды, оның күш сызықтары Лоренц заңына сәйкес құйын тоғының көрсетілген бағытында экран ішінде сыртқы алаңның  $H_0$  қарама – қарсы күш сызықтарына бағытталған және солармен үйлесе отырып-олардан тысқары бағытталған.



Сурет 7.13. Сыртқы магнит алаңының компенсация механизмі:

а — бастапқы алаңдар; б — қорытқы алаң; Э — өткізгіш экран; О — қорғалатын нысан

$H_B$  қорытқы алаңының күш сызықтарын бөлу 7.13, б суретте келтірілген. Жалпы түрде экрандау тиімділігі дБ,  $S = 201g(H_0/H)$  (мұндағы  $H_0$  —бөгеуіл алаңының кернелілігі;  $H$  —қалған алаң кернеулілігі) экранның құрылымына және материалдың электрофизикалық параметрлеріне байланысты. Цилиндрлі экрандар үшін қарама-қарсы компенсациялайтын алаңдар салдарынан экрандау тиімділігі  $S = 201g(1+0.5\omega\mu_0\sigma\delta)$ , мұндағы  $\omega$ -шеңберлік жиілік;  $\sigma$ -экран материалының меншікті өткізгіштігі, См/м;  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м.

Тәжірибелік тұрғыдан дәлелденгендей, жиілік артқан сайын экрандау тиімділігі төмендейді. Бұл экран материалының магниттік тұтқырлығы мен оның белгілі *скин-эффект* —өткізгіштің ортасынан беткейіне қарай артатын өткізгіш қимасы бойынша айнымалы токтың тығыздығын қайта бөлу құбылысы салдарынан электр өткізгіштігінің төмендеуімен экран материалының магниттік өткізгіштігінің азаюы салдарынан болады.

### Жұтылу механизмі

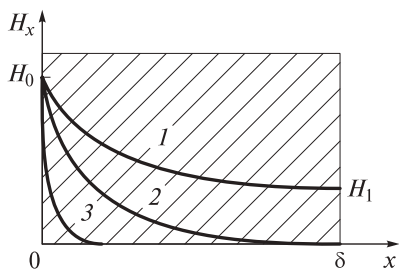
Скин-эффект құбылысы экран алаңымен қуаттың жұтылуымен және экрандау тиімділігін арттыра отырып жылу қуаты түрінде бөлінуімен байланысты экрандаудың үшінші механизмі әрекетінің күшеюіне әкеледі. Әртүрлі материалдар үшін  $H_x$  алаңының кернеулілігінің экран денесінде бөлінуі экспоненттік заңға бағынады(сурет 7.14):

$$H_x = H_0 \exp(-x/\delta_{\text{экв}}),$$

мұндағы  $\delta_{\text{экв}}$  — алаң өткізгіштігінің эквивалентті тереңдігі,

$$\delta_{\text{экв}} = \sqrt{2 / \omega \mu \mu_0 \sigma} \quad \delta_{\text{экв}} \text{ мыс (1), алюминий (2) және болат (3) үшін } 10$$

МГц жиілікте сәйкесінше 0,02, 0,025 және 0,002 мм тең).



Сурет . 7.14. Экран денесіндегі магнит алаңы кернеуінің өзгеріс графиктері: 1 — мыс; 2 — алюминий; 3 —болат

Осылайша, қалыңдығы аз экран жоғары жиілікте тиімді қорғанысты қамтамасыз етеді.

Алаңның экранмен жұтылу есебінен экрандалу тиімділігі

$$S_{\text{жұтылу}} = 20 \lg(H_0/H_1) = 8,7\delta/\delta_{\text{экв}}.$$

### Көрініс беру механизмі

Өртүрлі импедансті екі орта бөлімінің беткейі болып табылатын экран беткейінен қалыпты құлайтын электромагнитті толқынның(сурет. 7.15) көрініс беру механизмі есебінен экрандаудың тиімділігін бағалау үшін Максвелл теңдеуінен алынған олардың мәндерін жазып алу керек.

1. Өтізгіш ортаға арналған(Экран) экранның импеданс модулі

$$|Z_z| = |E_z/H_x| = \sqrt{\omega\mu_0/\sigma_s}$$

2. Импеданс модулінің өткізбейтін ортасы үшін:

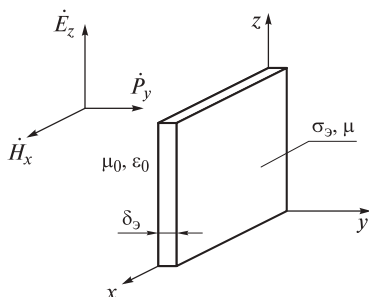
• электр алаңы үшін  $|Z_w^E| = |\dot{E}_z/H_x| = 1/j\omega\epsilon_0$

• магнит алаңы үшін  $|Z_w^H| = |\dot{E}_z/H_x| = j\omega\mu_0$

Мысал ретінде мыс экран мен электромагниттік сәулелену көзінен экранға дейін  $y = 1$  м қашықтықтағы ортаның импеданс модулін есептеу мәндерінен мәліметтер келтіреміз(мыста  $\rho = 1,72 \cdot 10^{-8}$  Ом):

| f, Гц ( $\lambda$ , м) | $2\pi/\lambda$ | $ Z_z $ , Ом           | $Z_w^E$ , Ом        | $Z_w^H$ , Ом        |
|------------------------|----------------|------------------------|---------------------|---------------------|
| 1 - 105 (3000)         | 0,0021         | $\sim 1 \cdot 10^{-4}$ | $\sim 2 \cdot 10^5$ | $\sim 0,8$          |
| 1 - 107 (30)           | 0,21           | $\sim 1 \cdot 10^{-3}$ | $\sim 2 \cdot 10^3$ | $\sim 80$           |
| 1 - 109 (0,3)          | 21             | $\sim 1 \cdot 10^{-2}$ | $\sim 20$           | $\sim 8 \cdot 10^3$ |

Келтірілген мәліметтер жақын арақашықтық жағдайында екендігін айта керу керек ( $2\pi/\lambda < 1$ )  $|Z_w^E| \gg |Z_w^H|$  сондықтан ортаның бірінші шекарасында-экранда Е-алаңның көрініс беруіне кеткен шығын #-алаңның көрініс беруіне кеткен шығыннан айтарлықтай көп.



Сурет 7.15. Тегіс электромагнитті толқынның экранға құлау сызбасы

$S_{ОТР}^E, S_{ОТР}^H$  жағдайларында ортаның бөліну шекарасынан көрініс беру механизмі салдарынан  $Z_W^E \gg Z_3, Z_W^H \gg Z_3$  және Н-аландарының экрандалу тиімділігі сәйкесінше тең:

$$S_{ОТР}^E = 20 \lg \left| \frac{E^{ПД}}{E^{ПП}} \right| \approx 20 \lg \frac{|Z_W^E|}{Z_3}; S_{ОТР}^H = 20 \lg \left| \frac{H^{ПД}}{H^{ПП}} \right| \approx 20 \lg \frac{|Z_W^H|}{Z_3};$$

Есте сақтау керек, жоғары жиілікте экран қалыңдығы 5экв мәнімен өлшенетін жағдайда бөлім беткейінен құлайтын Н-толқынның бірнеше рет көрініс беру механизмі пайда болады. Магнитті алаңның оның бірнеше рет көрініс беру есебінен экрандалу тиімділігі

$$S_{МН.ОТР}^H = 20 \lg [1 - \exp(2\delta / \delta_{экв})]$$

Қалың экран үшін бұл механизмді жұтылу шығынының үлкендігіне байланысты ескермеуге болады.

## 7.4. АЭЖ электромагнитті экрандарының құрылымы РЭҚ

### Экран құрылымының түрлері

Электромагнитті экрандар құрылғылар құрылымының және АЭЖ түйіндерінің, АЭЖ өзіндік құрылымдарының немесе АЭЖ қандай да бір түрімен байланысты емес өзіндік жабдықтарының бөлігі болуы мүмкін.

Экран құрылғы мен АЭЖ түйіндерінің бөлігі болып табылатын жағдайларда оның формасы мен өлшемдері экрандалатын нысан формасы мен өлшемдеріне байланысты-тербелмелі контурлардың, сүзгілердің, радиошамның, микроқұрастырылымның. Сонымен қатар экран қамтамасыз етуі керек: экрандалудың максималды тиімділігін, экрандалатын өнімге деген минималды реакцияны, оның бапталу мен жөнделу мүмкіндігін, оның пайдаланылуының қажетті температуралық режимін, толықтай өнім құрылымының мықтылығын.

Экран АЭЖ өзіндік құрылымы болып табылатын жағдайда оның орнына АЭЖ салмақ түсіретін құрылымының бөлігі болып табылатын өнімнің сыртқы қаптамасы қолданылады және ол қамтамасыз етеді: сыртқы электромагниттік алаң әсерінің төмендеуі мен меншікті электромагнитті сәулеленудің орналасуын, АЭЖ қажетті жылу режимін, ылғал мен шаңның әсерінен қорғанысты, сыртқы механикалық әсерлерге төзімділікті, эргономика мен техникалық эстетика бойынша талаптардың орындалуын.

Экран өзіндік жабдық болған кезде, ол сыртқы ЭМА қорғанысты қамтамасыз етеді және (немесе) АЭЖ сынақтары мен жөнделуі барысында еркін кеңістік жағдайларына жақындайтын арнайы

өлшемдерді жүргізу үшін радиоэлектронды кешеннің меншікті сәулелерін орналастырады.

Электромагнитті экрандар құрылымының сыртқы қарапайымдылығында олардың шынайы тиімділігі жиілік диапазонында есептелген шамалармен сәйкес келмейді. Бұл экран құрылымының қорғалатын нысан параметрлеріне әсерімен, және экранның дайындалу технологиясымен, оның жерлендіру сапасымен және сенімділігімен байланысты. Сондықтан экран құрылымының қорытынды жөндеу жұмыстарын АЭЖ сыналған үлгілерінде немесе макеттерінде жүргізеді.

Экран құрылымын жоспарлауға арналған бастапқы жұмсы құжаты болып сәулеленетін және бөгеуіл тудыратын құралдар мен түйіндер ерекшеленген және олармен құрылатын бөгеуілдердің сандық параметрлері көрсетілген экрандау жүйесінің қағидалық сызбасы табылады. Сонымен қатар бөгеуілдердің шамалық қабылдағыштары ерекшеленуі керек — олардың қабылдауына сезімтал құрылғылар мен түйіндер—олар үшін рұқсат етілетін бөгеуілдердің ЭҚК мәндері немесе оларды әлсіретуге қажетті деңгей көрсетілуі қажет.

Осындай құжаттың болуы электромагниттік қорғаныс тиімділігін арттыруға, АЭЖ пайдалануға өткізуді жылдамдатуға және ақталмаған қосымша шығындардың алдын алуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар экран құрылымын жоспарлау шарасы тұрады: экран кескіндемесі мен материалын таңдау, оны дайындау технологиясын, жақсы электр байланысымен қамтамасыз ететін бекіту әдісін өңдеу және экрандау тиімділігін бағалау.

## **Экрандарды дайындауға арналған материалдар**

**Металды табак материалдар.** Экрандарды дайындау үшін көбінесе болат, мыс, алюминий немесе табактар қолданылады. Материалды таңдау барысында ескереді: экранның салмақтық габариттік параметрлерінде шектеулер болған жағдайда жиіліктің жұмыс диапазонында ЭМА әлсіреуінің берілген деңгейіне жету мүмкіндігін және оның қорғалатын нысанға мүмкін болатын әсерін; тоттануға төзімділігін және механикалық мықтылығын; экран құрылымының технологиялылығы, қалыптау мен бастырмалау прогрессивті өңдеу әдістерінің негізіндегі сериялық және массалық өндіріске бейімделу; экран бағасы.

*Болат экрандар* төмен және орташа жиілікті (1 МГц дейін) аяларда ЭМА максималды жаншылуын қамтамасыз етеді, арзан, жоғары механикалық мықтылыққа ие, беткейді сәйкес өңдеу барысында тоттануға төзімді, бірақ айтарлықтай салмаққа ие және технологиялық емес.

*Мыс экрандар* жоғары және өте жоғары жиілікті аяларда ЭМА максимаоды жаншылуын қамтамасыз етеді, жоғары механикалық

мықтылыққа ие, беткейін жұқа күміс қабатымен көмкерген жағдайда тоттануға төзімді, технологиялық, бірақ айтарлықтай салмаққа ие және бағасы жоғары.

*Жезден жасалған экрандар* экрандау тиімділігі бойынша мыс экрандарға жетпейді (жездің меншікті қарсылығы мысқа қарағанда 5 есе жоғары), шамамен мыспен бірдей салмақ габарттілігіне және технологиялық параметрлерге ие, бірақ мысқа қарағанда айтарлықтай арзан.

*Алюминиден жасалған экрандар* экрандау тиімділігі бойынша мысқа біраз жетпейді, бірақ бірдей экран қалыңдығында айтарлықтай жеңіл, технологиялық, созылу барысында мысқа қарағанда үлкенірек мықтылық шегіне ие, арзан; кемшілігі болып экран беткейімен электрлік байланыс орнату қиындығы табылады.

**Торлы материалдар.** Металл торларының экрандау әрекеті ЖЖ электромагниттік толқындарды оның беткейінен түсіру болып табылады. Цилиндрлі торлы экранда сыртқы алаңның экран денесінде бағытталған тоқтардан құралған қарама-қарсы алаңмен компенсация механизмінің әрекеті жүруі мүмкін. Торлы экрандар өздерінің төмен механикалық мықтылығына қарамастан бірқатар артықшылықтарға ие: жеңіл және құрылымының қарапайымдылығы, технологиялық, ауа және жарықөткізгіш. Осындай экрандардың негізгі кемшілігі ластану мен тоттану нәтижесінде тор түйіндеріндегі электр байланысының бұзылуы салдарынан экрандау тиімділігінің біртіндеп төмендеуі болып табылады. Экрандау тиімділігін, дБ, келесі

формула бойынша бағалауға болады: 
$$\mathcal{E}_{\text{сег}} = \frac{\lambda}{2\delta [\ln(\pi d / \delta)]}$$

мұндағы  $\lambda$  — толқын ұзындығы;  $\delta$  — толқын арақашықтығы;  $d$  — сым диаметрі.

**Жұқалтыр материалдар.** Оларға қалыңдығы  $h = 0,01 \dots 0,05$  мм, диэлектрлік негіздерге қапталатын (мысалы, жұқалтырланған шынытекстолит) жұқа ( $h/\delta_{\text{экв}} < 0,8$ ) пара- және диамагнитті материалдар (алюминий, мыс, жез, мырыш) жатады. Осындай материалдардан жасалынған экрандар ЭМА электр компонентін жақсы басады; магнитті компоненттің негізгі әлсіреуі бірнеше рет көрініс беру салдарынан жүреді. Экрандау тиімділігі дБ,  $\mathcal{E}_{\text{фол}} \sim 60 \pi d / p$ , мұндағы  $p$  — экран материалының меншікті қарсылығы.

**Ток өткізгіш бояулар.** Диэлектрлі үлдіртүзгіш полимердің экрандау әрекеті оған өткізгіш компоненттерді қосу арқылы мүмкін болады — коллоидты күміс, графит, күйе, ұнтақ мыс немесе алюминий; қатайтқыш пен пластификаторды қосу барысында беткейге жағылған бояу полимерленеді, негіз беткейімен жақсы ілініскен мықты ерімейтін үлдір түзеді. Мысалы, КТБ маркалы 300%-дық қарындаш графиттің және 9-32 лак композициясы жоғары өткізгіштікке ие

( $h \sim 0,2$  мм болғанда беткей шаршысының қарсылығы  $R_{\text{шарш}} = 7,5$  Ом). Мұндай композиция металға, ағашқа, текстолитке, құрғақ сылаққа деген жақсы жабысқыштыққа ие. Радиусы  $r_3$  цилиндрлі экранның экрандау, дБ, тиімділігі:  $\text{Экр} = 20\lg[60\pi/R_{\text{кв}} + 0,21\lambda/r_3]$ . Әдіс технологиялық тұрғыдан қарапайым және экрандаудың жоғары тиімділігін (30 дБ артық) қамтамасыз етеді.

**Беткейлерді металдау.** Диэлектрлі төсем беткейіне (қағаз, қатырма, мата, ағаш, текстолит, пластмасса, құрғақ сылақ, цементтелген беткей) ерітілген металды қысылған ауа ағысымен сепкіш көмегімен тозандату арқылы экрандалған беткейді қалыптастыру әдістерінің бірі. Көбінесе жабынды металл мырыш ( $p_{\text{пл}} = 420^\circ\text{C}$ ) болып табылады. Экрандау тиімділігі, дБ,  $\text{Э}_{\text{мет}} = 97 + 5\lg m_0 - 20\lg f$ , мұндағы  $m_0$  — жабынды тығыздығы,  $f$  — жиілік, МГц (107 Гц жиілікте 100 дБ дейін).

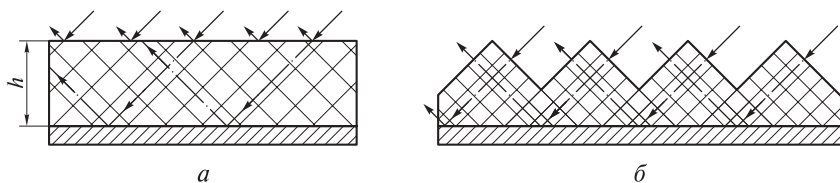
**Ток өткізгіш жабындысы бар шынылар.** Оларды экрандалған камералардың және АЭЖ межелік құрылғыларының бақылау терезелеріндегі электромагнитті экран ретінде қолданады. Механикалық мықтылыққа, химиялық тұрақтылыққа, шыныға жақсы жабысқыштыққа және қабаттың  $p < 7,5$  Ом/П электрөткізгіштігіне ие қалайы оксидінен  $\text{SnO}_2$  ( $t_{\text{пл}} = 232^\circ\text{C}$ ) жасалған қабықша кең таралымға ие болды. Шыны мөлдірлігінің 0,8 аз емес сақталған жағдайда экрандау тиімділігі, дБ:  $\text{Э}_{\text{с.т.п}} = h/(0,053p)$ , мұндағы  $h$  — қабықша қалыңдығы. Шынайы мәндері  $\text{Э}_{\text{с.т.п}} \sim 20...30$  дБ.

**Металл жіптерінен жасалған арнайы маталар.** ӨЖЖ сәулеленуден жеке биологиялық қорғаныс костюмдерін жасауға арналған. РТ маркалы матаны диаметрі 35.50 мкм болатын күмістелген және жаншылған мыс сымдармен бұралған капронды жіптен жасайды. Артикул матасында 1 см<sup>2</sup> металл жіптерінің келесі сандарымен: 30 x 30, 20 x 20, 10 x 10, 6 x 6 ЭЛС жылтырлатылған микросымымен 4381 орама жіп. Арнайы маталардың әрекет ету қағидалары мен қорғаныс тиімділігі торлы экрандарға ұқсас.

**Радиосіңіргіш материалдар (PCM).** Осы материалдармен сынақ зертханаларының еркін кеңістігін оларда шашыраңқы ЭМА пайда болуының алдын алу үшін шектейтін металл экрандарды қаптайды, мысалы антеннаның бағыттылық диаграммаларын түсіру кезінде, әртүрлі денелердің көрініс беретін қасиеттерін зерттеуде.

PCM ретінде жұқа резенкелі кілемшелер, паралоннан немесе сүректі талшықтардан жасалған, ылғалдан қорғайтын құраммен қанықтырылған икемді немесе қатты табақтар, сонымен қатар бояу мен графиттелген текстолит қолданылады.

Толқын ұзындығы  $\lambda$  сәулелерді жұтуға арналған тардиапазонды PCM қабатының қалыңдығы  $h$  (сурет 7.16, а) келесі эмпириялық

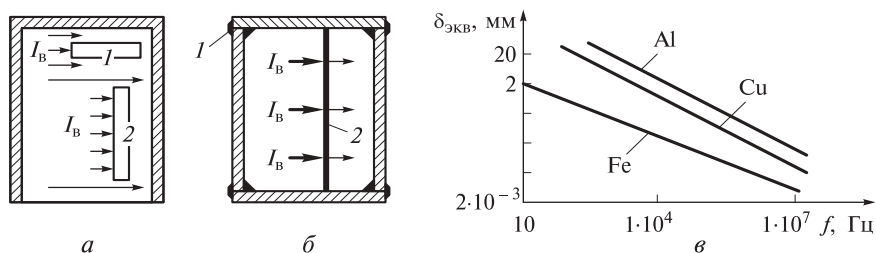


7.16 суреті. Тар (а) және кең (б) диапазонды радиосіңіргіш материалдар құрылымы

формуламен есептелуі мүмкін:  $h = \lambda / \left( \sqrt[4]{\varepsilon_r \mu_r} \right)$ , мұндағы  $\varepsilon_r$ ,  $\mu_r$  - сәйкес РСМ қатыстық диэлектрлік және магниттік өткізгіштігі. Кең диапазонда РСМ (сурет. 7.16 б) келесі параметрлерге ие:  $\lambda = 0,8 \dots 200$  см, көрініс берген сәулеленудің қуаттылық үлесі — 0,01...4%.

### Жіктер мен саңылаулардың экрандау тиімділігіне әсері.

Экранды дайындауға арналған материалдарды, оның қалыңдығы мен құрылым нұсқасын таңдау барысында экран қорғалатын нысанға көрсетуі мүмкін әсерді ескеру керек, өйткені экран қысқа тұйықталған орам болып табылады. Сонымен қатар, АЭЖ құрылымы элементі бола отырып, экран қолданыстың сыртқы факторлары әсеріне ұшырайды-климаттық, механикалық, сондықтан оның құрылымы осы факторлар әсеріне төзімді болуы керек. Сонымен, жылу ағынын бұру үшін жылубөлгіш элементтерді экрандау кезінде экран қабырғаларында перфорациялық саңылау (7.17, а сурет) қарастырылуы керек, алайда ол құйынды токпен  $I_B$  құрылған қарама-қарсы алаңмен сыртқы магнитті алаң компенсациясы механизмінің әрекетін төмендетеді. Сондықтан саңылаудың тік(2) орналасуына қарағанда жолды құйынды токпен



Сурет. 7.17. Экрандар құрылымы:

а — тесумен (1 — саңылаудың көлденең орналасуы; 2 — саңылаудың тігінен орналасуы); б — біріктірілген, дәнекерленген (1 — байланыс; 2 — тігіс); в — тәуелділіктер тегі  $8\text{экв}(\text{Г})$

экранның аз бөлімінде қиятын саңылаудың көлденең (I) орналасуы қолайлырақ болып табылады.

Экранды металдың жұқа табағынан жасалған қабықты қысу арқылы немесе қалыптау арқылы жасайды, мысалы, алюминийден, жезден немесе мыстан. Экранды жасау дәнекерлеу немесе қалайылау технологияларын қолдануды (рис. 7. 17, б сурет) оңтайлы деп санаса, қолайлы болып қақпақтарды құбырлы экранға дәнекерлеп немесе қалайылап байланыстыру(1) және онда пайда болған, ЖЖ магнитті алаңдардың энрандалу тиімділігін төмендететін дәнекерлі, қалайылы немесе жанышқыш жіктердің(2) болмауы саналады. Материалдың қалыңдығын таңдау оның механикалық мықтылығы мен дайындалу технологиясына қойылатын талаптарға ғана байланысты. Расымен де, 7.17 суретте берілген  $\delta_{\text{экв}}(f)$  тәуелділіктер тегінен көріп отырғанымыздай, тіпті алюминий үшін де 100 кГц жоғары жиіліктегі енудің эквивалентті тереңдігінің мәні  $\delta_{\text{экв}}$  және мыс үшін 0,3 мм аз. Сондықтан ЭМА ЖЖ мен ӨЖЖ экрандау үшін диэлектрлі негізге жапсырылған жұқа жұқалтыр материалдарды қолданады[20].

### Бақылау сұрақтары

«Әдейі ойластырылмаған» электромагнитті кедергі деген не; олар қайда пайда болады және АЭЖ өздерін қалай көрсетеді?

АЭЖ әдейі ойластырылмаған кедергілердің тасымалдану арналарын атаңдар.

Паразитті кондуктивтік байланысты төмендету әдістерін атаңдар.

Кедергіні азайтатын сүзгілердің реактивті элементтері қандай талаптарға жауап беруі тиіс?

Қосарланған дроссельдің әрекет ету қағидасын түсіндіріңдер.

Ылғал өнімдері мен АЭЖ құрылымдарындағы байланыстың паразиттік сыйымдылығын азайту әдістерін атаңдар.

АЭЖ құрылымындағы индуктивті байланыстың паразиттік сыйымдылығын азайту әдістерін атаңдар.

Экрандайтын құрылғылар мен экран материалдарының түрлерін атаңдар.

## Радиоэлектронды құралдардың негізгі дәйектемелері

### 8.1. Дәйектіліктің негізгі түсініктері

Күрделі автоматтандырылған жүйенің құрылуы (куат, байланыс, көлік, әскери техника), мүмкін болатын апаттық салдармен байланысты қызметтің бұзылуы осындай апаттық жағдайларды болжау мен алдын алудың әдістері мен құралдарын жасауды қажет етті. Өнімнің қызмет ету барысындағы олардың пайда болуының мүмкін еместік деңгейі оның дәйектілік көрсеткіші болып табылады. Қазіргі уақытта құрастырылған дәйектілік теориясы кез келген түрдегі өнімнің теориялық және қосымша аспектілерін зерттейді. Дәйектіліктің берілген деңгейін және сондай-ақ АЭЖ қамтамасыз етуді жүзеге асыру үшін АЭЖ ТТ бастап пайдалануға дейінгі барлық өмірлік кезеңдерін қамтитын «Дәйектілікті қамтамасыз ету бағдарламалары» (ДҚБ) түріндегі шаралар кешенін жасайды. ДҚБ мазмұны АЭЖ дәйектілігін қамтамасыз ету мәселелерін шешумен байланысты аспектілердің барлығын регламенттейтін техникалық құралдардың дәйектілігі бойынша стандарттарды анықтайды.

Дәйектілік—өнімнің берілген режимдер мен қолданылу жағдайларында талап етілетін қызметті орындау барысында, сонымен қатар техникалық қызмет көрсетуден, жөндеуден, сақтау мен тасымалдаудан кейін орнатылған шекте өзінің барлық параметрлерінің мәнін сақтап қалу қасиеті (бұл қасиет өнімнің ең бірінші әске қосылу сәтінде де көрініс беруі мүмкін).

Дәйектілік- сапалық құрамалардан—мүлтіксіздік, қайта қалпына келушілік, төзімділік және сақталудан тұратын күрделі қасиет — олардың әрқайсысын сипаттау үшін сандық параметрлер енгізілген. Нақты өнімдер мен олардың қолданылу жағдайларында бұл параметрлер әртүрлі мәнге ие болуы мүмкін.

Мықтылық, сезімталдық, салмақ, габариттік өлшемдер және т.б. сияқты мәндері кез келген уақытта берілген нақтылықпен өлшене алатын АЭЖ қызметтік параметрлеріне қарағанда дәйектілік параметрлерінің мәндері болжамды болып табылады, яғни, қандай да бір ықтималдықпен болжана алады және алдын ала анықталған уақыт өткеннен кейін айқындала алады. Басқа сөзбен айтқанда, дәйектілік параметрлері ықтималдық шамаға ие және ықтималдық теориясы мен математикалық статистика терминдерінде ғана сипаттала алады.

Стандартпен техникалық құралдардың дәйектілік аясында түсініктердің 10 тобы анықталды: өнімнің жалпы жағдайы, өнімнен бас тарту мен оның қағидалары, ресурстар, қайта қалпына келу, дәйектілік көрсеткіштері, сақталу, дәйектілік көрсеткішін қалыптандыру, бақылау, дәйектілік сынағы.

Өнімнің бірнеше жағдайын ажыратады: жөнделетін, жөнделмейтін, жұмысқа қабілетті, жұмысқа қабілетсіз және шекті. Жөнделетін жағдайда өнім өзінің нормативтік-техникалық құжатнамасында көрсетілген барлық талаптарға сай келеді. Жұмысқа қабілетті өнімдер өзінің нормативтік-техникалық құжатнамасында орнатылған негізгі параметрлер мәнін сақтай отырып, берілген қызметтерді орындауға қабілетті; және де ол жөнделмейтін болуы мүмкін, мысалы, оның сыртқы түрінің талаптарға сай келмеуі. Шекті жағдайдағы өнімдерді қолдану техникалық тұрғыдан мүмкін емес, қауіпсіз емес немесе оның тиімділігінің жоюға келмейтін төмендеуі салдарынан мақсатсыз.

Өнімнің жұмысқа қабілеттілігінің кез келген бұзылысы қабылданбау болып табылады. Қабылданбаудың түрлерін ажыратады: аяқ асты, біртіндеп, шалыс. Аяқ асты қабылданбағанда (үзік, қысқа тұйықталу) өнімнің бір немесе бірнеше негізгі параметрлерінде секірмелі өзгерістер болады. Біртіндеп қабылданбағанда негізгі параметр мәндерінің біртіндеп өзгеруі жүзеге асады, мысалы, катодтың эмиссиясының төмендеуі, материалдағы «қажудың» жинақталуы. Шеттететін қабылданбау-шалыс-өнімнің ары қарайғы өз-өзін қалпына келтірумен жұмысқа қабілеттілігін қысқа мерзімге жоғалтуға әкеледі.

Қабылдамау себептері мен қағидалары әртүрлі болуы мүмкін. Егер қабылдамау себебін алдын ала болжау мүмкін болмаса, онда қабылданбау қағидалары туралы өнімді пайдалануды бастамай тұрып келісу керек.

Күрделі жүйелердің дәйектілігін арттыру әдістерінің бірі артықтықты енгізу болып табылады: қызметтік, ақпараттық, бағдарламалық, физикалық және пайдаланушылық, бұл әртүрлі түрдегі бірлік немесе екілік қабылданбауға төзімділікпен қамтамасыз ете отырып, олардың жұмысқа қабілеттік аясын кеңейтуге мүмкіндік береді.

Сонымен, қызметтік дәйекті өнім әртүрлі қызметтерді орындау үшін өз құрылымының жаңа конфигурациялануына қабілетті; қабылдамау қағидасы орындалатын қызметтер санының рұқсат етілетін минимумнан төмен түсіп кетуі болуы мүмкін. Ақпараттық дәйекті өнім санамалар арасында түзету байланыстарын қолдану арқылы жартылай шығындалған ақпаратты қайта қалпына келтіруге қабілетті, мысалы сөйлеу дабылдарын сараптауда; қабылдамау қағидасы ақпараттың рұқсат етілетін шектен асып кететін қалпына келмейтін шығыны болуы мүмкін. Басқарудың бағдарламалық құралдарына ие бағдарламалық дәйектілік туралы бағдарламаның

түзетілгендігі, оның «шырғалануыны» мүмкін еместігі, оның өзін бақылау қабілеті мағынасында айтады; қабылдамау қағидасы бағдарламаның тоқтатылуы, оның «шырғаоануы» немесе қателіктерге ие бөлімшеге шығуы болуы мүмкін. Пайдаланушылық-дәйектілік өнімінде кіріс дабылы мен басқару органдарының ережелерінің кез келген үйлесімінде апаттық жағдайлардың орын алу мүмкіндігі төмен («ақымақтан» қорғаныс); қабылдамау қағидасы апаттық жағдайдың орын алуы болуы мүмкін.

Алайда, көбінесе, өнімнің дәйектілігі туралы айтқанда оның компоненттерінің физикалық жағдайына(тозу, картаю, пайдалану жағдайының жағымсыз факторларының әсерінен бүтіндіктің бұзылуы) тәуелді физикалық дәйектілігін ескереді; қабылдамау қағидасы өнімнің негізгі параметрлерінің мәндерінің орнатылған нормалар шегінен шығып кетуі, жұмысқа қабілеттіліктің бұзылуы болып табылады.

Өнімнің эскиздік және техникалық жобаларын орындау барысында негізгі техникалық шешімдердің таңдауымен (құрылымдық, қызметтік және қағидалықсызбалар, алгоритмдер, бағдарламалар, компоненттер) қызметтік, ақпараттық, бағдарламалық, пайдаланушылық және физикалық дәйектіліктің берілген деңгейлерін қамтамасыз етеді.

Жұмыс жобасын орындау барысында базалық салмақ түсірілетін құрастырылымды және өнімнің дайындалу технологиясын таңдау арқылы физикалық дәйектіліктің берілген деңгейін қамтамасыз етеді. Бұл аяқ асты қабылданбаулардың пайдаланудың шынайы жағдайларында құрылымның жасырын бұзылыстарының орын алуы мен дайындалу технологиясының бұзылуы салдарынан пайда болуымен байланысты. Сондықтан ары қарай АЭЖ физикалық дәйектілігін қамтамасыз ету мәселелеріне басты назар аударылатын болады.

## **8.2. Дәйектіліктің сапалық құрамасы және олардың көрсеткіштері**

### **Мүлтіксіздік және оның көрсеткіштері**

Мүлтіксіздік— өнімнің берілген уақыт ағымында өзінің жұмысқа қабілеттілігін үздіксіз сақтау қабілеті. Зор оқиға болып өнімнің істен шығуы табылады.

Мүлтіксіз жұмыс ықтималдығы  $P(t)$  — өнімді қабылдамау  $t$  уақыттан ерте емес болатын жағдайлар ықтималдығы.  $P(t)$  — көбеймейтін қызмет. Статистика заңы негізінде жазуға болады:

$$P(t) = \lim_{N_0 \rightarrow \infty} \frac{N(t)}{N_0}$$

мұндағы  $N(t)$  —  $t$  уақыт мезетіндегі жөнделген өнімдер саны;  $N_0$  — сынаққа қойылған өнімдердің жалпы саны .

Өнімнің жұмысқа қабілетті жағдайы мен істен шыққан жағдайы оқиғалардың толық тобын құрайды, яғни қабылдау ықтималдығы  $Q(t) = 1 - P(t)$ ;  $Q(t)$  — кемімейтін қызмет. Статистика заңдарының негізінде

$$Q(t) = \lim_{N_0 \rightarrow \infty} \frac{n(t)}{N_0}$$

мұндағы  $n(t)$  —  $t$  уақытта қабылдамаған өнімдер саны.

Тығыздық қызметі  $f(t)$  — бірінші істен шығу сәтіндегі ықтималдық тығыздығы:  $f(t) = dQ(t)/dt = -dP(t)/dt$ . Статистика заңдары негізінде

$$f(t) = \lim_{N_0 \rightarrow \infty} \frac{1}{N_0} \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{\Delta t}$$

$$\int_0^{\infty} f(t) dt = 1 \quad \text{теңдігі алаңды қисықпен } f(t) \text{ екі бөлікке тік тура бөлу}$$

барысында сол жақ алаң сандық тұрғыдан  $t$  уақыт сәтіне дейін істен шығу ықтималдығына тең болатындығын, ал оң жақ бөлік алаңы-  $t$  уақыт сәтінен бастап  $\infty$  дейін тоқтаусыз жұмыс істеу ықтималдығын білдіретін  $f(t)$  функциясына арналған нормалау шарты болып табылады.

Істен шығу қарқындылығы  $\lambda(t)$  қарастырылатын  $t$  уақыт сәтіне дейін өнім істен шықпаған жағдайда үздіксіз жұмыс уақыты ықтималдығының шартты тығыздығы болып табылады:  $\lambda(t) = f(t)/P(t)$ .

$$\lambda(t) = \lim_{N_0 \rightarrow \infty} \frac{1}{N_0} \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{\Delta t}$$

Статистика заңы негізінде  $T_{cp}$  істен шығуына атқарымның орташа уақыты— қызметтің бірінші реттік сәті  $f(t)$ :

$$T_{CP} = \int_0^{\infty} t f(t) dt = - \int_0^{\infty} t dP(t) = -tP(t) + \int_0^{\infty} P(t) dt = \int_0^{\infty} P(t) dt$$

Статистика заңы негізінде жазуға болады

$$T_{CP} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} T_i$$

## Қалпына келушілік және оның көрсеткіштері

Қалпына келушілік (жөндеуге жарамдылық) — өнімнің қабылданбауының алдын алу мен анықтауға және бас тартылған элементтерді ауыстыру арқылы немесе жөндеуден кейінгі жұмысқа қабілеттілігін қайта қалпына келтіруге деген бейімділігінде бекітілетін өнім қасиеті. Оқиға болып өнімнің жұмысқа қабілеттілігін қайта қалпына келтіру табылады. Қайта қалпына келудің негізгі көрсеткіштері: қалпына келу ықтималдығы  $P_B(t)$ ; қалпына келмеу ықтималдығы  $Q_B(t)$ ; қалпына келу сәтінің ықтималдық тығыздығы  $f_B(t)$ ; қалпына келу қарқындылығы  $\mu(t)$ ; қалпына келудің орташа уақыты  $T_{всп}$ . Мүлтіксіздік пен қалпына келушіліктің қасиеттерін бірге бағалау үшін екі көрсеткіш енгізілген: дайындық қызметі  $G(t)$  және дайындық коэффициенті  $K_t$ .

*Қалпына келу ықтималдығы*  $P_B(t)$  — жұмысқа қабілеттіліктен бас тартылған жағдайдан кейін өнім  $t$  аспайтын уақыт ішінде қайта қалпына келетін оқиғалар ықтималдығы.  $P_B(t)$  — кемімейтін қызмет. Статистика заңдары негізінде

$$P_B(t) = \lim_{N_0 \rightarrow \infty} \frac{N_B(t)}{N_0}$$

мұндағы  $N_B(t)$  —  $t$  уақытта қалпына келген өнімдер саны;  $N_0$  — қалпына келген өнімдердің жалпы саны. Сәйкес:

- *қалпына келмеу мүмкіндігі*

$$Q_B(t) = 1 - P_B(t);$$

- *қалпына келу жағдайының мүмкіндік тығыздығы*

$$f_B(t) = dP_B(t)dt$$

- *қалпына келу қарқындылығы*

$$\mu(t) = f_B(t)Q_B(t)$$

- *қайта қалпына келудің орташа ұзақтығы*

$$T_{B,CP} = \int_0^{\infty} Q_B(t) dt$$

*Дайындық қызметі*  $G(t)$  —  $t$  ерікті уақыт сәтінде қалпына келетін өнімнің жұмысқа қабілетті жағдайының ықтималдығы:

$$G(t) = P(t) + \int_0^t P(t-\tau)\Omega(\tau) d\tau \quad (8.1)$$

мұндағы  $P(t - \tau)$  —  $(t - \tau)$  аралығындағы мүлтіксіз жұмыс ықтималдығы;  $\Omega(\tau)$  —  $t$  ерікті уақыт сәтінде қалпына келген өнімнің істен шығуының дифференциалды ықтималдығы немесе істен шығу

ағындарының параметрлері.

Жұмысқа қабілетсіз жағдайдың кез келген уақыттағы ықтималдығын тұрып қалу қызметі деп атайды:

$$g(t) = 1 - G(t) = Q(t) - \int_0^t P(t - \tau) \Omega(\tau) d\tau$$

(8.1) формула қарапайым ықтимал түсініктемеге ие: өнімнің  $(0, t)$  аралығында пайдайын болуы екі оқиғаның үйлесімділігі барысында мүмкін болады: өнім  $(0, t)$  аралықта мүлтіксіз  $P(t)$  ықтималдықпен жұмыс істеді немесе ол осы аралық ішінде  $\tau_k$  уақыт мерзімдерінде істен шықты, қалпына келтірілді және қалған уақытта  $t$  мерзіміне дейін мүлтіксіз жұмыс істеді.

*Дайындық коэффициенті*

$K_r = G(t)$ ;  $t \rightarrow \infty$  болғанда.

$\lim \Omega(t) = 1 / (T_{cp} + T_{в.ср})$  ескере отырып,

аламыз  $K_r = \lim G(t) = \lim \{P(t)\} + \int_0^t P(t - \tau) \Omega(\tau) d\tau =$

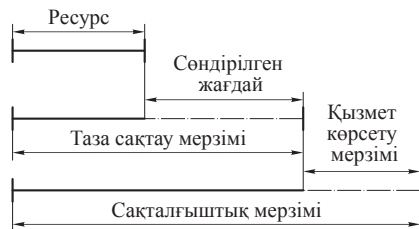
$$= \frac{1}{T_{cp} + T_{в.ср}} \int_0^t P(t - \tau) d\tau = \frac{T_{cp}}{T_{cp} + T_{в.ср}}.$$

$K_r$  мәнін  $t$  кез келген мәнінде қолдана беруге болады, ол үшін

$$|G(t) - K_r| \leq \varepsilon$$

## Төзімділік, сақталғыштық және олардың көрсеткіштері

Өнімді сол мәнге жеткеннен кейін ары қарайғы қолданысы тоқтатылуы тиіс шекті жағдайға дейін пайдалану ресурс деп аталады. Төзімділік көрсеткіші пайыздық ресурс  $t_p(\gamma)$  болып табылады—орындау барысында өнім  $\gamma$  ықтималдығымен шекті жағдайға дейін жетпейтін атқарылған жұмыс көлемі. Оны анықтау үшін ресурсты бөлу функциясы берілуі тиіс, оның параметрі орташа ресурс  $T_{рхр}$  болып табылады. Мысалы, ресурсты экспоненттік бөлу үшін  $\gamma(t_p) = \exp(-t_p / T_{р.ср})$ ,  $tr(\gamma) = -T_{р.ср} \ln \gamma$ . Өнімді сол мәнге жеткеннен кейін ары қарайғы қолданысы тоқтатылуы тиіс шекті жағдайға дейін пайдалану мерзімі қызмет көрсету мерзімі деп аталады.  $\gamma$ -қызмет көрсетудің пайыздық мерзімі,  $4(\gamma)$  —барысында өнім  $u$  ықтималдықпен шекті жағдайға дейін жетпейтін пайдалану уақыты. Оны анықтау үшін параметрі орташа қызмет көрсету мерзімі болып табылатын қызмет көрсету мерзімін бөлу функциясын беру керек  $T_{с.ср}$ .



Сурет. 8.1. АЭЖ пайдалану интервалдарының қатынасы

Берілген жағдайларда өнім сапасының орнатылған көрсеткіштері сақталатын өнімді сақтау ұзақтығы сақталғыштық мерзімі деп аталады. Өнімнің сақталғыштығының көрсеткіші болып сақталғыштықтың у-пайыздық мерзімі табылады-жүзеге асу барысында өнім у ықтималдықпен бірге орнатылған көрсеткіштерді сақтап қалатын сақтау ұзақтығы. Оны анықтау үшін параметрі сақталғыштықтың орташа мерзімі  $7\pi.c$  болып табылатын сақталғыштық мерзімін бөлу функциясын беру керек. Мысалы, сақталғыштық мерзімінің экспоненттік бөлінуі үшін  $y(4p) = \exp(-\wedge/7\wedge)$ ,  $4p(\pi) = -T\wedge \ln y$ .

Ресурс уақыттары арақашықтығының қатынасы, қызмет көрсету мерзімдері мен сақталғыштық мерзімі 8.1 суретте көрсетілген.

## Бұзылу мен қайта қалпына келтіру ағындарының үлгілері

Мәні  $t_{k+1} > t_k$ ,  $k > 1$  болатын  $t_{k+1}$  бұл оқиғалардың пайда болуы кездейсоқ сәттердің жиынтығымен  $t_k, t_2, \dots, t_k$  құрылған бұл оқиғалардың шығуымен пайда болған кездейсоқ үдеріс жиынтығын біртектес оқиға ағыны деп атайды. Сенімділік теориясында өнімнің бұзылу сәттеріннің ағымы және оның өнімділігін қалпына келтіру уақыты көбінесе зерттеледі. Бұл ағындардың екеуі сәтсіздік санының пайда болуының кездейсоқ процесін  $\xi(t)$  немесе уақыт интервалы  $[0, t]$  кезінде қайта құру санымен ұсынылуы мүмкін.

Көп жағдайда пуассон ағынын  $\lambda > 0$  параметрімен қарастырады, ол үшін  $k$  оқиғаларының пайда болу ықтималдығы мынадай:

$$P_k(t_0, t) = P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} \exp(-\lambda t), \quad k \geq 0. \quad (8.2)$$

Пуассон ағыны қарапайым болып табылады, яғни стационарлық ( $t_0$ -ге  $P_k(t)$  тәуелді емес), кәдімгі (жоғары дәрежедегі аз мөлшерде  $t$  қысқа уақыт аралығындағы бірнеше оқиғалардың пайда болу ықтималдығы) және зардаптары болмауы (Аралықтағы  $(t, t + Q)$

оқиғалардың белгіленген санының пайда болу ықтималдығы  $t$  уақыты өткенге дейін қанша оқиғаға байланысты болмайды.)

Кез келген ағымның толық сипаттамасы ағын оқиғалары арасындағы интервалдардың бөліну функциясы болып табылады. Сенімділік теориясында, бірінші кезекте, алғышқы сәтсіздікке дейін  $P(t)$  уақыт бөлу функциясы немесе  $[0, t)$  интервалда үзіліссіз жұмыс істеу ықтималдығы болып табылады. Олардың ішінде Вейбулл үлестері ең үлкен таралымға ие болды: экспоненциалды, қалыпты және қысқартылған қалыпты. Математикалық сипаттаманың салыстырмалы қарапайымдылығы, сондай-ақ пайдалану кезінде өнімнің физикалық жағдайының өзгеруін ескеру мүмкіндігі олардың кез-келгенін таңдау критерийлері болып табылады.

Вейбулл бөлу функциялары:

$$P(t) = \exp(-\lambda t^8), f(t) = \lambda 8 t^{7} \exp(-\lambda t^8), \lambda(t) = \lambda 8 t^{7-1},$$

мұнда  $\lambda, \delta$  — параметрлері.  $\lambda(t)$  функциясының әрекеті 8 (8.2 суреті) параметрдің мәніне байланысты: Поведение функции  $\lambda(t)$  зависит от значения параметра  $\delta$  (рис. 8.2):  $\delta < 1$  болса,  $\lambda(t)$  азаяды;  $\delta > 1$ ,  $\lambda(t)$  үшін артуы;  $\delta = 1$ ,  $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$  үшін.

Осылайша, Вейбулл таратылымын пайдалана отырып, өнімнің нақты жай-күйін оның өмірлік циклінің түрлі сатыларында сипаттай аламыз. Осылайша, өндірістің бірінші кезеңінде, өнімді күйге келтіру және ретке келтіру, сондай-ақ құрастырылым ақауларын жою кезінде сәтсіздік қарқындылығы төмендейді; екінші, ең ұзақ пайдалану кезеңінде, сәтсіздік қарқыны тұрақты; соңында, үшінші кезеңде, өнімнің физикалық ресурсы таусылғанда, іркілістердің қарқындылығы артады.

Экспоненциалды бөлу— $\delta=1$  (сур.8.3) мәніндегі Вейбулл үлестірімінің жеке түрі:

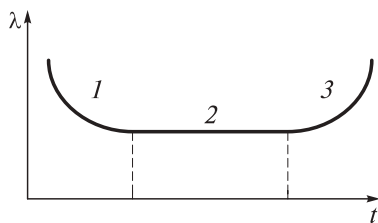
$$P(t) = \exp(-\lambda t); f(t) = \lambda \exp(-\lambda t); \lambda(t) = \lambda = \text{const}; T_{cp} = 1/\lambda,$$

мұнда  $\lambda$  — бұзылу қарқынының санына тең параметр.

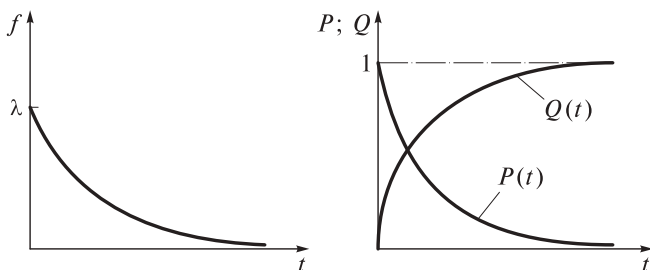
$P(t)$  функциясы—  $[0, t)$  интервалындағы жағдайлардың жоқтығына сәйкес келетін  $\kappa=0$  мәніндегі Пуассонның (8.2) үлестірімінің жеке жағдайы.

Пуассондық «зардапсыз» ағын болғандықтан бұл үлестірім экспоненциалды бөлуге ие  $t$  интервалындағы үзіліссіз жұмыс аралығындағы  $t$  интервалдан кейінгі аралықта сәтсіздікке жол бермеудің ықтималдығы бар «қартаймайтын» өнімдерге әділ келеді.

Шынымен де, егер  $P(t) = \exp(-\lambda t)$ ,



Сур. 8.2. Вейбулл бөлу функциясы  $\lambda(t)$



8.3-сурет. Экспоненциалды бөлу функциялары

$$P(\tau|t) = \frac{P(t+\tau)}{P(t)} = \frac{\exp[-\lambda(t+\tau)]}{\exp(-\lambda t)} = \exp(-\lambda\tau),$$

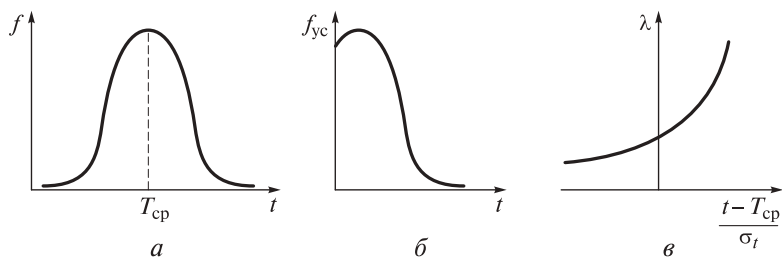
бірақ өнімнің нақты жұмыс жағдайына сәйкес келмейді. Дегенмен, математикалық сипаттаманың қарапайымдылығына байланысты өнімнің сенімділік мәселесі тек бір параметрмен -  $\lambda$  жоғалту жылдамдығымен байланысты - бұл бөлу көбінесе күтпеген сәтсіздік жағдайында сәтсіздік параметрін есептеу үшін пайдаланылады.

Кедергі ықтималдығының қалыпты үлестірілуінің тығыздығының функциясы келесі формаға ие (8.4.а сурет)

$$f(t) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-T_{cp})^2}{2\sigma_t^2}\right],$$

мұнда  $T_{cp}$  және  $\sigma_t^2$  — орташа уақытты және сәйкесінше дисперсияны білдіреді ( $T_{cp}^{cp} \gg \sigma_t$ ).  $[0, \tau]$  аралықтағы сәтсіздік ықтималдығы

$$Q(\tau) = 1 - P(\tau) = 1 - \int_0^\tau f(t) dt = 1 - \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \int_0^\tau \exp\left[-\frac{(t-T_{cp})^2}{2\sigma_t^2}\right] dt.$$



сур. 8.4. Қалыпты үлестірілуінің функциясы:

$a$  — тығыздығы;  $б$  — қысылған қалыпты үлестірім тығыздығы;  $в$  — қарқындылық

$x = (t - T_{cp}) / \sigma_t$  белгілеп келесіге ие боламыз:

$$Q(\tau) = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{t-T_{cp}}{\sigma_t}}^{\infty} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx = F\left\{\frac{t-T_{cp}}{\sigma_t}\right\},$$

мұнда  $F\{\cdot\} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du$  Гаусс ықтималдық интегралы

Лаплас, ол жоғарғы шегінің функциясы  $x$ ;  $(T_{cp} / \sigma_t) > 3$ . мәндер үшін қойылады.

Егер  $T_{cp} \gg \sigma_t$  күйі қанағаттандырылмаса, қалыпты бөлудің қысқартылған моделі қолданылады (сур. 8.4, б). Қалыпты үлестірілу

кезінде сәтсіздік дәрежесі  $\lambda(t) \sim \frac{t - T_{cp}}{\sigma_t^2} \sim t$  ол «қартаю» өнімдеріне тән (сур. 8.4, в).

## 8.4. РЭҚ сенімділігінің көрсеткіштерін есептеу

РЭҚ сенімділік көрсеткіштерін есептеу техникалық жобалау кезеңінде жүзеге асырылады. Есептеу нәтижелері - сенімділік көрсеткіштерін бағалау - РЭҚ-ны жобалауға қабылданған техникалық шешімдерге және оларды өндіру технологиясына айтарлықтай әсер етуі мүмкін.

Өнімнің жобасын әзірлеудегі техникалық тапсырмада өнімнің сенімділігіне қойылатын талаптар, мысалы, келесі түрде болуы мүмкін:

«Өнімнің сенімділігі осы ТТ-да орнатылған режимдерде және жұмыс жағдайларында келесі индикаторлардың мәндеріне ие болуы тиіс:

сәтсіздік арасындағы орташа жұмыс уақыты средняя наработка на отказ — 5 000 с. кем емес;

қызмет көрсету орнында кезек ауысымының күші мен құралдарымен қайта жаңғыртудың орташа уақыты—0,5 с артық емес;

толық орташа қызмет мерзімі — 20 жылдан кем емес;

қыздырылған бөлмеде түпнұсқалық орамдағы орташа сақтау мерзімі — 6 жылдан кем емес».

Бұдан әрі, бас тарту критерийлері мен шектеу күйі, сондай-ақ шығыс параметрінің шектеу күйінің басталуына дейінгі шамасы көрсетіледі. Бұдан басқа, олар сенімділік пен бастапқы деректерді бағалау әдістеріне, оның ішінде қабылдау және қабылдамау деңгейіне қойылатын жалпы талаптарды белгілейді: тапсырыс берушінің тәуекелі және тапсырыстарды жеткізушінің тәуекелі.

$P(t_0)$  мәнін есептеу үшін қажет:

- Қабылданбаған критерий үшін сенімділік моделін таңдау;
  - ЖЭҚ жұмысының белгілі бір кезеңі үшін сәтсіздік ағыны немесе үзіліссіз қызметтің ұзақтық аралығын сипаттау ықтималдық модельді таңдау;
  - электрлік жүктемені және оларды пайдаланудың нақты жағдайларын есепке ала отырып ЭЦК және, құрылымдық элементтер сенімділік параметрлерін есептеу;
  - $P(t_0)$  мәнін нақты есептеуді орындаңыз және оны белгіленген мәнмен салыстыруды орындау.
- РЭҚ жұмыс істеген кезде есептелген сенімділік индексінің мәні, сондай-ақ оларды сынау кезінде (зертханалық, алдын ала, қабылдау) расталды (расталмады).

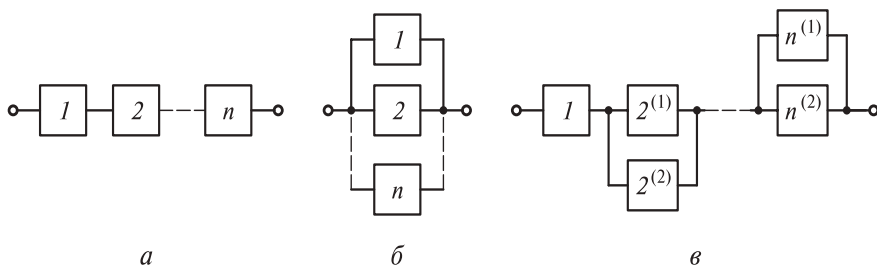
## РЭҚ сенімділік модельдері

РЭҚ сенімді моделінің түрі қабылданбаған қабылдану критерийіне байланысты және егер қандай да бірінің қабылданбаған жағдайында пайда болған зардаптарына қарағанда өнімнің компоненттері арасындағы (схемада немесе сызбаға) байланыстарды көрсетуге тиіс.

Басқаша айтқанда, сенімділік үлгісі схемадағы немесе сызбадағы құрамдастардың дәйекті немесе параллель қосылымын бірдей анықтамайды. Мысалы, дәйекті және параллельді осцилляторлық тізбектер бірдей сенімді модельге ие, өйткені контурлардың екеуінің де кез келген компоненттерінің сәтсіздікке ұшырауы тұтас тізбектің бұзылуына әкеледі.

Қабылданған бас тарту критерийіне қарай, РЭҚ сенімділік модельдері *қатарлы*, *параллель* және *аралас* болады.

Егер қандай да бір компоненттері істен шыққан жағдайда қате орын алса, сенімділік моделі бірізді (сур. 8.5, а). Егер сәтсіздік тек оның барлық құрамдас бөліктерінің сәтсіздігіне байланысты болса, онда сенімді үлгі параллель болады (сур. 8.5, б). Барлық басқа жағдайларда сенімді үлгі аралас болып табылады (сур. 8.5, в).



Сур. 8.5. РЭҚ сенімділік үлгілері:

а — дәйекті; б — параллелді; в — аралас; 1, 2, ... n — РЭҚ компоненттері

Бас тартудың түрі - кенеттен немесе бірте-бірте - іс жүзінде сенімділік үлгісі нысанына әсер етпейді, алайда оған сәтсіздік ағыны сипатталатын математикалық модель түрі тәуелді.

## Ақаулардың ағымы үшін математикалық моделді таңдау

Кенеттен болған сәтсіздіктің ағымы экспоненциалды немесе қысқартылған қалыпты деп бөлу арқылы сипаттауға болады. Осы орайда, ықтималдығы  $P_{\text{ус.н.}}(T_{\text{ср}})$  өнімнің қалыпты уақытша ықтималдығын бөлудің орташа уақытын анықтау үшін, сәтсіздікке жол бермеу ықтималдығы  $P_{\text{эксп.}}(T_{\text{ср}})$  ықтималдығынан асып кетеді, сол ықтималдылықты экспоненталық бөлу мүмкіндігі бар өнімнің орташа уақытынан үлкен екенін тап өту керек.

Шыныменде, егер  $T_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} P(t)dt$ , онда экспоненциалды бөлу  $T_{\text{ср}} = 1/\lambda$ ,

онда  $\lambda$  — бөлу параметрі;  $P(T_{\text{ср}}) = 0,37$ ; қалыпты бөлудің қысқартылуы үшін

$$P(t) = 1 - F[(t - T_{\text{ср}})M]; P(T_{\text{ср}}) = 0,5.$$

Алайда салыстырмалы түрде аз уақыт аралығы үшін  $t < 0,1 T_{\text{ср}}$ , бөлу арасындағы айырмашылық шамалы болып табылады; сонымен қатар экспоненталық бөлудің сипаттамасы қарапайым болып табылады, сол жағдай ол есептеулерді есептеу үшін оның кеңінен қолданылуын анықтады.

Біртіндеп сәтсіздіктерді сипаттаған кезде қысқартылған қалыпты бөлу артықшылық береді, өйткені  $X(t)$  функциясының сәтсіздікке ұшырау функциясының мәндері өнімнің нақты өзгеруін көрсететін уақытпен бірге *артып*, ондағы болып жатқан ыдырау процестері өнімде нақты болған өзгерістерді көрсетеді.

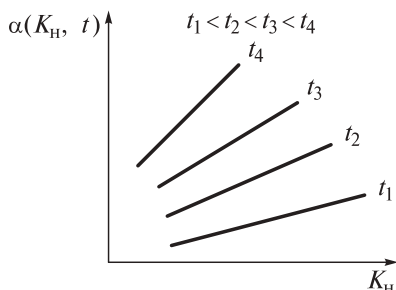
## ЭРҚ сенімділігі

ЭБК сенімділігі оның тоқтаусыз жұмыс істеу көрсеткішін  $\lambda_0$  (немесе  $T_{\text{ср}}$ ) сипаттайды. Оның мағынасы әдеттегі жұмыс жағдайларында анықтамалық әдебиетте берілген: қораған ортаның қызуы  $t = (20 \pm 5)^\circ\text{C}$ , салыстырмалы ылғалдылық  $\phi = (65 \pm 15)\%$  және қысымы  $p = (101 \pm 10)$  кПа, негізгі электрлік параметр бойынша жүктеме коэффициенті (тоқ, кернеу және қуаты бойынша)  $K_H = 1$ .

Жұмыс істеудің шарттарының қалыпты тоқтаусыз қызметтен ауытқуы ЭРҚ  $\lambda = \lambda_0 \alpha_0 \alpha(K_H, t)$ , мұнда орнату нысанын есепке алатын (зертхана, көлік, ұшақ, зымыран) РЭҚ  $\alpha_0 = 0,5...4$  — коэффициент;  $\alpha(K_H, t)$  — ЭРҚ нақты электрлік және жылулық жүктемелерін ескере отырған реттеу коэффициенті.

Сур. 8.6. Сипаттамалардың отбасы

$$\alpha = f(K_H)$$



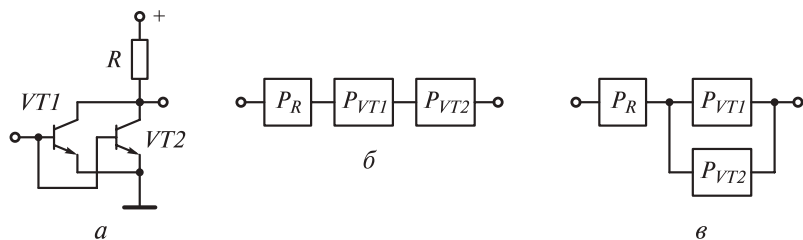
Түзету коэффициентінің мәндері әртүрлі температура қалпына құрастырылған  $\alpha = f(K_H)$  сипаттамалар отбасының графигінен табылған (сур. 8.6). Кәсіпорындардың сенімділік қызметтері ЭБК негізгі түрлеріне арналған осындай отбасыларға ие.

### Күтпеген сәтсіздікке сенімділік индексін есептеу

Сенімділік индексінің есебі - көбінесе, берілген уақыт  $t_0$  ішінде  $P(t_0)$  тоқтаусыз жұмыс істеу ықтималдығы -  $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$  үшін өнімнің қалыпты жұмысы кезеңінде өткізеді.

Алдымен «бас тарту» өлшемін белгілеп, өнімнің сенімді үлгісін жасалады. Содан кейін ЭБК сәтсіздік көрсеткіштері жұмыс жағдайлары мен электр жүктемесін ескере отырып есептеледі. Осыдан кейін, ақаулар ағынының қабылданған үлгісі үшін  $P(t_0)$  есептеледі [13].

**Мысал 8.1.** 8.7, а суретте көрсетілген түрлендіргіштің тізбегін есептеңіз. 8.7, а, «қысқа тұйықталу» және «үзіліс» түрлерінде кез келген элементті сәтсз болған жағдайда  $P(t_0)$  мәндері есептеледі. Шығу кезінде кернеу импульсінің болмауы *ақаулық критерийі* болып табылады. Сәйкесінше R резисторы тоқтаусыз жұмыс істеуі  $P_R(t_0)$ ,  $P_{VT1}(t_0)$  и  $P_{VT2}(t_0)$  ықтималдығы және VT1, VT2 транзисторы бірдей және 0,5-ке тең.



Сур. 8.7. Ақауларға төзімді инвертор:

а — инвертор сызбасы; б — кез – келген элементтің «қысқа тұйықталу» түріндегі бас тартуларына сенімділік моделі; в — кез – келген элементтің «үзіліс» түріндегі бас тартуына сенімділік моделі

*Шешім.* Түрлендіргіштің «қысқа тұйықталу» түрі үшін сенімділік моделі сур. 8.7, b және сәтсіздік түрі үшін «үзіліс» түріндегі сәтсездік - сур. 8.7, в.

Сәтсіздіктің бірінші түрі үшін

$$P(t_0) = P_R(t_0)P_{VT1}(t_0)P_{VT2}(t_0) = (0,5)^3 = 0,125.$$

Сәтсіздіктің бірінші түрі үшін

$$\begin{aligned} P(t_0) &= P_R(t_0)[1 - Q_{VT1}(t_0)Q_{VT2}(t_0)] = \\ &= P_R(t_0)[1 - (1 - P_{VT1}(t_0))(1 - P_{VT2}(t_0))]. \end{aligned}$$

Соңғы өрнектегі ықтималдықтармен алмастырып келесіге ие боламыз

$$P(t_0) = 0,5[1 - (1 - 0,5)(1 - 0,5)] = 0,375.$$

Осылайша, бірдей сәтсіздік критерийі үшін схема әр түрлі сәтсіздікке тең емес.

8.1 мысалында  $P(t)$  функция түрі берілмеген. Алайда іс жүзінде ақаулық ағынның экспоненциалды моделі көбінесе қолданылады, оның параметрі  $X$  - ЭРҚ жетіспеушілігінің қарқындылығы, оның құны анықтамалық әдебиетте тауып алуға болады. Осы мысал үшін резистордың және транзисторлардың сәтсіздікке ұшырау жылдамдығының  $X$  және  $X$  тең болатындығына көз жеткізсек, біз екі модель үшін де толық сәтсіздік коэффициентін анықтаймыз: Сәтсіздіктің «қысқа тұйықталу» түрі үшін  $X_z = 3 X$ , ал сәтсіздіктің «үзіліс» түрі үшін  $\lambda_z = \lambda + 0,5\lambda = 1,5\lambda$ .  $\lambda_z$  біле отыра, белгілі бір уақыт  $t_0$  үшін  $P(t_0)$  табуға болады және «ашық» типті сәтсіздікке арналған ықтималдықтың  $P(t_0)$  «қысқа тұйықталу» сәтсіздігіне қарағанда сәтсіздіктің «үзіліс» үлкен екеніне көз жеткізуге болады.

## **8.5. РЭҚ берілген сенімділік деңгейін қамтамасыз ету әдісі**

РЭҚ сенімділігінің берілген деңгейін қамтамасыз ететін әдістер мен құралдарды таңдауда бір жағынан ТЗ бар сенімділік деңгейіне нақты талаптар ескерілсе, екінші жағынан қаржылық және уақыттық қорларға қойылатын нақты шектеулер жағдайларында аталған техникалық шешімдегі (сұлбада, құрылымда, технологияларда) олардың қанағаттандырылу мүмкіндігі ескеріледі.

Ең алдымен бас тарту критерийлері, сондай-ақ РЭҚ шектеулі жағдайы басталғанға дейін шығыс әсерінің мәні (мысалы, шығыс қуаттылығы, сезімталдығы, анықтау ықтималдылығы) анықталады. Одан кейін сенімділік параметрлерін бағалау әдістері және олардың бастапқы деректері (оның ішінде қабылдау және ақаулы деңгейлер:

тапсырыс беруші мен жеткізушінің тәуекелдіктері) таңдалады.

Толық көлемде қойылған сенімділік деңгейін қамтамасыз ету бойынша ісшаралар бұйымның барлық өмірлік циклін қамтитын осыған дейін айтылған ПОН көрсетілген. Сонымен бірге әртүрлі кезеңдерде бұйымның алға қойылған сенімділік деңгейін қамтамасыз етудің түрді әдістері мен тәсілдері қолжетімді және пайдаланылуы мүмкін.

## **Сұлбаларды жобалау кезеңінде РЭҚ сенімділігін қамтамасыз ету**

Сұлбаларды жобалау кезеңінде (құрылымдық, функционалдық, принципиалдық) қарсылық (тоқтап қалудың) жасамаудың алға қойылған деңгейіне ЭРК санын азайту, жоғары сенімді ЭРК пайдалану және оларды пайдалану шарттарын жеңілдету есебінен өнімдердің қарсылығының сомалық қарқындылығын азайту жолымен қол жеткізіледі.

ЭРК санын азайту (минимизациялау). РЭҚ компоненттік базасы үнемі жаңарып отыратыны белгілі. ИМС біріктіру деңгейі өседі, олардың функционалдық күрделілігі өседі, осыған байланысты дабылдың (күшейтілу, генерация, тұрып қалу) өзгеруінің қарапайым қызметін орындайтын ИМС негізінде бірнеше түймелерден тұратын қондырғыны осы қондырғының қызметін орындайтын бір ИМС (бір корпус) түріндегі желімен ауыстыруға болады.

Кеңінен таралғандар матрицалық және әсіресе, бағдарламадағы қисынды (логикалық) ИМС (ПЛИС). Корпустар санының қысқаруы нәтижесінде сыртқы байланыстар саны да азаяды, ал бұл болса жалпы қондырғының сенімділігін арттырады. Алайда, бір түйіндегі функциялардың бірігуінің ең жоғарғы деңгейіне функционалды электроника приборларында, мысалы, көтермеэлектронды, акустикалық талшықты приборларда, зарядты қондырғысы бар приборларда және т.б. қол жеткізілген.

**Сенімділігі жоғары ЭРК пайдалану.** Сенімділік деңгейі әртүрлі компоненттерде бар. Сенімділігі жоғары компоненттерді технологиялық тәртіпті мұқият сақтай отырып дайындайды; оларға қосымша электрлі термонтажды жаттығулар жүргізіп, жасырын құлдырау процесінің даму мүмкіндігін сипаттайтын арнайы параметрлер бойынша таңдайды. Бұл шаралар ЭРК құнын елеулі қымбаттатып, жалпы бұйымның өзіндік құнын өсіреді. Алайда, бұйымның ең жоғарғы қол жеткізілетін сенімділігін талап ететін техника саласы бар, ал экономикалық фактор маңызды, алайда бұйымды шығарудың (әскери техника, космонавтика) негізгі талабы болып табылмайды.

Теориялық және сынақ зерттеулері көрсетіп отырғандай, абсолютті уақыттық тұрақтылық пен шектеусіз қорларға ие болатын кремнийлі

$n-p-n$ - және германийлі  $p-n-p$ -транзисторлар. Олардың құрылымдары берілген шектеуден ондаған есе жоғары (ондай кезде олар жылулық тесілуге көшеді, бірақ аз мерзімге сөндіргеннен кейін және суыған соң олар өз жұмыстарын қайта бастап кетеді) жүктемелердің әрекетімен де бұзылмайды.

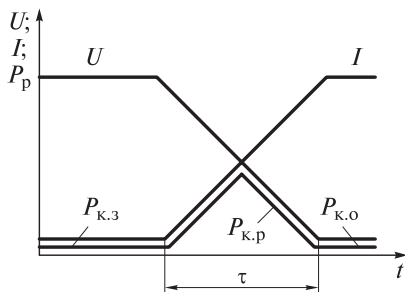
Уақытша тұрақсыздық пен қалпына келмейтін құлдырау нәтижесінде шектеулі қорға ие болатындар кремнийлі  $p-n-p$ -және германийлі  $n-p-n$ -транзисторлар, даладағы  $n$ -каналды транзисторлар, сондай-ақ төрт рет қабатталған құрылымдар, мысалы, тиристорлар мен түрлі модификациядағы IGBT. Ең аз қорларға ие болатындар кремнийлі  $n$ -каналды транзисторлар, сондықтан к-МДП компоненттерін аса сақтықпен пайдалану қажет, мүмкіндік болса, олардан қашық болған дұрыс. Бұл дискретті және интегральды жартылай жүргізілетін приборларға қатысты.

Сонымен қатар бас тартуларының (тоқтап қалуларының) қарқындылығы басқаларынан 2-3 есе жоғары болғанда басынан сенімсіз ЭРК бас тарту қажет. Бұл- келепті бұйымдар. «құрғақ» байланысты коммутациялық өнімдер, электровакуумды приборлар, механикалық түйіндер, стрелкалы электрөлшейтін приборлар. Бұйымда бұлар көп емес, алайда оның сенімділігіне негізгі салым беретін осылар.

**ЭРК пайдалану шарттарын жеңілдету.** Бұған компоненттерге электрлік жүктемені төмендету, пайдалану шарттарын жеңілдету арқылы қол жеткізуге болады. Аталған факторлардың ықпалын ЭРК үздіксіз жұмыс жасауының көрсеткішімен- электрлі жүктеме мен пайдалану шарттарына байланысты  $\lambda$  қарқындылығымен ескеруге болады.

Кейбір ЭРК үшін рұқсат етілетін электрлі жүктеме бойынша жалпы ұсыныстар бар, олар  $\lambda$  мәнінің елеулі төмендетілуіне ықпал жасайды: бір параметр үшін (мысалы, резисторда бөлінетін қуатқа, конденсатордағы қысымға) —  $K_n < 0,8$ ; бір мезгілде екі параметрлер үшін (мысалы, кері қысым мен диодтың немесе тиристордың тікелей тоғы үшін) —  $K_n < 0,7$ ; бір мезгілде үш параметрлер үшін (мысалы, коллектордағы қысым үшін, коллектор тоғы мен транзистор коллекторынан бөлінетін тұрақты қуат үшін) —  $K_n < 0,6$ .

ЭРК арнайы қолданатын кейбір жағдайларда олардың электрлік режимдеріне қосымша шектеулер салынуы мүмкін. Мысалы, кілт ретінде қолданылатын



8.8 сур. Қосу режимінде транзистор параметрлерінің өзгеруі

транзисторларда, сөндіру кезінде коллектордан бөлінетін қуаттың ( $P_p$ -ең жоғарғы бөліну қуаты) қысқамерзімдік мәні  $P_{рдоп}$  мәнінен асып кетуі мүмкін (сурет 8.8). Статистік режимде кілт ашық немесе жабық болған кезде  $P_{ко} = I_{ко} \cdot U_{ко}$  немесе  $P_{кз} = I_{кз} \cdot U_{кз}$  коллекторындағы қуаттың мәні  $P_{кдоп}$  рұқсат етілетін мәнінен елеулі төмен.

## **Құрамаларды жобалау кезеңінде РЭҚ сенімділігін қамтамасыз ету**

Бұйымдардың сенімділігін бұйымды сыртқы ықпалдардан—климаттық, электромагниттік, радиациялық және т.б. қорғауды қамтамасыз ететін құрамалардың сенімділігін арттыра отырып нығайтуға болады. Тиімділікті арттыру үшін қосымша құрамалы элементтерді енгізу қажеттілігі: жылу ағынын (радиаторлар, желдеткіштер), дымқылдан қорғау және герметизация (тығыздағыштар, жұтып алушылар), вибро- және соққыдан қорғайтындар (амортизаторлар), электромагнитті ақауларды басу (экрандар), мон сәулелері ағымын азайту (көлеңкелі экрандар, коллиматорлар) өнімнің құрамасын елеулі түрде қиындатып, оның массасын және габариттік мөлшерін өсіреді, сенімділігін төмендетеді.

Сонымен қатар, берілген сенімділік деңгейін оның бөлшектерінің сенімділік деңгейін арттыру арқылы қамтамасыз ету мүмкін болмаса, онда оның сенімділігін көтеретін басқа компоненттеріне көшу қажет, атап айтсақ, оның жекелеген түйіндері, қондырғыларын немесе жалпы бұйымның өзін резервтеуге көшу, ал бұлай жасаған жағдайда бұл оның құрамасын бұдан әрі қиындатады. Сондықтан резервтеу қажеттілігі туралы шешім негізді болуы тиіс, ал қабылданған техникалық шешім бұйымның сенімділік деңгейі бойынша талаптарын мүлтіксіз орындауда сапаның кейбір критерийлерінде оңтайлы болуы тиіс.

*Резервирлеу*— РЭҚ біртегіс құрамдас бөліктерін (түйіндерін, қондырғыларын және т.б.) қосымша енгізу арқылы РЭҚ сенімділігін арттыру әдісі. Резервтеуді бұйым жұмысының талап ету ресурсы компоненттерінің ресурсынан асып кетсе немесе КЛА бортындағы қызмет көрсетілмейтін өнімге қандай түрінен болса да бір рет бас тарту тұрақтылығына қойылатын талап міндетті болса.

Жалпы және бөлек резервтеуді атауға болады. Жалпы резервтеуде РЭҚ жалпы бас тарту жағдайы көзделсе, мысалы, радиобайланыс торабында қосымша радиостанциясын құрады. Бөлек резервтеу кезінде РЭҚ жекелеген құрамдас бөліктері жұмыс жасамаған жағдайда резерв көзделеді. Мысалы, радиостанцияны қосымша қоректенудің бензоагрегатымен жинақтайды немесе таратқыштың құрамына генератордың қосымша түйінін енгізеді. Әдетте, РЭҚ ең маңызды және ең сенімсіз құрамдас бөліктерін резервтейді. (көбейтеді).

Резервті элементтер негізгі элементке тұрақты түрде (тұрақты түрде резервтеу) немесе олар негізгісімен бірге РЭЖ қызметінде қатысатын болмаса, немесе негізгісі жұмыс жасамай қалса (ауыстырып резервтеу, жылжымалы резервтеу), ондай жағдайда негізгі элементтің қызметін резервтеуші элементтерге табыстайды. Сонымен қатар, резервті элементтер қосылып тұруы да мүмкін (толық резерв) сөніп тұруы да мүмкін (толық емес резерв).

Резервтеу бірреттік (дубльдеу) және көпреттік болуы мүмкін. Резервтеудің қысқалығы  $n_p$  резервті элементтер санының біртепті резервтеу элементтер санының қатысына тең болуы тиіс. Екінші жағынан  $n_p$  мәні саны бойынша өнімнің сенімділігіндегі қажетті ұтыстың жақын жалпы санына тең  $K_p = T_{орта-талап} / T_{орта}$  (аталған жағдайда  $T_{ср}$  бойынша); онда  $n_p = K_p$ , егер  $K_p$  — тұтас сан және  $n_p = \text{int}(K_p) + 1$ , егер  $K_p$  — бөлшек сан.

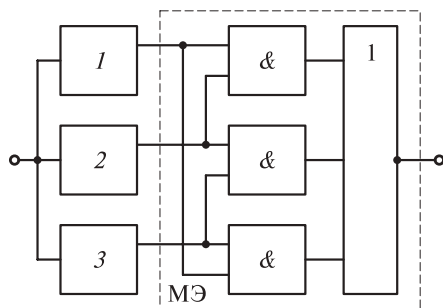
Толық емес резервтеу үшін (ННР) оның элементтерінің үздіксіз жұмысында интервалдарды экспоненциальды бөлу кезінде және резервті элементтерді қосудың абсолютті сенімділік жағдайларында нақты ұтыс сенімділікте  $K_{pННР} = n_p$ , ал тиелген резервтеуде (НР)

$$K_{pНР} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} \quad (n — \text{теңбе тең жұмыс жасайтындар саны}).$$
 Нақты ұтыс мәні экспоненциалдыдан айырмашылығы бар элементтердің толассыз жұмысы интервалдарын бөлуге арналған (Вейбуллдың бөлуі, қалыпты бөлу) сенімділікте  $K_{pНР}$  олар есептелген және табульденген.

ННР мен салыстырғанда НР арналған сенімділікте ұтыс өсімі резервті элементтер саны өскен кезде НР арналған негізгі және резервті элементтер қорының бірізгілікте жұмсалыуымен байланысты. ННР кезінде ресурс шығыны біртекті жүреді.

Практикада резервтеу қысқалығы  $n_p \leq 4$ , себебі бұйымның сенімділігінің артуы қосып-сөндіретін қондырғыларының сенімділігін арттырып тұрады. Сонымен қатар, бұйымның салмағы, габариттік мөлшерлері және құны өседі, ал НР кезінде энергияны өнімнің тұтынуы өсіп, оның жылу режимі қиындатылады.

Мажоритарлы резервтеу функционалды және конструктивті артықшылығына негізделген НР бұйымның түрі болып табылады. Аталған жағдайда функционалды артықшылық дегеніміз мажоритарлы элементтің көмегімен (МЭ) мажорлеудің қосымша операциясын енгізу (параметрлер векторы) — басымдық принципі бойынша қорытындылық шешім қабылдау (majori). Басқаша айтсақ, шығыс параметрлерінің мәндері сәйкес келген кезде ( $k — l$ ) егер бір мерзімде жұмыс жасамай қалса  $l$  қондырғы,  $a$   $k$  және  $l$  бір-бірімен байланысты  $= 2l + 1$ , өнім ақаусыз болып саналады.



8.9 сур. 1... 3 қондырғыларын мажоритарлы резервтеумен бірге бұйымның сұлбасы: МЭ — мажоритарлы элемент

Сонымен, МЭ «көптік заңын» немесе мажоритарлы заңды білдіреді. Аталған заң бірінші рет тұрақты бас тарту коды теориясында негізделді. Оны қолдану нәтижесі болып табылған байланыс каналы бойынша хабарламаларды жіберудің шынайылығын елеулі арттыру. Тәжірибеде кеңінен таралған МЭ, ол үшін  $l = 1$ , ал  $k = 3$  («2 из 3»). Құрамалы артықшылыққа ие болатын қандай болсын резервтелген өнім.

8.9 суретте көрсетілген МЭ «2 из 3» негізінде мажоритарлы резервтелген өнімнің сенімділігін сондай қысқалықтағы қарапайым НР өнімнің сиымдылығымен салыстырайық. Мажоритарлы резервтелген бұйымның  $P_m(t)$  үздіксіз жұмысының ықтималдылығын есептеу үшін болған оқиғаның толық тобын құратын уақытының сәтіне оның жұмыс жасауының мүмкін қорытындыларын жазамыз: барлық қондырғылар жақсы жұмыс жасайды; 1 және 2 қондырғы дұрыс жұмыс жасайды, 3 қондырғы дұрыс жасамайды; 1 және 2 қондырғы дұрыс жұмыс жасайды, 2 қондырғы жасамайды; 2 және 3 қондырғы дұрыс жұмыс жасайды, 1 қондырғы дұрыс жасамайды;

МЭ жұмыс жасау ықтималдылығы төмен болған жағдайда, ал 1, 2 және 3 үздіксіз жұмыс жасау ықтималдылығы өзара бірдей және  $P$  тең болады (аргумент  $t$  алып тастаймыз),  $P_m = P^3 + 3P^2(1 - P) = P^2(3 - 2P)$ .

$P = 0,8$  болған кезде  $P_m = 0,896$  болады. Қарапайым НР қысқалығында 2 болған жағдайда, (бірмезгілде үш өнім де таза жұмыс жасаған кезде)  $P_{НР} = P^3 = 0,512$  аламыз.

### **Дайындау және пайдалану кезеңдерінде РЭЖ сенімділігін қамтамасыз ету**

РЭЖ сенімділігіне кондиционды емес материалдар дайындау процесінде немесе технологиялық режимдерден ауытқу кезінде пайда болатын жасырын ақаулар ықпал етеді. Пайдалану процесінде аталған ақаулар дами отырып, жұмысты тоқтатып тастайды. Жасырын

ақаулардың және онымен байланысты тоқтаулардың алдын алу үшін өнімнің қандай болмасын түрінің технологиялық желісіне қосымша операциялар мен процедуралар енгізілген.

Ең алдымен, бұл шикізат, материалдар, құрама өнімдер параметрлерінің іріктемелі немесе жалпы кіріс бақылауы, ЭРК сертификатқа немесе төлқұжатқа сәйкестігі. Жоғары сенімділікті ЭРК таңдау қажеттілігі кезінде оларды электр термोजаттығулардан және бақылаудың арнайы түрлерінен өткізеді. Кейбір ЭРК кейбір мәндері жұмысты тоқтату белгісі болып саналатын параметрлері болады.

Ақаудың себептерінің алдын алу және жою үшін барлық технологиялық операциялардың орындалуының дұрыстығын бақылап, бұйымның параметрлеріне кезеңдік (операция бойынша) технологиялық бақылауды жүзеге асырады және олардың жекелеген техникалық талаптарға сәйкестігіне сынақтан өткізеді.

Дайын бұйымдарға сынақтарды (алдын ала, қабылдау-тапсыру, ресурстық, типтік, мемлекеттік) нормативтік-техникалық құжаттар талаптарына сәйкестігін растау үшін, оның ішінде бұйымның сенімділігін анықтау үшін жүргізеді.

Пайдалану кезеңінде бұйымның жұмыс жасауының сенімділігін пайдалану ережелерін және сақтау мен тасымалдау режимдерін сақтау есебінен, сондай-ақ техникалық қызмет көрсету, тексеру және жөндеудің уақытылы жүргізілуі есебінен қамтамасыз етіледі.

## **Бақылау сұрақтары**

Сенімділіктің сапасын құрайтындарды атаңыз.

Сенімділік көрсеткіштері неге ықтималдылық мөлшеріне ие?

«Бас тарту» және «Бас тарту критерийі» түсініктері бір-бірімен қалай байланысты?

Бұйымдардың бас тарту критерийлерінің мысалдарын келтіріңіз.

Қалпына келтірілетін және қалпына келтірілмейтін бұйымдардың және олардың сенімділік көрсеткіштерінің айырмашылығы қандай?

Дайын болу функциясының мағынасын түсіндіріңіз  $G(t)$ .

«Көнерген» және «көнермеген» өнімдердің үздіксіз жұмысының бөлінген уақытын атаңыз.

РЭҚ модельдерінің сенімділігінің барлық түрлерінің мысалдары келтіріңіз.

Сұлбаларды жобалау кезеңінде РЭҚ сенімділігінің берілген деңгейін қамтамасыз ету әдістерін атаңыз.

Құрамаларды жобалау кезеңінде РЭҚ сенімділігінің берілген деңгейін қамтамасыз ету әдістерін атаңыз.

## 9 Бөлім

### Радиоэлектронды құралдарды сынақтан өткізу

#### 9.1. Сынақтардың классификациясы

РЭҚ сынақтарды өнім параметрлерінің нормативтік-техникалық құжаттардың (техникалық шарттар) талаптарына сәйкестігін экспериментальды растау мақсатында жүргізеді. Сынақ объектілері болып табылатындар: макеттер, өнімдердің жекелеген экспериментальды және тәжірибелік үлгілері, сондай-ақ өндірісті игеру кезеңінде және топтамалы (жаппай) шығарылымда дайындалған іріктемелер [10].

Кесте 9.1

| Жіктеу белгісі             | Сынақ түрлері                                                                                                                                           |
|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Тағайындалуы               | Зерттеу, бақылау                                                                                                                                        |
| Сынақтарды өткізу деңгейі  | Мемлекеттік, ведомствоаралық, ведомствалық                                                                                                              |
| Дайындау кезеңдері         | Алдын ала, қабылдау                                                                                                                                     |
| Сынақтар мақсаты           | Қабылдау –тапсыру –өнім параметрлерінің техникалық талаптарға сәйкес келуін тексеру жұмысын дайын өнімді қабылдауда тапсырыс берушімен бірге жүргізеді. |
|                            | Кезеңдік —өнім сапасына бақылау, ТП тұрақтылығы                                                                                                         |
|                            | Типтік – өнім конструкциясының немесе ТП өзгеру тиімділігін бағалау                                                                                     |
|                            | Сертификациялық — стандарттар, ТШ стандарттар, ТШ талаптарына сәйкес келуіне өнімді сертификаттау                                                       |
| Өткізу талаптары           | Зертханалық, қабырғалық, полигондық, модельдік                                                                                                          |
| Ұзақтығы                   | Қалыпты, жеделдетілген                                                                                                                                  |
| Ықпал ету түрлері          | Механикалық, климаттық, биологиялық радиациондық , электромагниттік                                                                                     |
| Ықпал ету нәтижесі бойынша | Бұзатын, бұзбайтын                                                                                                                                      |

|                                 |                                                                                                                                                                                                                   |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Қолайсыз фактор                 | Бастамашылық процесс және ықпал ету нәтижесі                                                                                                                                                                      |
| Жоғары температура              | ТКРЛ байланыс материалдарының айырмашылғы есебінен болатын механикалық қысымдар (баспа платаларындағы сынықтардың пайда болуы), жұмсарып кетуі, балқып кетуі (окшауланудың бұзылуы)                               |
| Төменгі температура             | Полимерлердің сынып кетуі (окшаулану бұзылуы), мұз пайда болуы (электр қасиеттерінің өзгеруі)                                                                                                                     |
| Жоғарғы ылғалдылық, тұзды тұман | Ылғалды сіңіріп алу (электр қаттылығының төмендеуі, окшаулау қарсылығының азайуы), коррозия (механикалық қаттылығының азайуы, ПП сымдарының бұзылуы), электрхимиялық реакциялар (қысқа тұйықталған орындар болуы) |
| Ауаның төменгі қысымы           | Электр қаттылығының төмендеуі (окшау сыныптамасы, короналық, разрядты)                                                                                                                                            |
| Механикалық ықпалдар            | Құрамалардағы механикалық ықпалдар (конструкция элементтерінің бұзылуы, дәнекерлеген жерлердің ашылып кетуі)                                                                                                      |
| Ион сәулелері                   | Ионизация (жартылай жүргізетін сымдар сынамасы, диэлектриктердің қартайуы)                                                                                                                                        |
| Көзделмеген ақаулар             | Қызмет тұрақтылығының бұзылуы (шу, тоқтап қалу, дабылдың бұзылуы)                                                                                                                                                 |

Сынақтар тізімі мен ықпал ету түрлері ГОСТ 15.001, ГОСТ 16504 и ГОСТ 11478. Стандарттарымен анықталған. Сынақтар классификациясы 9.1.кестеде келтірілген.

РЭҚ пайдалану, сақтау және тасымалдау кезінде РЭҚ сыртқы ортаның қолайсыз факторларының ықпалын сезеді: климаттық, механикалық, радиациялық және жұмысты тоқтатып тастайтын жұмыс қабілетінің бұзылуы және РЭҚ конструкцияларындағы деградациялық (құлдырау) процестердің дамуы (кесте 9.2).

## 9.2. Сынақтар кезінде ықпал ететін факторлардың параметрлері

Қондырғы объектісінің түрі бойынша бөлінетіндер, жердегі (алып жүретін, көлікпен таситын), самолетті-вертолетті, ракеталық-космостық және теңіздік РЭҚ. Әрбір түрі үшін ықпал ететін факторлардың әрбір түрі үшін

| Ықпал ету түрі                                                                     | РЭҚ түрлері                               |                                          |                                |                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|
|                                                                                    | жердегі                                   | Ұшақты-<br>тікұшақты                     | ракеталы-<br>космостық         | теңіз                                     |
| Механикалық ықпалдар                                                               |                                           |                                          |                                |                                           |
| Сокқылар (4):<br>бірреттік:<br>ұзақтығы,<br>жылдамдық мс, g                        | 0,5... 10<br>50... 1 000                  | —<br>—                                   | 10.12<br>5.10                  | 0,5...2<br>1 000 дейін                    |
| көпреттік:<br>ұзақтығы,<br>жылдамдық мс, g                                         | 5... 10<br>10.15                          | 6.12<br>15 дейін                         | —<br>—                         | 5...10<br>15                              |
| Діріл (14):<br>жиілік, Гц<br>жеделдету, g                                          | 10...70<br>1...4                          | 5...2 000<br>20 дейін                    | 0...50<br>20 дейін             | 0...120<br>1,5...2                        |
| Желілік жеделдету (15),<br>g                                                       | 2...5                                     | 4...10                                   | 5...50                         | —                                         |
| Акустикалық шу (5):<br>деңгей, дБ жиілік, Гц                                       | 85...125<br>50...1 000                    | 130...150<br>50...1000                   | 130...170<br>50...1000         | 75...140<br>50...1000                     |
| Климаттық ықпалдар                                                                 |                                           |                                          |                                |                                           |
| Температура, К:<br>жоғары:<br>қалыпты<br>шектеулі:<br>төмен<br>қалыпты<br>шектеулі | 323<br>333<br><br>233<br>223              | 333...473<br>353...523<br><br>213<br>213 | 323...473<br>—<br><br>223<br>— | 303...333<br>338<br><br>233<br>223        |
| Салыстырмалы<br>ылғалдылық, %, (К)<br>температурасында                             | 80...93<br>(213)                          | 93...100<br>(320...330)                  | —                              | 98...100<br>(308...323)                   |
| Атмосфералық қысым,<br>Па:<br>ең жоғарғы,<br>ең төменгі                            | 106·10 <sup>3</sup><br>57·10 <sup>3</sup> | 106·10 <sup>3</sup><br>2·10 <sup>3</sup> | —<br>13,3                      | 106·10 <sup>3</sup><br>88·10 <sup>3</sup> |

(кесте 9.3) және ыпал ету қаттылығының әртүрлі деңгейі (олардың мәні 9.3 кестеде жақшамен берілген).

### 9.3. Сынақтарды өткізу тәртібі

Сынақтарды ұйымдастыру әдісі бойынша дәйекті, параллельді және дәйекті-параллельді сынақтар болады.

Дәйекті сынақтарда өнімді әлеуетті сенімсіз өнімдерді тез анықтау үшін ең қиындарынан бастап әртүрлі факторлардың ықпалын сынақтан өткізеді. Сынақты өткізуден бас тартқан жағдайда сынақты тоқтатады, сондықтан бұйымның басқа факторлардың ықпалына тұрақтылығын тексеру мүмкін емес. Егер сынақты қаттылығы төмен факторлардың ықпалынан бастаса, онда сынақтардың ұзақтығы елеулі өседі. Сынақтардың оңтайлы дәйектілігі бұйымның тағайындалуы мен пайдалану шарттарына байланысты болады. Әдетте, әуелі механикалық ықпалдарға тұрақтылыққа, содан соң климаттық факторларға сынақ жүргізіледі.

*Параллельді сынақтар кезінде* бұйымның бірнеше үлгілеріне біртегіс әртүрлі факторлардың қалай ықпал жасайтындықтарын тексереді. Сонымен бірге сынақтардың ұзақтығы қысқарады, алайда оларды өткізу үшін өнім үлгілерінің көп саны қажет болады.

Дәйекті-параллельді сынақтар үшін бұйым үлгілерінің бірнеше топтарын (ықпал ететін факторлар саны бойынша) пайдаланады. Әрбір топта бұйымдарды кезек сайын белгілі бір фактордың ықпалына сынақтан өткізеді- я механикалық, я болмаса климаттық немесе радиациялық.

Сынақты бұйымның жұмысқа қабілеттілігін бақылауға ықпал ететін сынақ құралдарына жүргізеді (жылу және салқын камералары, дымқыл камералары, діріл қабырғалары (вибростенділер), сокқы қабырғалары, барокамералар және т.б.).

## 9.4. Температуралық сынақтар

Температуралық сынақтар немесе термосалқынтұрақтылығына сынақтар оларды тасымалдау және сақтау температураларында РЭҚ пайдалану температурасы диапазонында келтіріледі, сондай-ақ термоциклдерге тұрақтылыққа сынақтан өткізеді (төмен және жоғары температура ортасы кезеңдік ауысқан кезде).

Сынақтардың мақсаты — РЭҚ жоғарғы (төменгі) температура ортасында болған кезде жоғарғы (төменгі) температура ортасына ықпал жасау жағдайларында РЭҚ параметрлерінің тұрақтылығын тексеру.

РЭҚ термо сынақтарының түрлерін пайдалану шарттарына байланысты қатты ықпал ету дәрежесі бойынша бөледі [10].

РЭҚ сынақтарды термोजүктемелермен немесе термо, я болмаса электр жүктемелерімен жүргізеді. Екінші жағдайда өнімді камераға салып қалыпты немесе аталған бұйымға рұқсат етілетін ең жоғарғы электр жүктемесімен сынақтан өткізеді.

Бұйымның электр параметрлерін келесідей өлшейді: сынақ

басталғанға дейін, камерада берілген температураға қол жеткізілгеннен кейін және жылу тепе-теңдігі орнатылып, аталған бұйым берілген температурада белгілі уақыт кезеңінде болған соң, сынақ аяқталғаннан кейін. Бұйым параметрлерін оны камерадан шығармай тұрып өлшейді. Ол үшін бұйымды арнайы гермоайырғыштар мен тығыздағыш люктер арқылы сыртқы коммутациялық шынжырларға қосады. Егер бұйым өлшемнің барлық циклдерінде бекітілген нормалар шегінде болса сынақтан өткізілген болып есептеледі,

Бұйым үшін ең қатты сынақ түрі болып саналатын- электрлік жүктемесіз температураның циклдік ауысу жағдайында оның тұрақтылығын тексеру. Термоциклированиеге сынақтар өнімді жобалау және дайындау кезінде туындайтын құрамалар мен технологиялардың жасырын ақауларын анықтауға мүмкіндік береді.

Термосынақтар үшін арнайы камералар қолданады : *термостаттар* (жоғары температураларда сынақтан өткізу үшін), *криостаттар* (жоғары температураларда сынақтан өткізу үшін) термостат пен криостаттың функцияларын біріктіретін біріккен камералар орындайды. Бұл камералар температураны автоматты түрде ұстап тұру үшін арнайы қондырғылармен- температура датчиктерімен бірігіп жұмыс жасайтын электронды көпірлермен немесе автоматты потенциометрлермен жарақтандырылған.

Температура бергіштері ретінде биметалдық бергіштерді, термобулар мен терморезисторды пайдаланады. *Термобуларды* механикалық әсерлердің температурасына, сезімталдығына, тұрақтылығына байланысты әр түрде шығарады. Температураны 600 °C өлшеу үшін ең үлкен термо ЭДС беретін және жоғары сезімталдыққа ие хромель-копелді термобуларды пайдаланады. *Терморезисторлар* үш түрде шығарады: платинді (ТСП), мыс (ТСМ) және жартылай жүргізілетін (ПТС), олар температуралық диапазонмен және сезімталдықпен ерекшеленеді .

## 9.5. Ылғалдылыққа сынақтар

Ылғалдылыққа сынақтың қысқа мерзімді және ұзақ мерзімді екі түрін бөледі.

*Қысқа мерзімді сынақтар* алдында өткізілген сынақтарда туындауы мүмкін өрескел технологиялық сынақтарды анықтау үшін жүргізеді. *Ұзақ мерзімді* сынақтарды өнім ылғалды жағдайларда және ұзақ уақыт ылғалды жерде болғаннан кейін өзінің параметрлерін сақтау қабілетін анықтау мақсатында жүргізеді.

Ылғалдылыққа сынақтар циклдік (ылғалдылықпен бірге) немесе

үздіксіз (ылғалдылықсыз ) болады.

Сынақтың циклдік режимі камерадағы температураның циклдік өзгеруі кезінде жоғары ылғалдылықтың ықпалымен сипатталады. Нәтижесінде бұйымның сыртқы қабаты сулану үшін (температура тез төмендегенде) және кейін оның булануы үшін (температура көтерілгенде) жағдайлар туғызады. Ал бұл даттану (коррозия) процесінің қарқынды дамуына ықпал етеді. Сонымен қатар, температура төмендеген жағдайда ылғалдылық бұйымның ішіне материалдардың әртүрлі ТКРЛ біріккен жерлерінде болатын тігістерінде микраарналар арқылы кіріп кетуі мүмкін, сондай-ақ камерада мұздатылған ауаның қысымдары өзгеруі есебінен де болуы мүмкін.

Сынақтардың үздіксіз режимінде өнімдердегі ылғалдың конденсациясы көзделмейді. Сондықтан үздіксіз сынақтарды температураның тұрақтануы кезінде және камерада ылғал болған кезде жүргізеді. Бұйымды алдын ала ылғалдылық камерасына қойып жылу тепе теңдігі орнағанға дейін өте жоғары температурада ұстайды. Одан кейін камерадағы ауаның салыстырмалы ылғалдылығын көтереді ( $95 \pm 3$ ) % және одан әрі оны және оның температурасын барлық уақыт ішіндегі тұрақты сынақтармен қолдап отырады.

Сынақтардың нақты әдістері бұйымның тағайындалуымен және пайдалану шарттарымен анықталатын сынақты қатты дәрежесіне байланысты орнатады. Стандарттармен ылғалды ортаның ықпалының қаттылығының сегіз дәрежесі көзделген. Ылғалдылыққа сынақтар режимінің мысалдары 9.4. кестесінде келтірілген.

Жоғары температураның бірмерзімдік ықпалымен ылғалдылық әсеріне сынақтарды өткізу үшін термоылғалды камералар пайдаланады.

Кесте 9.4

| Пайдалану талаптары                          |             | Қаттылық дәрежесі | Сынақ режимі                                                                             |
|----------------------------------------------|-------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Салыстырмалы ылғалдылықтың орташа айлық мәні | мерзімі, ж. |                   |                                                                                          |
| 65% - 20 °C                                  | 12          | i                 | 25 °C кезінде ылғалдылығы 80 % температура төмендегенде кезде ылғалдылық конденсатынсыз  |
|                                              |             |                   |                                                                                          |
| 90 % - 27 °C                                 | 12          | VIII              | 35 °C кезінде ылғалдылығы 100 % температура төмендегенде кезде ылғалдылық конденсатынсыз |

| Термо ылғалды камера моделі | Жұмыс көлемі, м³ | Мәні      |       | Ұстап тұру дәлдігі |      | Қол жеткізу уақыты мин |                      |
|-----------------------------|------------------|-----------|-------|--------------------|------|------------------------|----------------------|
|                             |                  | t, °C     | 9, %  | t, °C              | 9, % | t <sub>max</sub> , °C  | 9 <sub>max</sub> , % |
| КТВ-0,15-155                | 0,15             | 155 дейін | 98    | ± 5                | ± 3  | 40                     | 40                   |
| КТВ-0,5-155                 | 0,5              | 155 дейін |       | ± 2                |      | 60                     | 60                   |
| КТВ-0,025                   | 0,025            | 25... 100 |       | ± 1                |      | 45                     | 60                   |
| КТХВ-0,1-10/90              | 0,1              | -10. + 90 | 40.98 | ± 2                | ± 3  | 40                     | 30                   |
| КТВ-0,1-90                  |                  | +25. + 90 |       |                    |      | 30                     |                      |
| КТХВ-0,5-10/100             | 0,5              | 10. +100  | 65.98 | ± 2                | ± 3  | 30                     | 60                   |
| КТВ-0,5-100                 |                  | +25. +100 |       |                    |      | 40                     |                      |

Камералардағы ылғалды ауаны кейбір ашық су бетіндегі буланумен немесе кейбір химиялық бірігулердің су ерітінділерімен, немесе суландыратын құрал арқылы оған циркуляция жүргізу арқылы қамтамасыз етуге болады. Екінші ең күрделі әдістің басымды жағы сынақ кезінде ауа температурасы мен ылғалдылығының бірмерзімде реттелуі. Ауаның дымқалданғандығын өлшеу үшін ПБУ-1, ПБУ-1М психрометриялық гигрометрлер, сондай-ақ АПВ-201, АПГ-206. Автоматтық фитилсіз гигрометрлер пайдаланылады. Кейбір отандық термоылғалдандырылған камералардың параметрлері 9.5. кестеде келтірілген.

Көптеген жағдайларда ылғалдық тұрақтылығына сынақты электр жүктемесінсіз жүргізеді. Егер бұйымда ылғалды (дымқыл) ортада пайдаланған кезде электролиз немесе электр химиялы коррозия (дат) пайда болса, онда сынақты электр жүктемесін қоса отырып жүргізеді, бірақ сынақтан өтетін өнімге бөлінетін жылу ағымын азайтып, қысымды төмендетеді. Параметрлерді сынақтың соңында өнімді термоылғалды камерадан шығармай тұрып өлшейді.

## 9.6. Механикалық сынақтар

РЭҚ конструкциялардың механикалық сынақтары РЭҚ параметрлерінің механикалық факторлар ықпалына тұрақтылығы бойынша талаптарға сәйкестігін растауға мүмкіндік беретін маңызды кезеңі болып табылады. Практикада РЭҚ сынақтарын резонансты жиіліктерді, толқынды тұрақтылық толқынды қаттылық,

соққы тұрақтылығы мен қаттылықты, желілі жылдамдық ықпалына тұрақтылық пен акустикалық шады анықтау үшін жүргізеді.

## Дірілдер ықпалына тұрақтылыққа сынақтар.

РЭҚ құрамалары – күрделі механикалық ауытқу жүйелері және олардың бірнеше резонасты жиіліктері болуы мүмкін. Олардың ішіндегі ең қауіптілері болып табылатын ең жоғары механикалық қысым мен деформациялар туындайтын төменгі резонанстық жиіліктер.

Резонасты жиіліктерді анықтау кезінде ( сөніп тұрған жағдайда ) төмендетілген жылдамдықтар кезінде ( 0,2...1,5)  $f_0$  есеп жиіліктердің жәй ауысатын диапазонында гармониялық дірілдің ықпалын тигізеді. Сынақтар қорытындысы бойынша :

- конструктивті қор коэффициентінің мәні бойынша апыратураның механикалық қасиеттерін бағалайды.  $k_3 = f_{\text{нр}} / f_{\text{в}}$ , бұл жерде  $f_{\text{нр}}$  - ең төменгі резонанстық жиілік ;

- $f_{\text{нр}}$  – ықпал ету диапазонының жоғары жиілігі; жиілік мәніне байланысты механикалық сынақтардың басқа түрлерін өткізу туралы шешім қабылдайды. (9.6. кесте )

Дірілге тұрақтылыққа сынақтардың дірілді жүктемелер ықпалының жиілік диапазонын айыратын қаттылықтың 14 дәрежесі бар. Қаттылықтың әр түрлі дәрежелеріне дірілдік ықпалдары параметрлері мәнінің мысалдары 9.7. кестеде келтірілген.

Сынақ төмендегі әдістермен жүргізіледі : егер резонанстық жиіліктер белгісіз болса, ( беркітілген жиілік (  $f_0 > 1,5 f_{\text{в}}$  ) және «кездойсоқ діріл » ) егер конструкцияда жиілік диапазонында төрт резонанстан кем болса.

Діріл тұрақтылығында сынақтар узақтығы 5 минуттан кем емес, діріл қаттылығына – 1 – ден 5 сағ. дейін. Сынақ мерзімін қысқару қажеттілігі кезінде өнімнің ұзақтылығына діріл жүктемелерінің ықпалының келесі заңдылығына негізделген « жылдамдатылған сынақтар » әдісін қолданады.

$$\frac{T_0}{T_{\text{вск}}} = \left( \frac{a_{\text{вск}}}{a_0} \right)^k,$$

9.6. кесте

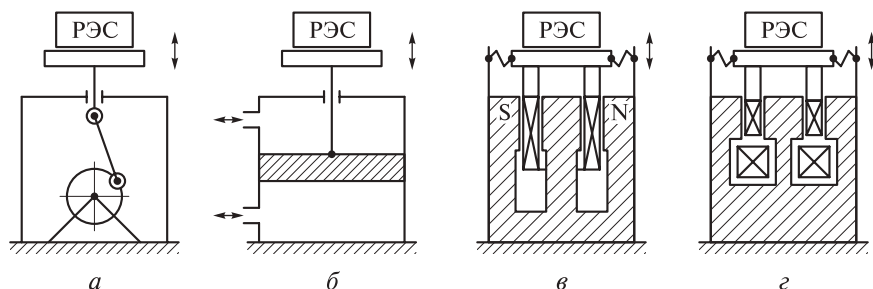
| $f_{\text{нр}} \leq 1 \cdot 10^3 \text{ Гц}$ | $1 \cdot 10^3 < f_{\text{нр}} \leq 2 \cdot 10^3 \text{ Гц}$ | $2 \cdot 10^3 \leq f_{\text{нр}} < 2f_{\text{в}}$ | $f_{\text{нр}} > 2f_{\text{в}}$      |
|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Сынақ барлық түрлерін өткізеді               | Сокқы төзімділігіне сынақ өткізілмейді                      | Сокқы тұрақтылығына сынақ өткізбейді              | Діріл тұрақтылығына сынақ өткізбейді |

| Қаттылық<br>дәрежесі | Жиілік<br>диапазоны Гц | Амплитуда,<br>мм | Ауысу жиілігі,<br>Гц | Жеделдетілген<br>амплитуда g |
|----------------------|------------------------|------------------|----------------------|------------------------------|
| 1                    | 10...35                | —                | —                    | 0,5                          |
| ...                  | ...                    | ....             | ...                  | ...                          |
| 9                    | 10...500               | 0,5              | 50                   | 5                            |
| ...                  | ...                    | ...              | ...                  | ...                          |
| 14                   | 10...5000              | 4,0              | 50                   | 40                           |

Бұл жерде  $k=2 \dots 10$  (өнімнің конструкциялары мен материалының ерекшелігіне байланысты). Ең қатты сынаққа  $k=2$  мәні сәйкес келеді.

Дірілдің ықпалына сынақтар өткізу кезінде қарсы күшті қарсы құру әдісі бойынша айырықшаланатын виброқабырғалар пайдаланылады. Діріл қабырғаларының іс-әрекеттері принциптері 9.1. суретте келтірілген конструкция нұсқаларынан анық көрінеді.

Ең кеңінен таралған 5.5. 000 Гц жиілік диапазонында  $100 \text{ s}$  жүктемесінсіз ең жоғарғы жылдамдықпен жүк көтергіштігімен (әртүрлі модификациялар үшін итергіш күштің мәні 100-ден 15 000 шегінде жатыр) бөлінетін ВЭДС топтомасының отандық электрлі динамикалық діріл қондырғылары. Діріл параметрлерін пассивті (сиымдылықтағы, резистивті, индуктивті, трансформаторлы) немесе белсенді (электрлі динамикалы, электр магнитті, пьезоэлектрлі) діріл құрушылар деп бөледі. Белсенді діріл туғызатындардың сезімталдығы пассивтегілерге қарағанда жоғары, бірақ олар күрделі және жоғары бағалы практикада жиі қолданылатын пьезоэлектрлік түйіндер. Олардың көлемі кішкентай. Герц үлесінен жиілік диапазонында жұмыс жасайды.



9.1 сур. Діріл қабырғаларының құрылымы:

*a — механикалық; б — гидравликалық; в — электромагниттік;  
г — электродинамикалық*

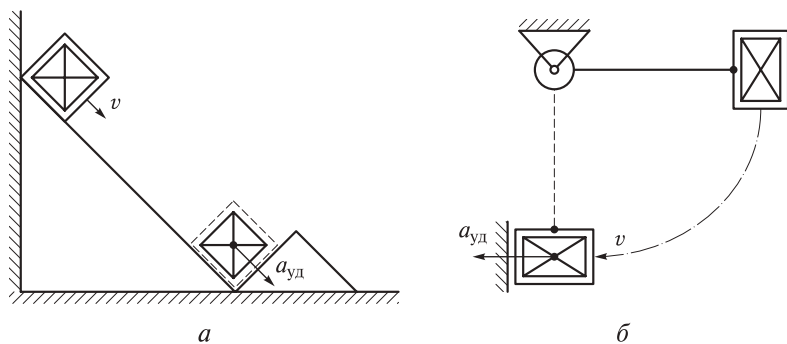
Өлшенетін жылдамдықтар диапазоны  $a = 0,01...400\ 000\ \text{м/с}^2$ ,  
туындау коэффициентінің мәні  $K_{\text{н}} = 0,05...40\ \text{мВ} \cdot \text{с}^2/\text{м}$ .

### ***Соққылар ықпалына тұрақтылыққа сынақтар***

Соққы қаттылығына сынақтар өткізген кезде өнімнің механикалық соққылардың бұзу әрекетіне қарсылық жасай білу қасиетін тексереді. Соққы қаттылығына сынақ жүргізу кезінде өнімнің механикалық соққылар әрекеті жағдайында өзінің қызметін орныдау қабілетін тексереді (олардың параметрлері сынақтың қаттылық дәрежесіне сәйкес беріледі).  $\tau_{\text{н}}$  соққы импульсінің ұзақтығы  $f_{\text{н.р.}}$ ;  $60...1000\ \text{Гц}$   $\tau_{\text{н}} = 1...18\ \text{мс}$ . диапазонында соққы ықпалына тұрақтылыққа сынақтар өткізу кезінде конструкциясы бойынша-механикалық, пневматикалық және электрлі динамикалық болып (қарсы күштің құру әдісі бойынша) тежеу немесе қатты айдау есебінен бөлінетін соққылық қабырғаларла қолданылады. Механикалық соққы қабырғаларының іс-әрекетінің принципі 9.2. суретінде көрсетілген.

Алдын ала қатты айдап жүргізілген  $v$  өнімін тежеген кезде оның кинетикалық энергиясы сөніп ақалады. Соққы ықпалының ұзақтығы соққы эжасайтын өнімнің тежеу ұзақтығынан және кедергілерден (пассивті фаза) тұрады.

Соққы импульсінің параметрлерін (ұзақтығы  $\tau_{\text{н}}$  және амплитуда  $a_{\text{уд}}$ ) арнайы прокладкалар жинағынан тұратын (крешерлер) және бүгіліп қалғандығына байланысты күшінің өзгеруіне тәуелділігімен сипатталатын тежегіш қондырғы анықтайды. Ұзақтығы  $0,5...5\ \text{мс}$



9.2 сур. Механикалық қабырғада соққы импульсін құру схемасы

А-копрлы, в -маятникті  
жартылай синусты соққы импульсін құру үшін ең қатты резиналы

прокладкалар қолданылады, ал ұзақтығы аз импульситарды құру үшін металдан жасалған прокладкалармен ауысатын винипласт немесе фторопласттан жасалған пластиналар қолданады.

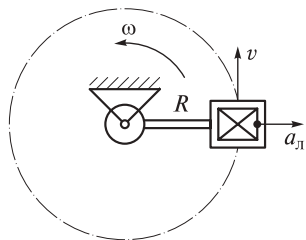
Отандық қабырғалардың жүк көтергіштігі 20...5 000 Н құрайды, соққы жылдамдығы  $e_{уд}$  — 150....3 000 g, соққы импульсінің ұзақтығы  $\tau_{и}$  — 0,1.40 мс.

### Желілі жылдамдықтардың ықпалына тұрақтылыққа сынақтар

Сынақтың бұл түрін центрифугада жүргізеді (сурет 9.3), ол а. Жылдамдығын радиалді түрде бағытталған көлденең жазықтықта құрады. Центрифугалар сым жүргізу типі бойынша (электрлі, гидравликалық, аралас) конструкция, жүк көтергіштік типі бойынша және ең жоғарғы желілі жылдамдық мәні бойынша бөлінеді. «Ц» типіндегі отандық центртфугалардың жүк көтергіштігі 1...100 кг құрайды; олар ықпал ету қалыңдығының талап етілетін дәрежесіне байланысты 500 g дейін желілі жылдамдықты құра алады.; қаттылықтың I дәрежесіне  $a_{л} = 10$  g; қаттылықтың VI дәрежесіне  $a_{л} = 500$  g сәйкес келеді. Сонымен бірге 500 g төмен жылдамдық үшін әрбір бағыт бойынша сынақ уақыты 3 минуттан аспау керек, ал 500 g жоғары жылдамдықтар үшін - 1 мин.

### Акустикалық шудың тұрақтылығына сынақтар

Сынақтарды бұйымның өз қызметін орындау және жоғары акустикалық шу жағдайларында бекітілген норма шектерінде параметрлерін сақтау қабілетін анықтау үшін жүргізеді. Осы түрінің ерекшеліктері болып табылады:



9.3 сур. Құру схемасы;

- Жиіліктердің кең спектрі: 20 Гц. 2 кГц;
- Уақыт және кеңістікте ықпал ету бойынша кездейсоқ сипатта болуы;
- Өнімнің қарқындылық деңгейіне, сондай-ақ оның алаңына байланысты бөлінген ықпал ету сипаты (резонанстар 1500.2 000 Гц жиіліктерінде пайда болады).

Ірі габаритті сынақтарды ашық қабырғада жұмыс жасап тұрған двигательмен бірге өткізеді. Сынақтарды сондай-ақ реверберациондық камералдарда жүргізеді. Олар дұрыс емес бес бұрыштық түрінде

жасалған, сол себепті оларда тепе тең акустикалық алаң құруға болады; дыбыс қысымының жоғары деңгейін алу үшін генераторларды пайдаланады. Бұлар ауаның (газ) кинетикалық энергиясын үлкен қуаты бар акустикалық энергияға аударады.

## 9.7. Сенімділікке сынақтар. Сынақ түрлері

РЭҚ сенімділікке сынақ жүргізген кезде сынақ әдістемесімен бекітілген жағдайларда РЭҚ жұмыс қабілеттілігіне үздіксіз бақылау нәтижелері бойынша санымдылық көрсеткішінің мәні анықталады.

РЭҚ сенімділікке сынау РЭҚ дайындау, қабылдау және жеткізу кезінде міндетті болып табылады. Оларды жүргізу әдістемесі мемлекеттік және салалық стандарттармен регламенттелген.

Сенімділікке сынақтар өткізу нәтижелері бойынша оған әсер ететін барлық қолайсыз факторлардың ықпалын ескере отырып бұйымның өнімнің сенімділігі туралы объективті ақпарат алуға болады.

Сынақтың бұл түрі үлкен шығындар мен уақытты, сондай-ақ өнімнің қорлары бөлігін талап етеді; сонымен қатар сынақ нәтижелері көп жағдайда «өткенмен байланысты» және пайдалану кезеңіне таратыла алмайды, әсіресе сенімділік көрсеткіштерінің бағаларын алу мәселесі негізгі болып табылатын ерекше өнімдер үшін төмендегі әдіспен шешеді: Уақыттың елеулі интервалдарында сенімділік көрсеткіштерінің тұрақтылығын қамтамасыз ету және оны сынақ өткізілгеннен кейін сынақ кезінде анықталған өнімнің сенімділігі сақталатын болуы тиіс;

- Сынақтың шектеулі көлемі негізінде сенімділік туралы ақпаратты алуға мүмкіндік беретін сынақ нәтижелерін өндеудің әртүрлі әдістерін қолдану ;

- Есеп және модельдеумен бірге өнімдермен сынақтар өткізу.
- Есептелген және модельденген болмыстық сынақтар.

Тұрақты технологиялық процеспен жалпы өндіріс өнімдері үшін сенімділік көрсеткіштерін басты бірігуінен іріктеп сынақтар бойынша анықтауға болады және олар барлық пайдалану кезеңіне таратылады.

Сынақтардың бағыты бойынша сенімділікті анықтау, бақылау және арнайы сынақ өткізу деп бөлуге болады.

Анықталатын сынақтардың мақсаты *сенімділік көрсеткіштерінің* нақты және интервалдық бағалау.

Бағалаудың *нақты бағасын* алу бөлу параметрлерінің статистикалық бағасымен байланысты (сенімділік көрсеткішін), ал бұл көрсеткіш кездейсоқ шама болып табылады. Нақты бағалау сапасының критерийлері болып табылатындар : ауыспауы (бағалаудың математикалық күтілетін болжамы бағаланатын параметрмен сәйкес

келеді, өзіндік қабілеті ( шексіз бақылау саны өсуі кезінде баға бағаланатын парметрге ықтмалдылық бойынша беріледі) және тиімділік (бағаның дисперсиясы кейбір берілген мәннен аспайды). Параметрлердің нақты бағаланауы үшін сәттер әдісі мен ең жоғарғы шындық әдістері және графикалық әдіс қолданылады.

Бөлу параметрлерінің интервалдық бағалануы кезінде сенім интервалының шекаралары бағаланады, оның ішінде сенімділік ықтималдылығы  $P=1-\alpha$  болған кезде сәйкес параметрдің нағыз мәні болады. Мысалы, үлгілік бөліп көрсету үшін сенім интервалы қарсылық жасауға орташа жұмыс үшін  $m_T$  (сурет 9.4) бірдей ықтималдылықта  $0,5\alpha$  болғанда төменгі  $m_{Tn}$  және жоғарғы  $m_{Tb}$  шекаралар мынаны құрайды

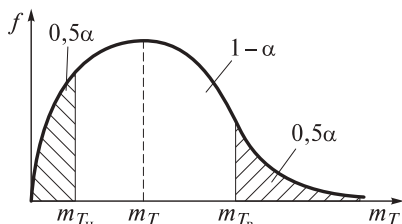
$$\frac{2T_{\Sigma r}}{X_{0,5\alpha}^2} < m_T < \frac{2T_{\Sigma r}}{X_{1-0,5\alpha}^2}$$

Бұл жерде  $X_{0,5\alpha}^2, X_{1-0,5\alpha}^2$  — бөлу квантильдері  $\%2$  ал еркіндік дәрежесінің саны  $k = 2r$  ( $r$  — жұмыс жасамай қалған өнімдер саны) тиісінше  $P=0,5\alpha$  және  $P=1-0,5\alpha$  үшін сәйкес келеді.

Анықтау сынақтары барысында алынған өңделген статистикалық деректер өнімнің сенімділігінің *апостериорлық талдауы үшін* негіз болып табылады. Әдетте, анықтау немесе нақтылау үшін бұрын белгілі немесе қабылданған математикалық бас тарту үлгілері жатады.

Сынақ уақыты шектеулі болған жағдайларда (әсіресе жылдамдатылған сынақтарда) іріктеме мөлшерлері де шектеулі болады, сондықтан талдау ерекшелігі- сенімділік көрсеткіштерін анықтау үшін осы іріктемелерді жақсы пайдалан білу .

Бақылау сынақтарының нәтижелері бойынша кейбір белгілері бойынша және берілген тәуекелдікке байланысты сенімділік деңгейі бойынша жарамды топқа жатқызады я болмаса жарамсыз топқа жатқызады. Ондай белгілер болып табылатын: берілген уақыт интервалдарында бас тартулардың болмауы, немесе кездейсоқ уақыт сәттеріндегі бас тартулар.



9.4 сур. Токтап қалуға орташа жұмысқа арналған тығыздық функциясы

1. Бұйымның сенімділігін бағалау кезінде бірінші белгісі бойынша ұзақтығы  $7_{ii}$  сынақтарға  $N$  қояды. Егер сынақтар кезінде бас тартулар (тоқтап қалмаса) болмаса, онда бұйымды сенімділік бойынша талаптарды қанағаттандырады деп санайды. Берілген  $N$  4 мәні немесе берілген 4 мәніндегі  $N$  төмендегі

формулалар бойынша анықтайды:

$$t_n = t_p/N; N = tp/t_n,$$

Бұл жерде  $t_p = 0,5T_n X^2_B$  ( $k = 2$ ) немесе  $t_p = 0,5T_B X^2_1$  ( $k = 0$ ) — сынақ кезінде бұйым жұмысының жалпы істелген жұмысы;  $T_n, T_B$  — тиісінше, төменгі және жоғарғы мәні  $T_{cp}$ , бұлар тоқтап қалулар болмаған кезде сынақтармен расталған; —  $x^2$  сенім интервалының  $x^2$  жоғарғы мәні жұмыс тоқтап қалған кезде тиісті сенім ықтималдылығы нөлге тең;  $x^2$  сенім интервалының  $X^2_n$  — төменгі мәні, берліген жұмыс тоқтап қалғанда тиісті сенімділік ықтималдылығы.

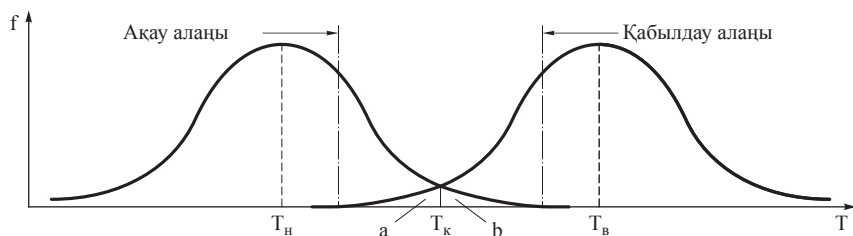
2. Екінші белгісі бойынша бұйымдардың сенімділігін бағалауда алдын ала сынақтың ұзақтығын бекітпейді, оны кейінгі кезеңдерге бөле отырып әрбір кезеңде нәтижені талдайды және келесі шешімдердің біреуін қабылдайды:

- Сынақты тоқтату туралы, себебі бұйым сенімділік талаптарын қанағаттандырады деуге негіз бар;
- Сынақты тоқтату туралы, себебі бұйым сенімділік талаптарын қанағаттандырмайды деуге негіз бар;
- Сынақтарды жалғастыру, себебі бұйымның сенімділігі туралы қорытынды шығаруға негіз жоқ.

Қорытындыларды өңдеу негізінде бұйымды олардың белгілі бір топқа жатқызылуына гипотезаны тексеру негізінде жарамды немесе жарамсыз топтарға жатқызу жатыр.

Ондай топтар саны 2. Бірінші топқа кіретіндер-азықтималдылықпен ақаулары барларға жатқызылатындар а — жеткізушінің тәуекелдігі немесе 1 топқа жатқызылатын қате. риск поставщика или ошибка I рода. Екінші топқа аз ықтималдылықпен жіберілетін өнімдер жатады - в — тапсырыс берушінің тәуекелділігі немесе II-ші топты қате (сурет 9.5).

Осы түріндегі сынақты дәйекті талдауға негізделген сынақтар деп атайды. Олардың ерекшеліктері сынақтарды өткізу кезеңдерінің дәйектілігі және олардың саны



9.5 сур. Сынақ қорытындылары бойынша өнімнің жарамдылық гипотезасын тексеру

Алынған нәтижелерге байланысты, сондай ақ сынақ басталғанға дейін бекітілетін  $\alpha$  және  $\beta$  тәуекелділіктерімен бірге сенімділіктің екі деңгейінің болуы.

Бақылау сынақтарының қорытындылары бойынша мысалы келесі қорытынды жасауға болады: *жеткізушінің тәуекелділігі бар бұйым (яғни, жарамдыларын ақауы бар деп бағалау ықтималдылығы), бұл 0,2 тең, және тапсырыс берушінің тәуекелділігі (яғни жарамсызды жарамды деп қабылдау ықтималдылығы), 0,03 тең*, жарамдылар тобына жатқызылуы мүмкін. Бұл анықтау сынақтарына қарағанда ең аз ақпаратты нәтиже алайда оны ол нәтиже сынақтардың аз көлемін талап етеді және қойылатын талаптарды жиі қанағаттандырады.

РЭҚ сенімділікке сынақтар пайдалану жағдайларын жасанды тудыратын кездерде бұйымның жұмыс жасамай тоқтап қалу уақытын бекіту үшін жүргізеді. Сынақтардың ұзақтығы ПЭС техникалық шарттарда көрсетілген үздіксіз жұмыс уақытына тең болуы тиіс. Сынақ түрлері бойынша осы уақыт түрлерін бөлу әртүрлі болуы мүмкін. Мысалы, корабельді РЭҚ үшін сынақтарды келесі тәртіпте жүргізеді және сынақтың салыстырмалы уақытын бөлу кезінде жүргізеді: қалыпты температурада (10 %) — діріл ықпал еткен кезде (10 %) — жоғарғы температура кезінде (10 %) — жоғары ылғалдылық ықпал еткен кезде (10 %) — төменгі температурада (10 %) — қалыпты температурада (50 %).

Сынақ нәтижелері бойынша үздіксіз жұмыс ықтималдылығы бағаланады

$$P(t) = \{n - m(t)\} / n,$$

Бұл жерде  $n$  — сынаққа қойылған өнім үлгілерінің саны,  $m$  —  $t$  сәтіне жұмыс жасамай тоқтап қалған өнімдер саны.

РЭҚ уақыт кезеңінде жұмыс жасамай тоқтау қарқындылығын бөлу заңы белгілі болса сынақ мерзімін азайтуға болады. Сынақ өткізу кезеңінде үздіксіз жұмыс ықтималдылығын анықтап алғаннан кейін бөлудің белгілі функциясы бойынша РЭҚ кепілдікті жұмыс кезеңі үшін үздіксіз жұмыс жасау ықтималдылығын табады.

Сенімділік көрсеткіштерін экспериментті түрде растау өте күрделі тапсырма. РЭҚ қарқынды жұмыс жасамай тұрып қалу мәнін анықтау немесе растау үшін  $\lambda = 1 \cdot 10^{-7}$  1/с, 10 жыл ішінде 1 000 өнімді сынақтан өткізу қажет. Осындай сынақтардың қиындығы мен жұмсалатын бағасы өте жоғары, ал алынатын ақпарат үздіксіз көнере береді. Сондықтан жеделдетілген сынақ өткізіледі немесе үлгілер негізінде сенімділікке болджам жасайды.

*Жылдамдатылған сынақтар* - ықпал ететін факторлар параметрлері мәні қалыпты факторлар параметрлерінен біршама жоғары болатын сынақтардың жеделдетілген режисмі кезінде орындалады. Бұл құлдырау процестерінің жеделдетілуіне әкеліп соқтырады және

өнім мерзімінен бұрын тоқтап қалады. Жеделдетілген сынақтардың нәтижелерін есептеу үшін сынақтардың қарқынды режимдерін кезінде РЭҚ сенімділігінің сипаттамалары өзгерісін суреттейтін заңдарды білу қажет, мысалы  $P(t_u, T_{\phi}, \rho_{\phi}, \varphi_{\phi}, \dots) = f[P(t_u, T_{\phi}, \rho_{\phi}, \varphi_{\phi}, \dots)]$ , бұл жерде  $P(t_u, T_{\phi}, \rho_{\phi}, \varphi_{\phi}, \dots)$  — РЭҚ кепілдік уақыты кезінде  $t_r$  берілген температурада үздіксіз жұмыс жасау және пайдалану  $T_3$ , берілген ауа қысымында  $p_3$ , берілген ылғалдылықта  $\varphi_3$  және сыртқы ортаның басқа берілген факторларында РЭҚ үздіксіз жұмыс жасау ықтималдылығы;  $P(t_u, T_{\phi}, \rho_{\phi}, \varphi_{\phi}, \dots)$  — РЭҚ қарқынды пайдалану режимі мен сынақ уақытында үздіксіз жұмыс жасау ықтималдылығы

4- Бұл бағыныштылықты РЭҚ көптеген сынақтарының нәтижелерін статистикалық талдау негізінде, тапсырыс берушіден РЭҚ жұмыс жасамай тоқтап қалуы туралы келіп түсекн мәліметтерді талдау негізінде алуға болады.

Математикалық, статистикалық және физикалық-химиялық модельдер негізінде сенімділікті болжау әдісі РЭҚ сенімділігі өскен сайын үлкен мәнге ие бола береді. Бұл әдіссыртқы орта факторлары ықпал жасаған кезде РЭҚ конструкцияларының әртүрлі элементтерінде өтетін құлдырау процестерінің модельдерін құруға негізделген. Мысалы, теңіздегі тұзды тұман кезінде ПП пайдаланған кезде ылғал мен тұз қорғайтын лакталған жабудан кіріп ПП жоғарғы қабатында электролиттік пленка пайда болады ПП көршілес проводниктері арасында тұрақты қысым пайда болып электрохимиялық процесс жүреді және мыс атомдары катодқа ауысады. Бағыттағыш толық бұзылған кезде тоқтап қалады. Барлық болатын көріністер (лакталған пленкадан өтіп заттың диффузиялануы, заттың электрохимиялық ауысу) белгілі заңдармен шынайы суреттелген, ал бұл болса жалпы модельді құруға және пайдаланудың белгілі уақытында проводниктің толық бұзылу уақытын есептеуге мүмкіндік береді.

### Бақылау сұрақтары

1. Сынақтарды өткізу кезінде қандай мақсаттарға қол жеткізіледі?
2. РЭҚ ықпал етудің қандай түріне тұрақтылыққа сынақтар өткізеді?
3. Сынақ түрлерінің негізгі сыныптауыштық белгілерін атаңыз.
4. Ықпал ету қаттылығы дәрежесі дегеніміз не?
5. РЭҚ термо сынақтарын өткізу үшін қандай құралдарды пайдаланады?
6. Ылғалды тұрақтылыққа циклдік сынақтарды не үшін өткізеді?
7. Діріл қабырғалары жұмысының принциптерін түсіндіріңіз.
8. Механикалық соққы қабырғаларының принциптерін түсіндіріңіз.
9. Іріктеме көлемі сенімділікке сынақ нәтижелеріне қалай ықпал етеді?
10. «Тапсырыс берушінің тәуекелділігі» и «жеткізушінің тәуекелділігі» деген не?
11. Сенімділікке жүргізілетін «жеделдетілген» сынақтар мәні неде?

### РАДИОЭЛЕКТРОНДЫ ҚҰРАЛДАРДЫ ӨНДІРУ

#### 10 Бөлім

#### Радиоэлектронды құралдарды өндірудің технологиялық жүйелері

##### 10.1. Өндірістік процесс құрылымы.

##### РЭҚ дайындаудың технологиялық операцияларының сыныптамасы.

Заманауи радиоэлектроникаға тән нәрсе - бұйымның сапасына қойылатын және үнемі өсіп тұратын талаптар, номенклатураның тех өзгеруі, бұйымконструкцияларының қиындатылуы. Сонымен бірге қалыпты бағасы бар өнімнің жоғары сапасын қамтамасыз етуі және бір өнім өндірісінен екінші бұйым өндірісіне тез ауысуға мүмкіндік беретін басқа да тұтынушылық қасиеттері бар радиоаппаратура дайындау технологиясының мәні өседі.

Технология — нақты өнім шығару үшін білім мен өндірістік мүмкіндіктердің бірігуі.

Технология ( *грек. сөзінен* *techne* — өнер, біліктілік, машық) — материалдардың, жартылай фабрикаттарды, өнімдерді өңдеу және бақылаудың әдістерінің, тәсілдерінің бірігуі. РЭҚ өндірудің заманауи технологиялық процесі – бұл шығарылатын өнімдерді дайындау, жинау және сынақтан өткізу операцияларының кешені [23].

*Өндірістік процесс* — технологиялық құрал-жабдықтар мен өнімді- өндіріс бұйымын дайындайтын адамдардың бірігуі. Оған кіретіндер: өндірістің технологиялық дайындығы, өнімді дайындау, жинау, сапасын бақылау, жұмыс орындарын қамтамасыз ету және қызмет көрсету, өндірістік процестердің барлық бөлімдерін басқару. Радиоэлектронды бұйымды дайындаудың өндірістік процесі —оның өмірлік циклінің бөлігі болып табылады (10.1 сур).

Радиоэлектронды бұйымды дайындаудың өмірлік циклінің барлық кезеңдерінде қалыптастырылатын мәліметтер кәсіпорынның бірегей ақпараттық орталығында сақталады. Осы жерде сондай-ақ өнімнің өмірлік циклі кезеңінің шешімдерін жүзеге асыру кезінде пайдаланылатын бағдарламалық қамтамасыздық та сақталады. Технологиялық шешімдерді шешу кезінде бұл бағдарламалық қамтамасыздық қажет:

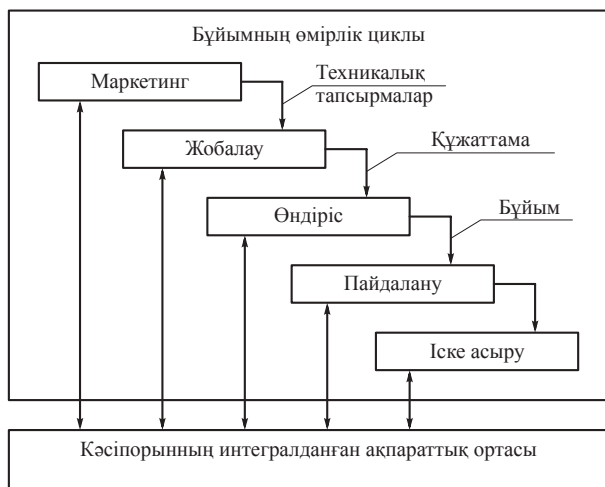
- Технологиялық құжаттамаларды құру үшін;
- Технологиялық негізді дайындау үшін;
- Автоматты технологиялық құрал-жабдыққа арналған басқару бағдарламаларын құру үшін.

Кәсіпорынның ақпараттық орталығында бұрын құрылған технологиялық құжаттар да сақталады. Ол кейін жаңа өнімді ойлап табу кезінде технологиялық құжаттарды дайындауда пайдаланылуы мүмкін.

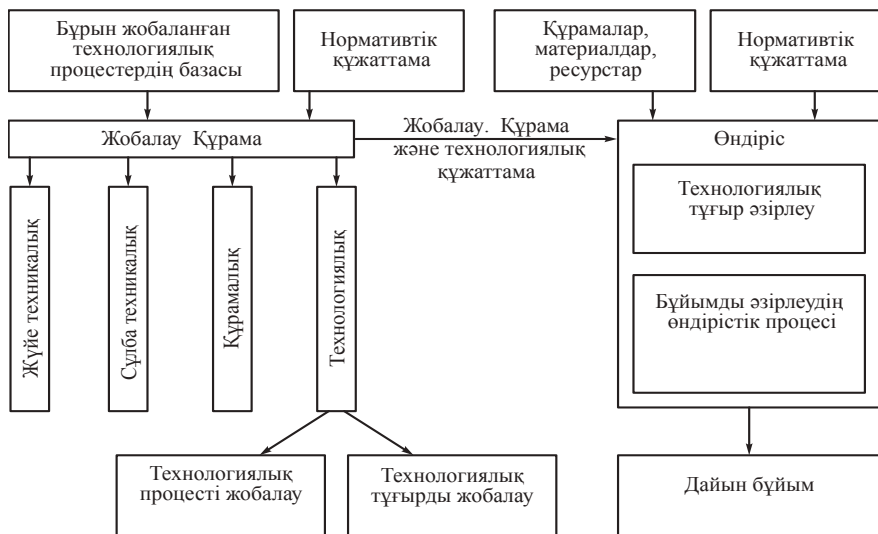
ТЗ негізінде дайындалған жүйетехникалық, сұлбатехникалық және конструкторлық жобалау кезеңінде технологиялық шешімдерді шешуде (сурет 10.2) технологиялық процесті жобалау жүзеге асырылады технологиялық құжаттар жасалады. Сонымен бірге бұрын құрылған технологиялық құжаттар мен нормативтік құжаттарды— стандарттарды, техникалық жағдайларды пайдаланады.

Өндірістік процестердің бірнеше түрін бөледі — негізгі, қосымша, қызмет көрсететін (10.3 сур). Өндіріс кезеңінде конструкторлық және технологиялық құжаттар негізінде технологиялық тұғыр дайындалады және радиоэлектронды бұйымдар дайындаудың негізгі өндірістік процестері орындалады.

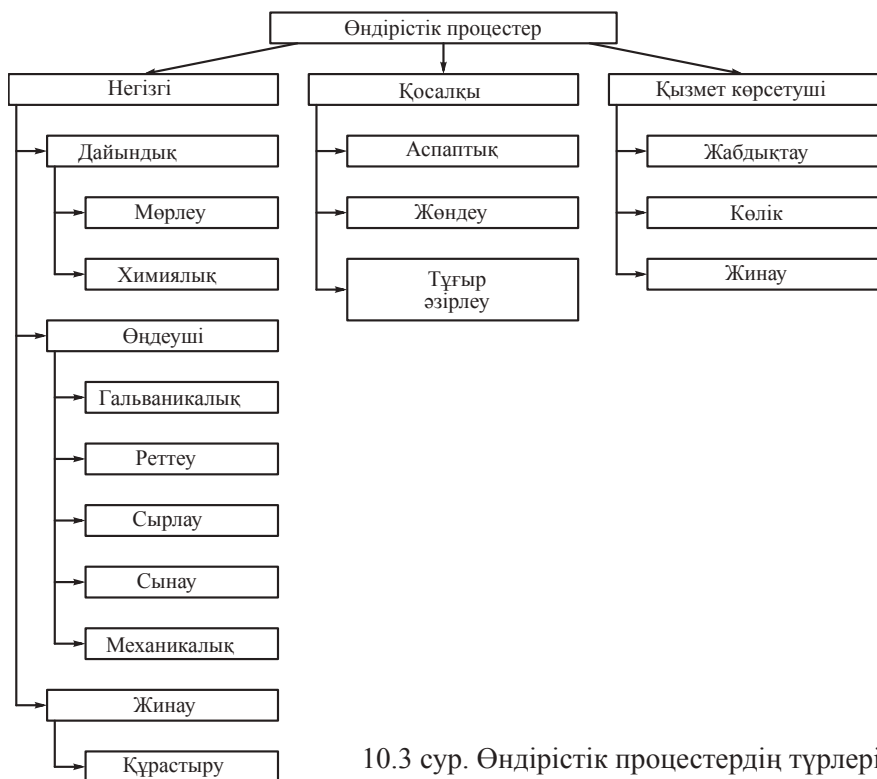
Негізгі өндірістік процестер кәсіпорынның негізгі бұйымын құрады. Қосымша өндірістік процестер негізгі өндірістік процестердің қалыпты ағымын қамтамасыз етеді. Қызмет көрсететін өндірістік процестер негізгі және қосымша процестерге көмектеседі.



10.1 сур. Бұйымның өмірлік цикліндегі өндірістік процестің орыны



10.2 сур. Өнімді құрудың жобалық және өндірістік кезеңдері



10.3 сур. Өндірістік процестердің түрлері

*Технологиялық процесс* (ТП) ГОСТ 3.1109 сәйкес өндірістік процестің бір бөлігі болып табылады және ол жекелеген бөліктерін дайындау, оларды жинау, бақылау және сынақтан өткішумен тікелей байланысты. Технологиялық процесс — жағдай өзгерісі операциялары мен өндіріс затының өзгерісін анықтау операцияларының бірігуі. Жағдайының өзгеру *операциялары* — өңдеу операциялары, материалдар мен жинақталатын өнімдерді дайын бұйымға айналдыру бойынша технологиялық операциялар. *Өндіріс затының жағдайын анықтау операциялары* — кжартылай фабрикааттар мен параметрлері мен дайын өнімдердің қойылатын талаптарға сәйкестігі тексерілетін бақылау операциялары.

Технологиялық процесс өнімге (желілі емес ақауларды өлшейтін құралды дайындаудағы технологиялық процесс), оның құрамдас бөлігіне (анттенна вибраторын дайындаудың технологиялық процессі) немесе өңдеу, жинақтау және бақылау әдістерін (цифрлық блоқты бақылаудың технологиялық процесі) жатқызылуы мүмкін .

ТП құрамдас бөліктері болып табылатын технологиялық операциялар (ТО). *Технологиялық операция* (ГОСТ 3.1109) — ТП аяқталған бөлігі, ол бір жұмыс орынында белгілі технологиялық құрал жабдықты өзгертпей және белгілі бір технологиялық құралды пайдалана отырып орындалады.

Өндірістік процестер өнім номенклатурасының кеңдігіне және өнімді шығару көлеміне байланысты төмендегілерге бөлінеді

10.1 кесте

| ТП көрсеткіші                     | Өндіріс типі    |                                 |                            |
|-----------------------------------|-----------------|---------------------------------|----------------------------|
|                                   | бірегей         | топтамалы                       | жалпы                      |
| партия көлемі, дана.              | 1... 1 000      | 1000.1000000                    | более 1 000 000            |
| Өнімдер номенклатурасы            | Кең таратылымды | Шектеулі                        | Өте аз (тар)               |
| Өнім шығарылуының кезеңділігі     | Жоқ             | Кезеңдік партиялар              | Үздіксіз шығарылым         |
| Жұмысшылар квалификациясы         | Жоғары          | Орта                            | Төмен                      |
| Жұмыс орындарының мамандандырылуы | Жоқ             | Бірнеше операцияларды орындауға | Әрбір операцияны орындауға |
| Технологиялық құралдар            | Әмбебап         | Мамандандырылған                | Аз мамандандырылған        |

(ГОСТ 14.004): бірегей өндіріс, топтамалық және жалпы.

*Бірегей өндіріс бұйымның аз өндірілуімен сипатталады* (біреу, он дана) және тиісінше мол номенклатура болады. Бұл жоғары білікті жұмысшыларды, әртүрлі өнім өндіруге арналған қымбат әмбебап құрал-жабдықтарды талап етеді. Өндірістің осы түрі механизациясының төменгі деңгейімен, және жоғары өзіндік құнымен сипатталады. (кесте 10.1).

*Топтамалы өндіріс* х кезең сайын қайталанатын партиялар дайындайтын өнімнің шектеулі номенклатурасымен сипатталады. Партиядағы бұйым түрлеріне байланысты ұсақ, орта және ірі топтамалы өндіріске бөлінеді. Өндірістің осы типінде әмбебап және арнайы мамандандырылған құрал-жабдық пайдаланылады және олар өндірістің арнайы мамандандырылған учаскесінде топталады.

*Жаппай өндіріс өндірістің өте үлкен көлемімен сипатталады және бұйымның номенклатурасы аз болады..* Өндірістің бұл түрінде тек арнайы мамандандырылған өнімділігі жоғары құрал-жабдықтар пайдаланылып, автоматталған өндірістік жүйелер кеңінен пайдаланылады. Өндірістің бұл типі өнімнің ең төмен өзіндік құнымен сипатталады.

Радиоаппаратура шығаратын кәсіпорындарда өндірістің барлық типтері кездеседі. Мысалы, жекелеген операцияларға арналған құралдарды дайындайтын аспапты цехты бірегей өндіріске жатқызуға болады. ПП арналған байланыс жапырақтарын өндіру өндірістің жаппай типі болуы мүмкін, ал ПП өзін өндіру (оған жинақтау бірліктерінен басқа жапырақтар орнатылады) бірегей, топтамалы немесе жаппай болуы мүмкін.

Әмбебаптық дәрежесі мен қолданылуына қарай бірегей және типтік ТП деп бөлінеді. *Бірегей* ТП — бір атауы бар, бір тип мөлшерлемедегі және өндіріс типіне байнаыссыз орындалған өнімді дайындау процесі (мысалы, мониторлық беткі панелін дайындаудың технологиялық процесі). Бірегей ТП әмбебап емес, оны басқа өнімдер үшін пайдалануға болмайды.

Әмбабаптылықтың жоғары дәрежелігімен сипатталатын *типтік* ТП, ол өнімдердің кең түріне арналып дайындалады. Мысал болып табылатын ОСТ ГО.054.076 «Металдық және металдық емес органикалық емес жабулар. Типтік технологиялық процестер», оларда мыстың, мырыштың, никельдің, хром мен басқа да материалдың пленкасын металдың бөліктеріне жабудың типтік процестері суреттелген. Бұл бөлшектерді техниканың әртүрлі салаларында пайдалануға болады- машина жасауда, прибор құруда, радиоаппаратураның әртүрлі конструкцияларын дайындау, алайда оларға жабу дайындау ТП типтік болып табылады. Типтік

ТП пайдалану өндірісті дайындауға жұмсалатын мерзім мен шығындарды елеулі қысқартуға мүмкіндік береді және өнімнің сенімділігін жоғарылатады. Ресейде типтік ТП көп саны дайындалған, олар радиоаппаратура дайындауда қолданылады- бөліктерін оралған қағазынан ашудан бастап дайын өнімдері сынақтан өткізгенге дейін.

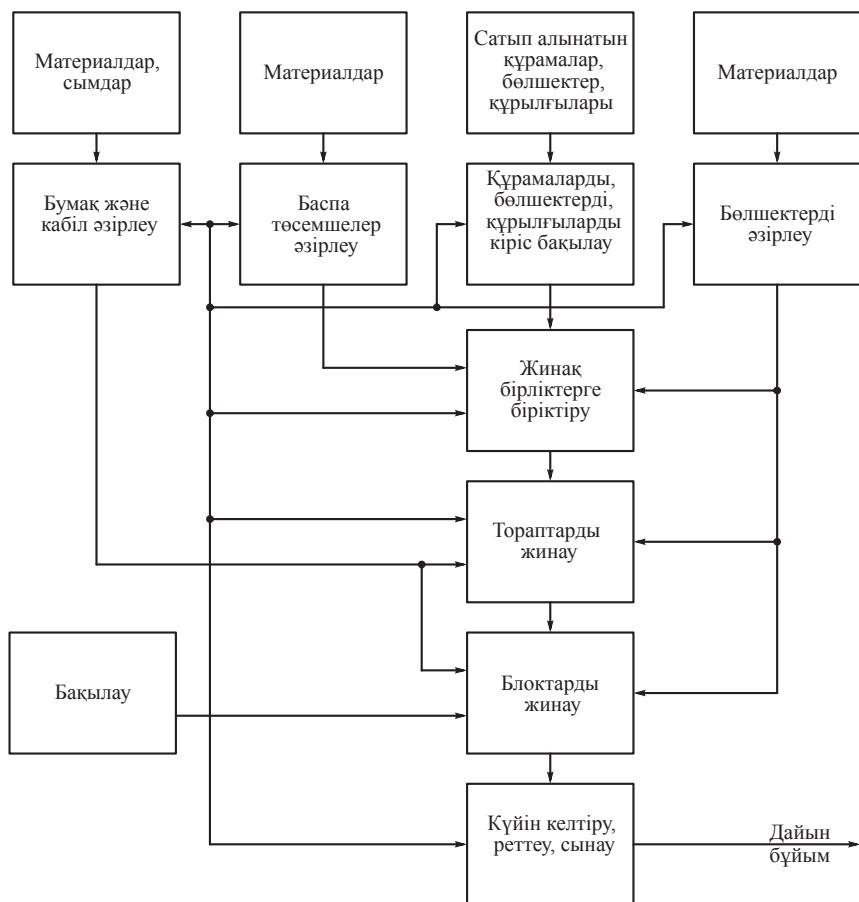
РЭҚ дамуының заманауи кезеңі жаңа конструктивті-технологиялық шешімдердің үнемі пайда болуымен сипатталады, ал бұл өнімнің жийе жаңаруына және топтамалық шығарылымның төмендеуіне әкеледі. Осындай жағдайларда ТП икемділігінің мәні зор- өндірістік жүйенің РЭҚ басқа үлгісін шығаруға тез бейімделуі және конструкторлық-технологиялық шешімдер өзгерістері. Ол үшін икемді автоматталған өндірістер (ИАӨ) өндіріледі. Олар - кешенді –автоматтандырылған, ЭВМ басқарылатын тез икемделетін типтік модульдер негізінде құрылған учаскелер, цехтар, зауыттар. ИАӨ жалғасып құрылған көліктік-қоймалық жүйелер және автоматталған өндірісті басқару жүйелері болады.

РЭҚ дайындау ТП әртүрлі технологиялық құрал-жабдықтарда орындалатын технологиялық операциялардың үлкен санынан тұратын күрделі жүйені білдіреді. 10.4 суретте РЭҚ дайындаудың технологиялық операцияларының шамалық дәйектілігі көрсетілген.

ТП бастапқы кезеңінде РЭҚ конструкцияларының бөлшектерін – корпустарын, кронштейндерін, жақшаларды және т.б. дайындау жүзеге асырылады. Ол үшін басқа салалардан (машина жасау, прибор құру) уақытша алынған конструкцияндық материалдарды өндеудің әртүрлі әдістері және РЭҚ бөлшектерін өндіруге арналған іс-әрекеттер-пластмассалар құю, табақ штамптау, фрезерлеу және механикалық өндеудің басқа да тәсілдері пайдаланылады. Сонымен бір мезгілде жеке өндіріс бөлшектері де дайындалуы мүмкін— трансформаторлар, дроссельдер, индуктивтілік катушкалары және т.б.

Барлық сатып алынатын компоненттері кіріс бақылауынан өтуі қажет, соның барысында олардың параметрлерінің талап қойылатын мәндер параметрлеріне сәйкестігін анықтайды. Бұл бақылау (14 бөлімді қараңыз) әртүрлі деңгейде орындалуы мүмкін – визуальды қарапайым бақылаудан тиісті сынақ құралдар пайдаланумен байланысты күрделі сынақтарға дейін орындалуы мүмкін.

Күрделі ТП-мен бірге ПП (12 бөлімді қараңыз), бумақтар және бірігу кабіндерін дайындайды. ТП келесі кезеңдері жинақтаушы — бөлшектері мен құрамаларынан модульдерді, желілерді, блоктарды, тіреулерді жинайды. Дайын өнімді реттейді, сынақтан өткізеді, дайындайды (пайдалану жағдайларын жасанды құру кезінде жұмысқа қабілетін тексереді).



10.4 сур. РЭҚ әзірлеудің технологиялық операциялары

РЭҚ дайындауда бақылау операцияларының мәні зор. Бақылауды әрбір операция аяқталған соң қызметкер өзі жүргізеді. Маңызды ТО жекелеген бақылау операциялары. Араны мамандар орындайды.

ТРЭҚ өндіруде жекелеген операциялардың қиындығы ең алдымен РЭҚ күрделілігіне және конструктивті технологиялық ерекшеліктеріне байланысты.

Жекелеген технологиялық операциялардың қиындығы (жалпы қиындығынан %) төмендегіні құрайды:

- РЭҚ конструкцияларының бөлшектерін дайындау — 5...15 %;
- Тораптарын, модулдерін, блоктарын дайындау — 10.20%;
- Электрлі құрастыру — 40.60%;
- Реттеу, бақылау, сынақ жүргізу — 20 . 25 %.

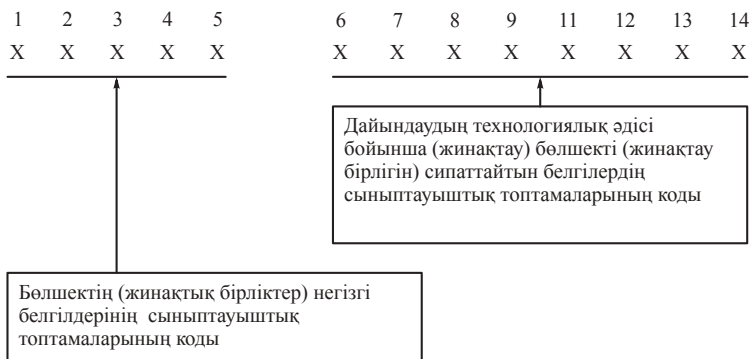
10.4 суретте берілген өндірістік процестің құрылымы жалпы болып табылады – дайындайтын, өңдейтін және жинақтайтын цехтары бар толық технологиялық циклді бар завод. Өндірістік циклдің басқа құрылымдары да бар. РЭҚ өндірісінде жекелеген узелдер (ПП негізделген трансформаторлар мен дросселдер), бөлшектері (РЭҚ құрамаларының кешендері, пластмассалық бөлшектер, қыстыратын өнімдері — болттар, гайкалар), ПП монтажын орындайтын немесе өнімді толық жинайтын арнайы мамандандырылған цехтар мен учаскелер бар.

Өндірістік ұйымдардың бұл типтері контракттылы өндіріс деген атқа ие болды (осылай әрбір тапсырысқа өзінің техникалық параметрлері бар бөлек шарт ресімделеді). Өндірістік ұйымдардың осы типінде төмендегі принцип іс асырылады: егер дүние жүзінде барлығынан күшті жасай алмасаң негізгі бизнеске зияныңды тигізбе.

Электронды құралдар технологиясында көптеген ТП пайдаланылады. ТП жобалау шешімдерін шешу үшін өте маңызды ТП сыныптауышы. Ол тақырыптық іздестіру мен бұрын ТП өңделгендерді пайдалануға мүмкіндік береді, жобалық және өндірістік қызметтің ақпараттық қамтамасыз етілуін жеңілдетеді.

ТП сыныптамалары — реттелеген құрылым түріндегі көптеген ТП туралы ақпаратты бір жүйеге келтіру. ТР сыныптауышы технолог пен конструкторға ТП туралы қызығушылық тудыратын ақпаратқа тез жетуге мүмкіндік беретін баспалдақты құрылымға итереді.

ТП таңдап алынған сыныптауыштық белгілері бойынша сыныпқа бөлген кезде әртүрлі сыныптауыштар құрылуы мүмкін. Ең жақсы дайындалған машина жасау мен прибор құрудың жинақталған бірліктерінің жалпы ресейлік технологиялық сыныптауышы және ол Ресей Федерациясының техникалық-экономикалық және әлеуметтік ақпарат сыныптауышы мен кодталуының Бірыңғай жүйесінің құрамдас бөлігі болып табылады 022 — 95.



10.5 сур. Бұйымның технологиялық кодының құрылымы

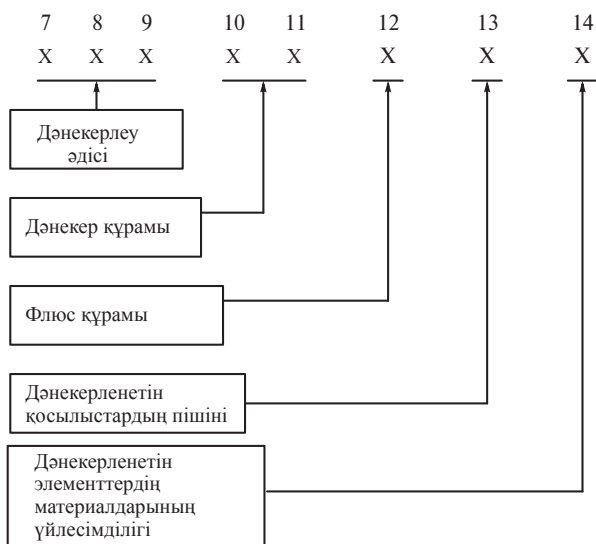
| ОТКСЕ<br>алтыншы<br>разрядының<br>коды | Жинақталған бірліктер түрі  | технологиялық белгісі<br>бойынша жинақталған<br>бірліктер түрі |
|----------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 1                                      | Ажырамайтын                 | Дәнекерленген                                                  |
| 2                                      |                             | Паяные                                                         |
| 3                                      |                             | Желімделген                                                    |
| 4                                      |                             | Клапанды                                                       |
| 5                                      |                             | тығыздатылған                                                  |
| 6                                      |                             | Шырайналдырылған                                               |
| 7                                      |                             | пішінделген                                                    |
| 8                                      |                             | тігілген                                                       |
| 9                                      |                             | Жгут салынған                                                  |
| А                                      |                             | Электрмонтаждалған                                             |
| Б                                      |                             | Оратылған                                                      |
| В                                      |                             | Аралас                                                         |
| Г                                      |                             |                                                                |
| Д                                      | Ажыратылатын, қозғалмайтын  | Кесілген                                                       |
| Е                                      |                             | Штифтелген                                                     |
| Ж                                      |                             | Түймеленген                                                    |
| И                                      |                             | Байонетті                                                      |
| К                                      |                             | Аралас                                                         |
| Л                                      |                             | Басқа                                                          |
| М                                      | Ажыратылатын, қозғалатын    | Тікежелілі                                                     |
| Н                                      |                             | Айналмалы                                                      |
| П                                      |                             | Аралас                                                         |
| Р                                      |                             | Басқа                                                          |
| С                                      | Ажыратылатын-ажыратылмайтын | Бүгілген                                                       |
| Т                                      |                             | Қысқыштық                                                      |
| У                                      |                             | Тежеуіштік                                                     |
| Ф                                      |                             | Аралас                                                         |
| Ц                                      |                             | Басқа                                                          |

Жинақтау бірліктерінің Жалпы ресейлік технологиялық сыныптауышы (ОТКСЕ) өнім сыныптауыштары және машина жасау мен прибор құрудың конструкторлық құжаттарымен бірге топтарға бөлу параметрлері бойынша келісілген.

ОТКСЕ құру дайындаудың технологиялық әдісі бойынша (жинақтау) бөлшектерін бөлуге негізделген (жинақтау бірліктері). Әрбір бөлігіне (жинақтау бірлігіне) ОТКСЕ жүйесінде (10.5 сур.) 14 разрядты кодтық технологиялық белгі беріледі. Кодтың бірінші бес разряды бөлшектің мөлшерлік және жалпы сипаттамасын, бөлшек күрделілігінің сипаттамасын (жинақталған бірліктер) көрсетеді.

Келесі тоғыз разрядтар бөлшектің дайындалуының технологиялық әдісін сипаттайды (жинақтау бірліктері). Сыныптауыштар үшін әрбір разрядында орыс алфавитінің әріптері мен сандары пайдаланылады, кейбіреулерінен басқасы (о, з, х и др.). Алтыншы разряд сыныптауышының мысалы 10.2 кестеде келтірілген.

Қалған оң разрядтар ТП одан да гөрі толық сыныптайды. 10.6 суретте мысал үшін дәнекерлеумен дайындалатын жинақтау бірліктерінің технологиялық сыныптауышы көрсетілген. 10.3 кестеде ТП сыныптауышы ОТКСЕ жетінші, сегізінші және тоғызыншы разрядтарына сәйкес келтірілген.



10.6 сур. Бұйымның технологиялық коды құрылымында ТП қалайылауды сыныптамаалау белгілері

| ОТКСЕ<br>разрядтарының<br>7, 8,9 коды | ТП атауы                                                  | Қалайылау әдісі                                  |
|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 011                                   | Дайын дәнекермен дәнекерлеу                               | Жылумен түйісу                                   |
| 012                                   |                                                           | Газжалынды                                       |
| 013                                   |                                                           | Индукционды                                      |
| 014                                   |                                                           | Пеште                                            |
| 015                                   |                                                           | Электркедергімен                                 |
| 016                                   |                                                           | Доғалық                                          |
| 017                                   |                                                           | Экзотермиялық                                    |
| 018                                   |                                                           | Дәнекер толқынымен                               |
| 019                                   |                                                           | Балқытылған дәнекерге салумен                    |
| 021                                   |                                                           | Балқытылған тұзға тоғытумен                      |
| 022                                   |                                                           | Плазмалы                                         |
| 035                                   | Дайын дәнекермен дәнекерлеу, флюсті бейтарап газды ортада | Пеште                                            |
| 036                                   |                                                           | Индукционды                                      |
| 037                                   |                                                           | Радиационды (жарық, инфрақызыл сулемен лазерлік) |
| 038                                   | Дайын дәнекермен дәнекерлеу, белсенді газды ортада        | Пеште                                            |
| 039                                   |                                                           | Индукционды                                      |
| 041                                   |                                                           | Радиационды (жарық, инфрақызыл сулемен лазерлік) |
| 042                                   | Дайын дәнекермен вакуумде дәнекерлеу                      | Пеште                                            |
| 043                                   |                                                           | Индукционды                                      |
| 044                                   |                                                           | Радиационды (жарық, инфрақызыл сулемен лазерлік) |

| ОТКСЕ<br>разрядтарының<br>7, 8, 9 кодтары | ТП атауы                                              | Қалайылау әдісі                                        |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 045                                       | Бейтарап газды ортада түйіспе-реактивті<br>дәнекерлеу | Электронды-сәулемен                                    |
| 046                                       |                                                       | Бықсып жатқан<br>разрядпен                             |
| 051                                       |                                                       | Пеште                                                  |
| 052                                       |                                                       | Индукционды                                            |
| 053                                       |                                                       | Радиационды (жарық,<br>инфракызыл сулемен<br>лазерлік) |
| 054                                       |                                                       | Пеште                                                  |
| 055                                       |                                                       | Индукционды                                            |
| 056                                       |                                                       | Радиационды (жарық,<br>инфракызыл сулемен<br>лазерлік) |
| 057                                       | Вакуумде түйіспе-реактивті дәнекерлеу                 | Пеште                                                  |
| 058                                       |                                                       | Индукционды                                            |
| 059                                       |                                                       | Радиационды (жарық,<br>инфракызыл сулемен<br>лазерлік) |
| 061                                       |                                                       | Электронды-сәулемен                                    |
| 062                                       |                                                       | Бықсып жатқан<br>разрядпен                             |
| 071                                       | Реактивті-флюсті дәнекерлеу                           | Пеште                                                  |
| 072                                       |                                                       | Газжалынды                                             |
| 073                                       |                                                       | Балкытылған флюске<br>тоғытумен                        |
| 074                                       |                                                       | Экзотермиялық                                          |

10.3 кестенің талдауы осы уақытқа көптеген ТП қалайылауы дайындап шығарылғанын көрсетеді, оларды қосылыстарға түрлі талаптар болған кезде бөлшектерді қосу үшін пайдалануға болады;

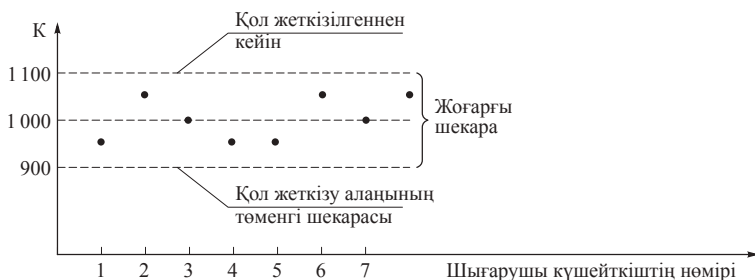
сонымен қатар ОТКСЕ 7, 8 және 9-шы разрядтары біліктілік белгілері пайдаланылған, бұл жаңа ТП қалайылауларды біліктеуге мүмкіндік береді.

### Технологиялық процестердің сипаттамасы

ТП негізгі сипаттамасы — дәлдік және орнықтылық. ГОСТ 15895 сәйкес ТП дәлдігі дегеніміз (немесе ТО дәлдігі) өндірілетін өнімнің параметрлерінің нақты және номиналды (техникалық шарттар бойынша берілген) мәнінің жақындығын шарттастыратын ТП қасиеті. Кез келген бөлшектерді және сәйкесінше бөлшектерден кез келген құрылғыларды әзірлеу барысында бөлшектер мен құрылғылардың абсолютті қайталануын алу мүмкін емес. Көптеген себептердің (қызметкерлердің ұқыпсыздықтары, жабдықтың тозуы, жабдық жұмысының қателігі және т.б.) салдарынан бұйымның кез келген параметрі бір данадан келесіге өзгеріп отырады. Бұл әрқашан өндірістік қателіктердің туындауына— бұйымның техникалық құжаттамасында көрсетілген номиналдық деректерінен бұйым параметрлерінің ауытқуына алып келеді [4].

Технологиялық құжаттамаларда өндірістік қателіктер А абсолютті мәндерімен немесе 5 қатысты мәндерімен беріледі. 2А (немесе 25) шамасы — рұқсат ету алаңы, оған барлық жарамды шығарылатын бұйымдардың параметрінің мәндері орналастырылады. Мысалы, егер  $K = 1\,000$  күшейту коэффициенті бар күшейткіш шығарылатын болса, және  $AK = 100$  (қатысты қателік  $5K = 0,1$ ) абсолютті қателік берілген болса, онда барлық жарамды күшейткіштердің күшейту коэффициентінің мәні  $2AK$  қол жеткізу алаңында жатуы тиіс (10.7 сурет).

ТО шығыс параметрі оның ішкі параметрлерінің көп санына байланысты және олардың әр қайсысының қателігі у кіріс параметрлерінің жеке қателігін туындатады. Егер ТО тәуелсіз кіріс параметрлерінің саны уақыт кезінде өзгермейді, онда барлық 900



10.7 сур. Күшейткішті күшейту коэффициентінің рұқсат ету алаңы

кіріс параметрлері шығыс параметрінің қателігіне өз әсері бойынша бір тәртіптің шамасы болып табылады, онда ТО шығыс параметрінің кездейсоқ мәнін тарату қалыпты заңға мойынсұнады:

$$\Phi(y) = \exp[-(y - M)^2/2\sigma^2]/\sqrt{2\pi\sigma}$$

Мұндағы  $\Phi(y)$  —  $y$  параметрінің таратылу тығыздығы;  $M$  —  $y$  параметрінің математикалық күтілімі (10.8 сурет);  $\sigma$  — орта — квадратикалық ауытқу.

Қалыпты таратылу маңызды қасиетке ие, ол ТО және ТП бақылау және талдауда кеңінен қолданылады. 10.8 сур. барлық қисық таратылуында  $y$  шығыс параметрінің барлық мәнінің 100 % орын алады, ал  $\pm 3\sigma$  (6 $\sigma$  сейілу алағында) шекараларында  $y$  шығыс параметрінің барлық мәнінің 99,73 % орналасады.

Өндірістік қателіктерді (ТО немесе ТП дәлдігін талдау) талдауды статистикалық әдіспен жүргізуге болады. Дәлдікті талдаған кезде ТО (немесе ТП) шығыс параметрінің шамасы көп өлшенеді, алынған деректер массиві үшін таратылудың статистикалық сипаттамасы келесідей орналасқан:

- орташа мән

$$\bar{y} = \sum_{i=1}^n y_i / n,$$

мұндағы  $n$  — өлшемдер саны;

- орта квадратикалық ауытқу

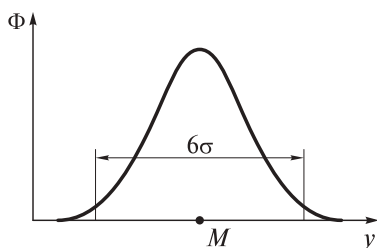
$$\sigma = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$$

Техникалық шарттарға (ТШ) сәйкес  $y$  шығыс параметріне уту номиналды мән және шығыс параметрінің Ду қателігі тапсырылған. Дәлдік талданған кезде мәндерді салыстыра тексереді:

$$\begin{aligned} y &\Longleftrightarrow y_{\text{ту}}; \\ 6\sigma &\Longleftrightarrow 2\Delta y. \end{aligned}$$

Осындай салыстыра тексеру кезінде туындайтын бірқатар барынша маңызды жағдайлар 10.9 сур. берілген:

- $y = y_{\text{ту}}$ ,  $6\sigma = 2\Delta y$  (10.9 сур. а). Бұл жағдайда бұйымның 99,73 % жарамды болады, жарамсыздық 0,27 % құрайды, алайда өндіріс ( $y$  өзгергеннен қисықтықтың орнынан



10.8 сур. Шығыс параметрінің қалып тарату тығыздығы функциялары

жылжуы,  $\sigma$  артуынан таратылудың кеңеюі) сәл істен шыққанда жарамсыз бұйымдар санының артуы мүмкін;

- $y \neq y_{\text{тү}}$ ,  $6\sigma = 2\Delta y$  (10.9 сур., б). Бұл жағдай бірінші жағдайға қарағанда жарамсыз бұйымдардың артуына алып келеді. Жарамсыздық үлесі сызықталған облысқа сәйкес келеді, оның алаңын қалыпты таратылу кестелері немесе компьютерлік бағдарламалар (STATISTICA, MatLab және т.б.) бойынша анықтауға болады;

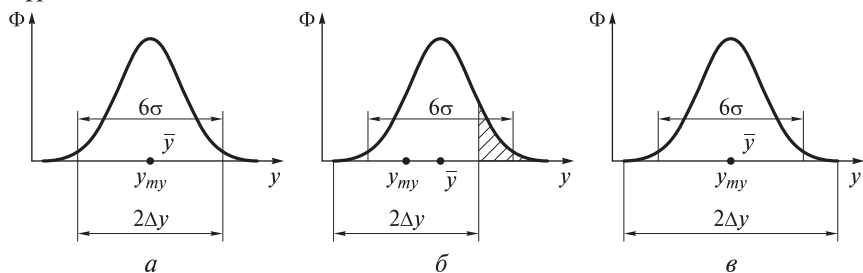
- $y = y_{\text{тү}}$ ,  $6\sigma = 2\Delta y$  (10.9 сур., в). Бұл жағдай нағыз болайлы болып табылады, себебі жарамсыз бұйымдарды жөндеуге кететін шығындарды азайтуды мүмкін етеді.

Дәлдікті талдаудың статистикалық әдісі кезінде ТП баптылығын  $T = 2\Delta y(6\sigma)$  технологиялық дәлдік коэффициенті және  $E = y - y_{\text{тү}}/(2\Delta y)$  ығысу коэффициенті бойынша анықтайды.

Техниканың жоғары технологиялық облыстарында, оған РЭҚ өндірісі де жатады,  $T$  технологиялық дәлдік коэффициентінің үнемі артуы байқалады, ол өндірістің үнемі жетілдірілуіне байланысты. 1980 жж. басында-ақ жапондық өнеркәсіп стандарт ретінде  $T = 1,33$  орнатты. 1988 ж. Minolta компаниясы  $T = 2$  минималды меншікті стандарт және жалпы стандарт ретінде өзінің жеткізушілеріне арнап орнатты. ISO 9 000 стандарттау бойынша Халықаралық стандарттар кешенін өндірістің барлық түрлері үшін  $T = 2$  белгілейді.

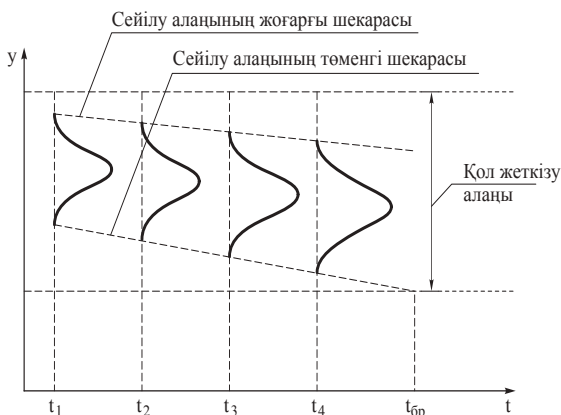
Дәлдікті талдаудың статистикалық әдісі қарапайым, қолайлы, кеңінен қолданылады, алайда ол өндірістік қателіктердің туында себептерін анықтауға мүмкіндік бермейді.

ГОСТ 15895 сәйкес ҚС орнықтылығы дегеніміз оның шығыс параметрін тарату заңының тұрақтылығын уақыт ішінде сақтау қабілеттілігі деп түсіндіріледі. ҚР орнықтылығын бөлек уақыт кезінде времени  $t_1, t_2, \dots$  (10.10 сур.) бағалау үшін бұйымды таңдау бойынша  $y$  шығыс параметрін өлшейді және параметрді тарату функциясын құрайды.



10.9 сур. Өндірістік қателіктерді талдауға түсіндірме:

а — рұқсат ету және тарату шекаралары сәйкес келеді; б — рұқсат ету алаңы тарату бір біріне қарай қозғалтылған; в — тарату шекарасы рұқсат ету алаңының ішінде тұр



10.10 сур. түрлі уақыт сәттері үшін ТП шығыс параметрінің тарату функциялары

Ыдырау өрісінің жоғарғы және төменгі шекараларының нүктелерін қосып, бұйым параметрінің уақытша өзгеріс функциясына ие болады.

Егер шығыс параметрін (математикалық болжам және орта квадратикалық ауытқу) тарату заңының сипаттамасы уақыт кезінде өзгермесе ҚС орнықты болады. Бұл әдіс ыдырау алаңы шекарасының рұқсат ету /бр — алаңының шекарасынан шығу сәтін — жарамсыз бұйымдардың пайда болу сәтін болжауға мүмкіндік береді.

### 10.3.Технологиялық құжаттама

ТО орындау үшін жұмысшы және техникалық мамандардың өндірістік нұсқаулығы болуы керек, ол құжатта олардың әрекеттері тізбекті түрде толық суреттеледі. Бірыңғай технологиялық құжаттама жүйесінің (БТҚЖ) талаптарына сәйкес рәсімделетін технологиялық құжаттар осындай өндірістік нұсқаулық болып табылады. БТҚЖ - технологиялық құжаттарды әзірлеу, рәсімдеу және пайдалану бойынша стандарттар кешені болып табылады.

БТҚЖ стандарттарымен белгіленетін технологиялық құжаттарды рәсімдеудің бірыңғай ережелері жұмысшы және техникалық мамандардың ТО және ТП орындау тәртібін түсіну, кәсіпорындар арасындағы технологиялық құжаттармен өзара алмасу, ТП жобалау үшін компьютерлік бағдарламаларды пайдалану және технологиялық құжаттарды шығару мүмкіндігін қамтамасыз етеді.

|             |                                                                                                                      |                   |                   |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| ТЭТУ        |                                                                                                                      | ТЭТУ XXX.XXX.XXX  |                   |
| XX модулері |                                                                                                                      |                   |                   |
| В           | Цех                                                                                                                  | Уч                | Операциялар атауы |
| Г           | Құжатты көрсету                                                                                                      |                   |                   |
| Д           | Жабдық атауының коды                                                                                                 |                   |                   |
| Е           | СМ                                                                                                                   |                   |                   |
| П           | Көрсету                                                                                                              |                   | Н <sub>Расх</sub> |
| В01         | Жинау                                                                                                                |                   |                   |
| О02         | 401.14-3 корпуста баспа төсемшеге ИС орнату                                                                          |                   |                   |
| Г03         | ТЭТУ XXX.XXX ТИ                                                                                                      |                   |                   |
| Д04         | ГГ-2633: ИС орнату және дәнекерлеу жартылай автоматы                                                                 |                   |                   |
| 05          | XXX; Флюс бар былау                                                                                                  |                   |                   |
| 06          | МБС-2; Микроскоп                                                                                                     |                   |                   |
| Н07         | Қалайы-қорғасынды дәнекерлеу ПОС-61, ГОСТ 1499-70                                                                    |                   |                   |
| П08         | Қойма                                                                                                                | Кг                | 0,075             |
| Н09         | Флюс ФКСп , ЮГ 0.029.011 ТУ                                                                                          |                   |                   |
| П09         | Қойма                                                                                                                | Кг                | 0,025             |
| О10         | 1. ИМС ыдысынан кассеталарды алу                                                                                     |                   |                   |
| 11          | 2. ИМС кассетеганы жартылай автоматтың ұясына орнату                                                                 |                   |                   |
| 12          | 3. Ыдыстан төсемшені алу                                                                                             |                   |                   |
| 13          | 4. Төсемшені жартылай автоматтың координатты үстеліне орнату                                                         |                   |                   |
| 14          | 5. Қосылу орындарын қылқаламмен флюстеу                                                                              |                   |                   |
| 15          | 6. ИМС орнатып, байламдарды түйіспе алаңдарға дәнекерлеу<br>Назар аударыңыз! Дәнекерлеу температурасы 254 °С, уақыты |                   |                   |
| 16          | 7. Микроскоппен дәнекерленген түйіспелердің тексеру                                                                  |                   |                   |
| 17          | 8. Проверить под микроскопом качество паяных соединений                                                              |                   |                   |
| 18          | 9. Ұяшықты ыдысқа салу                                                                                               |                   |                   |
|             |                                                                                                                      |                   |                   |
|             |                                                                                                                      |                   |                   |
|             |                                                                                                                      |                   |                   |
|             |                                                                                                                      |                   |                   |
|             | МК/ОК                                                                                                                | Операциялық карта |                   |

10.11 сур. Микросұлбаларды құрастырудың операциялық картасы

Технологиялық құжаттар құрамы өндірістің түрі мен сипатына, ТП әзірлеу сатысына байланысты. Топтамалық және жалпы өндіріс жағдайларында келесі технологиялық құжаттар пайдаланылуы мүмкін (ГОСТ 3.1102 сәйкес):

- Бағыт картасы;
- Операциялық карта;
- Техникалық нұсқаулық;
- Материалдар ведомосты;
- технологиялық жабдықтама ведомосты;
- тағы басқа.

Бағыт картасы, операциялық карта және техникалық нұсқаулық негізгі технологиялық құжаттар болып табылады. Бағыт картасы негізгі технологиялық құжат болып табылады, ол нақты бұйымның ТП әзірлеуін суреттеу ретінде беріледі, онда технологиялық операциялар олардың орындалуы бойынша тізбекті түрде, жабдық туралы деректер, технологиялық аспап туралы, еңбек нормативтері көрсетіледі.

Операциялық карта (10.11 сур.) — қызметкердің нақты тізбекті әрекеттерін көрсете отырып, ТО суреттеу («Ыдыстан ИМС бар кассеталарды шығару», «ИМС бар кассетаны жартылай автоматтың ұясына орнату» және т.б.). Операциялық картада операцияны орындау үшін қажетті олардың санын көрсете отырып, қажетті технологиялық жабдық, аспаптар, нақты технологиялық режимдер, қажетті технологиялық материалдар көрсетіледі. Ол тікелей жұмыс орнында қолданылады.

Техникалық нұсқаулық — ерітінділерді дайындау ережелерін, жабдықты пайдалану ережелерін, сынау жүргізу барысын, бұйымның күйін келтіру немесе жөндеуді мәтіндік суреттеу.

Технологиялық құжаттаманы өндірісті технологиялық дайындық сатысында әзірлейді, ол бұйымның тәжірибелік үлгілерін шығарудан кейін болады, және арнайы түрдегі бланкілерде рәсімдейді, олардың жолында барлық қажетті деректер жазылады.

#### **10.4. РЭҚ құрылғысының технологиялылығы**

РЭҚ құрылғысын егер оны оның барлық қажетті қасиеттерін сақтаған кезде азшығындармен әзірлеу мүмкін болса, оны технологиялылық деп атайды. ГОСТ 18831 «Құрылғылардың технологиялылығы. Терминдер және анықтаулар» сәйкес технологиялылық — еңбектің, құралдардың, материалдардың және оны дайындаған, пайдаланған және жөндеген кездегі уақыттың оңтайлы шығындарында көрінетін құрылғының кешенді қасиеті.

Құрылғының технологиялылығының бірнеше түрін ажыратады. Өндірістік технологиялылық — бұйымның әзірлеу сатысына

қатысты белгіленетін РЭҚ құрылғысының технологиялылығы. Құрылғының пайдалану технологиялылығы дегеніміз бұйымды пайдалану сатысындағы еңбекшығындары мен қолайлылық дегенді білдіреді. Жөндеу технологиялылығы дегеніміз бұйымды жөндеу сатысындағы еңбекшығындары мен қолайлылықты көрсетеді. Технологиялық қасиеттерді құрылғының желілеріне, және де РЭҚ бірқатар бөлшектеріне де қатысты айтуға болады. Құрылғының технологиялылығын оның қасиеттерін белгілі құрылғы-технологиялық деңгеймен салыстыра тексеру арқылы бағалауға болады.

ОСТ 107.15.2011 «РЭҚ жалпы техникасы және оның құрамдас бөліктерінің технологиялық көрсеткіштерінің номенклатурасы және нормативтік мәндеріне» сәйкес мыналар болып табылады:

Сатып алынатын бұйымдардың еңбексыйымдылығын есепке алмастан құрылғыны әзірлеу еңбексыйымдылығы;

Бұйымның біріздендіру коэффициенті, ол пайдаланылатын біріздендірілген бөлшектер мен желілердің қатысты санын көрсетеді;

ТП типтік қолдану коэффициенті;

ТО автоматтандыру және механизацияландыру деңгейі.

РЭҚ құрылғысының технологиялылығы оны әзірлеу сатысында өндіріс, пайдаланудың, жөндеудің және кәдеге асыру жағдайына айлабұйымдалған, құрылымды орындауды таңдау, ТП бастапқы және рационалды материалдарын таңдау, құрастырмаларын қолдану бойынша шешім қабылданатын кезде қамтамасыз етіледі.

РЭҚ құрылғысының технологиялылығын арттыру шаралар кешенімен қамтамасыз етіледі, олар келесілерден тұрады:

құрылғының аз еңбек сыйымдылыққа ие бөлшектерінен пішін жасақтау әдістерін қолдану;

- бірізділендірілген және стандартталған бөлшектер мен желілерді пайдалану;
- бірігудің жоғары сатысына ие ИС пайдалану;
- жинақтаудың және монтаждаудың үдемелі әдістерін қолдану;
- типтік технологиялық процестерді кеңінен ендіру;
- технологиялық операциялардың автоматтандыру құралдарын ендіру;
- құрылғыларды және технологиялық процестерді жобалауды автоматтандыру құралдарын пайдалану.

### **Бақылау сұрақтары**

1. ТП құрылымын суреттеңіз.
2. Тп анықтамасын беріңіз.
3. ТО қандай белгілер бойынша санатталады?
4. ТП қандай сипаттамалармен анықталады?
5. Дәлдікті талдаудың статистикалық әдісінің мәні неде?
6. ТП орнықтылығы дегеніміз не?
7. РЭҚ құрылғысының технологиялылығы дегенді қалай түсіндіреміз?

## Электррадиоқұрамаларды әзірлеудің технологиялық процестері

### 11.1. Құрылмалы-технологиялық белгілері бойынша интегралды сұлбаларды жіктеу

Өнеркәсіптің ең күрделі және еңбексыйымдылықты бұйымдарының бірі интегралды микросұлбалар (ИМС) болып табылады. Оларды өндірудің функционалдық күрделілігі, күрделілігі және еңбексыйымдылығы келесілермен анықталады:

микросұлбалар элементтерінің шағын көлемдерімен; қазіргі уақытта элементтерінің шағын көлемдері  $0,065$  мкм болатын микросұлбаларды әзірлейді, элементтерінің шағын көлемі  $0,04$  мкм болатын ИМС өндірісінің дайындығы жүріп жатыр;

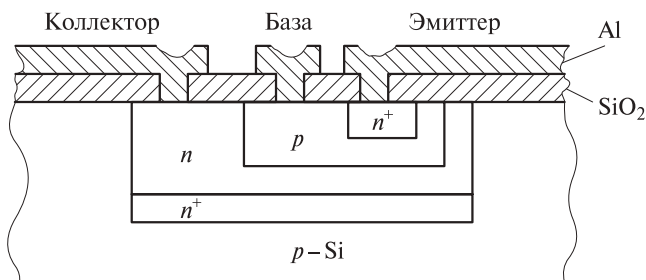
ИМС құрамындағы транзисторлардың мол санымен — заманауи ИМС жүздеген миллион транзисторлары бар; жақын жылдары миллиард транзисторлары бар ИМС шығарылатын болады.

ИМС құрылмалы-технологиялық белгілері бойынша жартылай бағыттағыш және гибриді-пленкалы болып екіге бөлінеді (11.1 сур.).

Жартылай бағыттағыш ИМС барлық элементтері жартылай бағыттағыш материал (негізінен кремний) көлемінде орындалған. 11.2 сур. жартылай бағыттағыш ИМС негізгі құрама бөлігінің құрамасы - интегралды транзистордың, коллектордың (n-түрлі), база (p-түрлі) және эмиттер (n-түрлі) көрсетілген, олар кремний кристалының жоғарғы беттік қабатында құрылған. Кристалдың беткі  $\text{SiO}_2$  диэлектрикалық пленкамен жабылған, оның  $\text{SiO}_2$  пленкасында ИМС басқа транзисторларымен терезе арқылы осы транзистордың байламын жалғастыратын пленкалы алюминий бағыттағыштар орналасқан. н ами ИМС. Осы ИМС топологиялық суреттерін құрастыру технологиясының прогресі



11.1 сур. ИМС құрама-технологиялық белгілері бойынша жіктеу

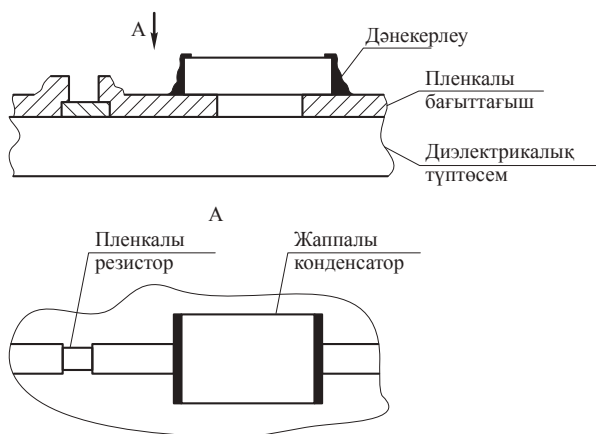


11.2 сур. Интегралды транзистордың құрамасы

топтама өндірісте олардың элементтерінің желілерінің шағын ені 0,065 мкм болатын суреттерін алуды мүмкін етті; олар барлық ИМС түрлерінің арасында ең жоғары интеграцияға ие.

Жартылай бағыттағыш ИМС ерекшелігі элементтерінің (микропроцессорлар, жады сұлбасы, ұқсас күшейткіштер және т.б.) мол саны бар және көп партия етіп ИМС шығару үшін осы технологияны пайдалану экономикалық тұрғыда пайдалылығында болып тұр. Жартылай бағыттағыш ИМС кемшіліктері параметрлерінің мол номиналды белгілері бар резисторлар мен конденсаторлар әзірлеу мүмкіндігінің жоқтығы, сонымен қатар олардың шағын дәлдігі және ТКС пен ТКЕ үлкен мәндері болып табылады.

Гибридті-пленкалы ИМС элементтері және құрамалары диэлектрикалық түптөсемнің беткі жағында орналасқан. Элементтер (резисторлар, конденсаторлар, бағыттағыштар) түрлі материалдардың пленкалары түрінде орындалған. Гибридті-пленкалы ИМС құрамасының мысалы 11.3 сур. көрсетілген. Бұл құраманың диэлектрикалық түптөсемінің (шыны, ситалл, керамика) беткі



11.3 сур. Гибридті-пленкалы ИМС құрылымы

резистивті материалдан жасалған жолақ түрінде пленкалы резистор жасақталған, бағыттағыштардың байланысатын алаңдарына қаптал байламдармен қалайыланған коммутациялық жүйенің пленкалы бағыттағыштары және жаппа конденсатор (құрама) орналасқан.

ИМС элементі неотделим от кристалдан немесе түптөсемнен бөлінбейді және жеке бұйым ретінде оны бөлуге болмайды. Мысалы, интегральды транзистор — жартылай бағыттағыш ИМС элементі, пленкалы резистор — гибриді-пленкалы ИМС элементі.

ИМС құрамасы жеке бұйым болып табылады. является самостоятельным изделием. Жаппа конденсаторлар, дәл пленкалы резисторлар жиыны (мысалы ЦАП  $R=2R$  және АЦП матрицасы), транзисторлар кристалдары және ИМС гибриді ИМС құрамасы болып табылады. Пленкалы технологиялармен тек пассив элементтерді — бағыттағыштар, резисторлар және конденсаторларды жасауға болады. Гибриді ИМС белсенді элементтері бағыттағыш технология бойынша әзірленеді. Транзисторлардың және жартылай бағыттағыш ИМС дайындалған кристалдарын диэлектрикалық түптөсемнің беткі жағына орнатады және олардың байламдарын пленкалы коммутациялық жүйенің байланыс алаңдарына қосарлайды. Гибриді-пленкалы ИМС атауында «гибриді» сөзі бар, ол пленкалы және жартылай бағыттағыш технологияның бірлесіп қолданылатындығын көрсетеді.

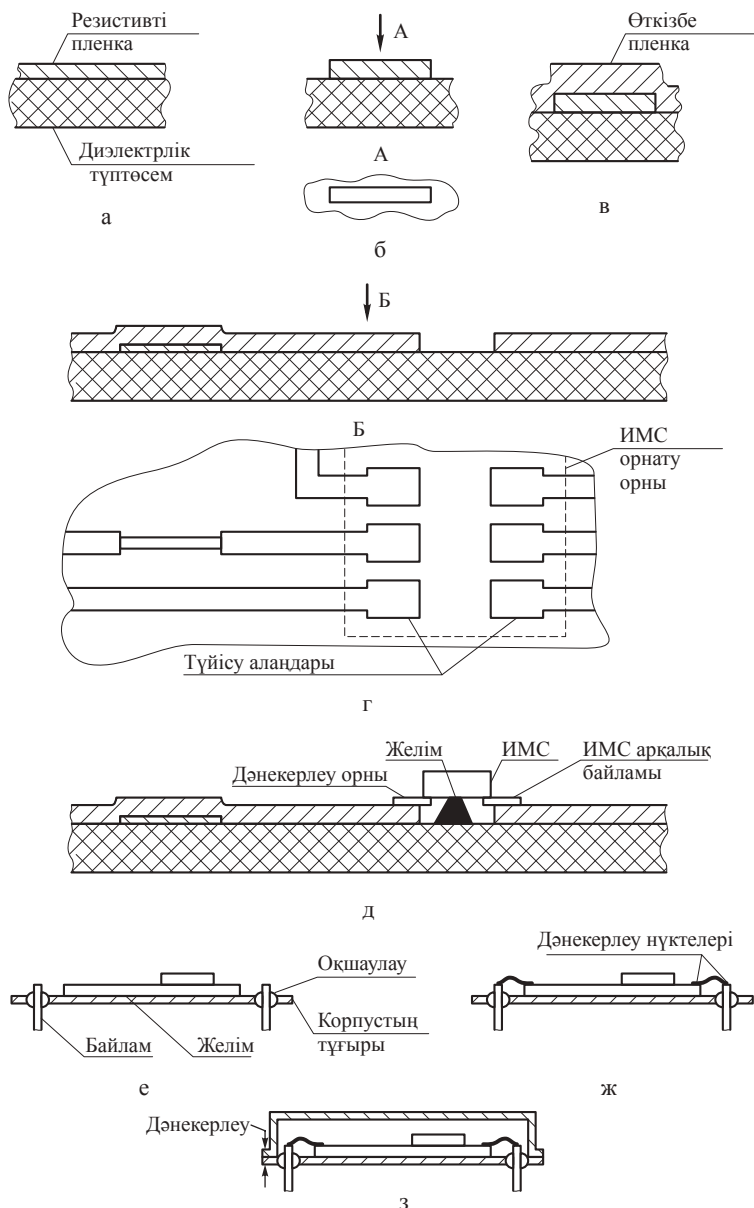
Пленканы салу технологиясы бойынша гибриді ИМС жұқа пленкалы (пленкалардың қалыңдығы 1 мкм кем) және қалың пленкалы (пленкалардың қалыңдығы 50...75 мкм).

ИМС әр құрылмалы-технологиялық түрі өз қолдану саласын тапты. Жартылай бағыттағыш технология бойынша әзірлеу пайдасыз болғандықтан мамандандырылған ИМС (жеке қолдану сұлбалары) шағын партиялары үшін гибриді-пленкалы технология бойынша әзірлейді. Прецизионды резисторлар мен олардың ТКС аз мәні бар жиынын жасау мүмкіндігі жұқа пленкалы ИМС маңызды құндылығы болып табылады. Жұқа пленкалы ИМС өлшеу және бақылау желілері мен құрылғыларда пайдаланылады.

11.1 сур. көрініп тұрғандай, қалың пленкалы ИМС барлық ИМС ( $b_{min} = 50.75$  мкм) түрлерінің ішінде ең аз интеграция деңгейіне ие. Оларды әзірлеу үшін қатысынша төмен біліктілігі бар қызметкерлер қызмет көрсететін арзан жабдық қолданылады. Оларды шағын және қуатты интеграция деңгейі бар ИМС қолданады.

## 11.2. Гибриді ИМС әзірлеудің технологиялық операциялары

Жұқа пленкалы гибриді ИМС ТП әзірлеу бірнеше тізбекті сатыдан тұрады. 11.4 сур. жұқа пленкалы резисторлары, алюминді пленкалы бағыттағыштары бар және диэлектрикалық жабынның



сур.11.4.Жұқа пленкалы гибриді ИМС ТП әзірлеу

а — резистивті материалды салу; б — резистордың пішіндемесін жасақтау; в — өткізбе қабатты салу; г — бағыттағыштарды жасақтау; д — ИМС кристалын түптөсемге орнату; е — ИМС түптөсемін корпусқа орнату; ж — ИМС кристалы түйісулерін корпустың байламдарымен қосу; з — корпусы герметизациялау

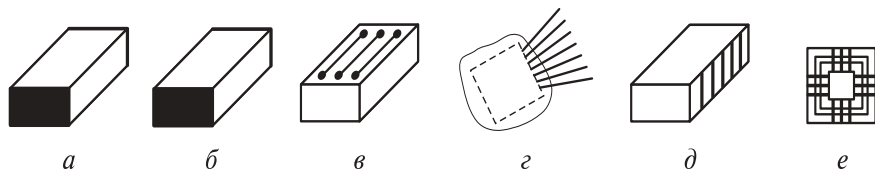
бетіне алюминий аркалық байламдары бар жартылай бағыттағыш ИМС корпуссыз кристалдарымен орнатылған ИМС ТП әзірлеу көрсетілген жұқа пленкалы гибриді ИМС әзірлеу үшін қалыпты көлемді 60 x 48 мм<sup>2</sup> қалыңдығы 0,5...2 мм (стекло, ситалл немесе керамика) болатын диэлектрикалық түптөсемдерді пайдаланады. Түптөсемдерді ластан тазарту үшін барлық түптөсемге (рис. 11.4, а) резистивті материалдан (нихром, арнайы резистивті қорытпалар) жасалған қалыңдығы 0,1-0,2 мкм пленканы салады.

Салынған тегіс пленканың барлығынан фотолитографиялық әдіспен жұқа пленкалы түрлі пішіндемелерінің жолақтары пленкалар түріндегі резисторлар құрастырады (11.4 сур., б). Келесі ТО бүкіл түптөсемнің үстіне тегіс қабат түріндегі қалыңдығы 0,5 . 1 мкм (сур.в) болатын алюминийдің бағыттағыш пленкасы салынады,

одан сосын орнатылатын құрамаларды соңынан монтаждау үшін және коммутациялық жүйелерді түптөсемде корпусы байламдай отырып, қосу үшін фотолитографиямен пленкалы алюминий бағыттағыштары және байланыс алаңдары бар коммутациялық жүйе жасақтайды (11.4 сур., г).

Әдетте стандартты көлемі 60 x 48 мм<sup>2</sup> болатын түптөсемде гибриді ИМС бірнеше қабатын бірден әзірлейді. Жұқа пленкалы элементті жасағаннан кейін түптөсемді қалыпты көлемдері: 30 x 48, 30 x 24, 15 x 24 или 15 x 12 мм<sup>2</sup>. Болатын бөлек қабаттарға кеседі.

**Жаппа құрамалар.** Гибриді ИМС құрылмаларында жаппа құрамалар (сур. 11.5) пайдаланылады: конденсаторлар (5 сур., а) 200 мкФ дейінгі ыдыстар, керамикалық тікбұрышты түрдегі қалайыланған шеттері бар көлемдері 1,2 x 1 x 0,6 - 2 x 1 x 0,4 мм<sup>3</sup> дейін болатын резисторлар (11.5 сур., б), резистивті жиынтық (сур.. 11.5, в), диаметрі 50.10 мкм болатын сым байламдары бар ИМС кристалдары, эпоксиді шайырмен қымтауланған(сур. 11.5, г), Н түрлі металлкерамикалық корпустағы шеттерінде қалайыланған жолақтар түріндегі байламдары бар



11.5 сур. Гибриді ИМС жаппа құрамалары:

а — К10-17, К10-9 конденсаторлары; б — С2-12, С2-30, С3-3 резисторлары; в — С3-4 резистивті жиындары; г — сым байламдары бар ИМС; д — Н түрдегі металлкерамикалық корпусы бар ИМС (ГОСТ 17467—79); е — полиимидті тасымалдағыштағы ИМС

(сур. 11.5, д) және на полиимидті тасымалдағыштағы ИМС (сур. 11.5, е).

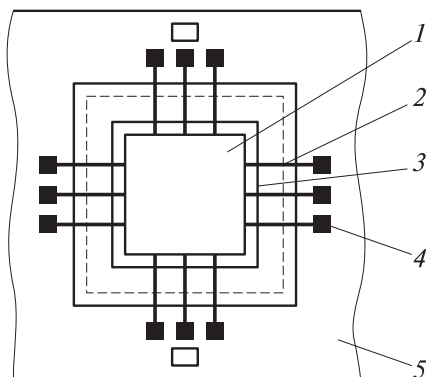
11.6 сур. берілген полиимидті тасымалдағыштағы ИМС құрылмасында қалыңдығы 10...40 мкм болатын 2 арқалық байламы бар жартылай бағыттағыш 1 ИМС кристалы 3 полиимидті пленкадан жасалған төсемшеге орнатылған; арқалық байламдар полиимидті пленкалы тасымалдағышта 5 орналасқан байланыс алаңдары 4 жүйесімен аяқталады; осы жүйенің көмегі арқылы ИМС әр данасы гибриді-пленкалы ИМС орнатар алдында бақылануы мүмкін. Бақылаудан кейін байламдарды сызықша желілір бойымен кеседі.

Арқалық байламдары бар кристалл кесілгеннен кейін төсемшеде (11.4 сур. қараңыз, д) орнатып, желімдейді. ИМС кристалын орнатқан кезде әр арқалық байлам төсемшедегі тиісті байланыс алаңына орнайды. Байланыс алаңы бар байламның электрлік құрастыруын дәнекерлеп немесе пісіріп (ультрадыбыстық немесе термокомпрессионды) орындайды. Құрастырғаннан кейін төсемшенің құрамаларын шыны окшаулағыштар арқылы шығатын байламдармен жабдықталған корпустың металл іргесіне орнатады (11.4 сур. қараңыз, е).

Құрастыру барысында корпустың (11.4 сур. қараңыз, ж) ішінде байламдардың қапталдарын термокомпрессионды, ультрадыбысты немесе байланыс пісірмесімен төсемшенің периметрі бойында орналасқан байланыс алаңдарымен диаметрі 35.400 мкм болатын металл сыммен (алюминий, алтын) қосады және қымтаулайды (11.4 сур. қараңыз, з).

**Гибриді ИМС жұқа пленкалы элементтері.** Оларға жұқа пленкалы резисторлар және индуктивтілік катушкалары жатады. Жұқа пленкалы резисторлар резистивті материалдардан дайындалады, олардың параметрлері 11.1. кестеде берілген.

Мәні 11.1 кестеде берілген меншікті беткі кедергі саны бойынша кез келген көлемдегі пленкінің квадратына тең. Пленкалы резисторлардың пішіндемесі  $K_{\phi} = R_{\text{ад}} / p_s$  формасының коэффициентімен анықталады, мұндағы  $R_{\text{ад}}$  — резистордың кедергісінің берілген мәні;  $p_s$  — меншікті беткі кедергінің мәнін



11.6 сур. ИМС полиимидті тасымалдағыштағы құрылымы:

1 — кристалл; 2 — арқалық байлам; 3 — төсемше; 4 — байланыс алаңы; 5 — полиимидті тасымалдағыш

| Резистивті қабаттың материалы | Меншікті беткі кедергі $R_s$ , Ом/П | Кедергінің температуралық коэффициенті, $1/^\circ\text{C}$ | Рұқсат етілген меншікті жылу қуаты, Вт/см <sup>2</sup> |
|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Хром                          | 25...300                            | $\pm 2 \cdot 10^{-4}$                                      | 2...4                                                  |
| Нихром                        | 5...500                             | $\pm 2 \cdot 10^{-4}$                                      | 0,5...0,8                                              |
| СТ маркалы қорытпалар         | 200...3 000                         | $-(0,2,3) \cdot 10^{-4}$                                   | 2                                                      |

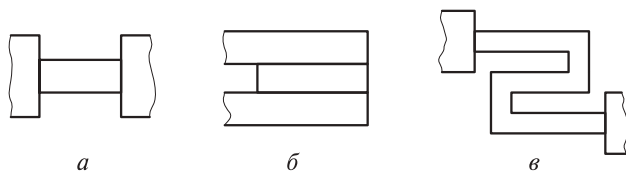
11.1 кесте бойынша таңдайды. Егер  $1 < K_\Phi < 10$  болса, онда резистордың тік формалы формасы қолданылады (11.7 сур., а); егер  $0,1 < K_\Phi < 1$  болса — оның енінен (11.7 сур., б) кем ұзындықтағы резистор пайдаланылады,  $K_\Phi > 10$  болған жағдайда резистор «меандра» түрінде орындалады (11.7 сур., в).

Индуктивтіліктің тегіс жұқа пленкалы шарғысы (рис. 11.8) оралған шарғыларға қарағанда төмен сапалы (10... 100) және индуктивтілігі төмен (15.20 мкГн дейін) және оларды шамасынша жоғары жиілікте қолданған дұрыс болады.

Жұқа пленкалы гибриді ИМС бағыттағыштардың коммутациялық жүйесін алюминийден немесе мыстан әзірлейді.

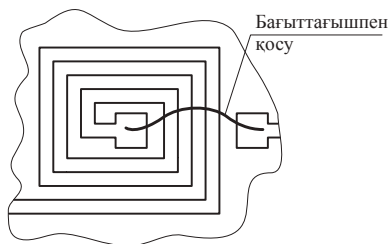
Жұқа пленкалы гибриді ИМС әзірлеу технологиясында жұқа пленканы салуды көбінесе термовакуумды немесе ионды-плазмалы әдістермен орындайды.

Жұқа пленканы салу үшін термовакуумды қондырғы сұлбасы 11.9 сур. көрсетілген. Түптөсем, түптөсем қыздырғышы, буландырылатын материалдан жасалған сымның көсектері оның орамында орналасқан тығыз балкытылған металдан (вольфрам, тантал, молибден) жасалған спираль түріндегі буландырғыш вакуумды өндірғының қалпағының астында орналасқан. Қалпақтың астынан ауа  $1 \cdot 10^{-4}$  Па қысымға дейін сорылып алынғаннан кейін буландырғышқа кернеу беріледі, және буландырғыш салынатын материалдың булану температурасына дейін қызады. Салынатын материалдың булары түптөсемге дейін ұшады. Себебі түптөсемнің температурасы бу температурасынан төмен, булар онда пленка түрінде сұйықталады.

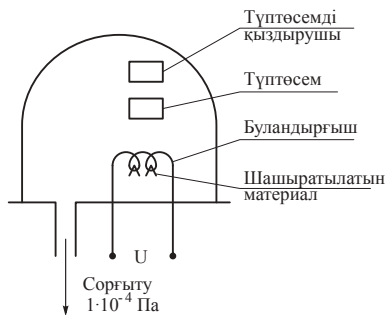


11.7 сур. Пленкалы резисторлардың пішіні:

а, б — тік бұрышты; в — «меандра»



11.8 сур. Пленкалы шарғы



11.9 сур. Қондырғының термовакuumды индуктивтілік сұлбасы

Вакуумды жүйе бу температурасы жоғары болған жағдайда салынатын материалдың ауа оттегімен тотығуын, атомдар буландырғыштан түптөсемге дейін ұшқан кезде ауа молекуласымен салынатын материалдың атомдарының сейілуін және өсуші пленка материалының ауа молекуласымен ластануын болдырмауға мүмкіндік береді.

Термовакuumды әдіспен пленкаларды салу ТП бірнеше ТО тізбектілігінен тұрады: түптөсем орнату, буландырғыштарды зарядтау, қалпақты түсіру, қалпақтың астынан сорып алу, түптөсемді қыздыру, пленканы салу, қалпақ астындағы қондырғыны суыту, қалпақ астына ауа жіберу, қалпақты көтеру, түптөсемді алмастыру. Жұмыстың ұзақтығы — 1 с. астам.

Пленкаларды шөгеру жылдамдығы буландырғыш температурасының асуымен көтеріледі және материал түріне, буландырғыштан түптөсемге дейінгі ара қашықтыққа байланысты болады. Қалыңдығы 1 мкм болатын алюминийдің пленкасы 2... 10 мин. Ішінде шөгеріледі.

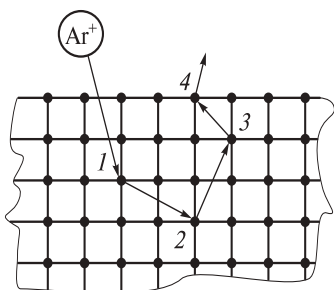
Термовакuumды әдіс көптеген материалдардың пленкаларын салуға мүмкіндік береді. Буландырғыштың (2-4 цикл) онша жоғары емес төзімділігі, салу режиміне пленканың стехиометриялық құрамының тәуелді болуына байланысты күрделі құрамды резистивті корытпаларды салудың мүмкін еместігі әдістің кемшілігі болып табылады. Сондықтан қазіргі уақытта топтамалық өндірісте бұл әдіс негізінен бағыттағыш материалдардың (алюминий, мыс) пленкасын салуда қолданылады.

Ионды-плазмалы әдісте материалдың беткі атомдарын шашырату арқылы жұқа пленкаларды салу ұстаным іске асырылған. Шашыратылатын материалдың катодының айналасында аргон атмосферасында бықсып жанып жатқан разрядпен аргонды плазма құрылады. Аргон плазма бұлтынан аргон иондары 500.2 000 В кернеуі бар электр алаңмен тартып алынады және катодқа ұшады. Катодпен

11.10 сур. Салынатын материалдың шашқыш механизмі:

1... 4 — атомдар

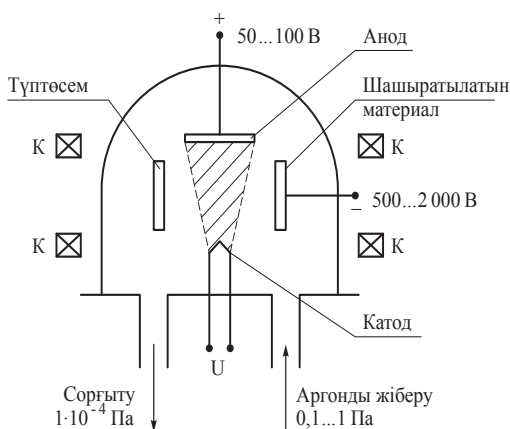
соқтыққан кезде (11.10 сур) аргонның оң ионы материалдың кристалл торының түбіне дейін ұшып, 1 атоммен соқтығады.



Олардың соқтығуы бильярд шарларының соқтығуына ұқсайды. 1 атом аргон ионынан кинетикалық энергияның бір бөлігін алады, және егер ол алынған энергия көрші атомдарға байланысты оның энергиясынан көп болса ол өз орнынан ұшып кетеді. 1 атом 2 атоммен соқтығысып, оған өз энергиясының бір бөлігін береді, және оның алған энергиясы көрші атомдармен байланысынан алған энергиясынан көп болса, ол өз орнынан кетеді. Егер осындай энергияны сатылы беру әдісімен беткі 4 оның атом көрші атомдармен байланысынан алған энергиясынан көп энергия алатын болса 4 атом беткі жақтан жойылып кетеді.

Материалды шашырату жылдамдығы және сәйкесінше ионды-плазмалы әдістегі түптөсемде пленканың қоршау жылдамдығы материалдың атомды салмағына және ионды тоқтың тығыздығына пропорционалды және шашыратылатын материалдың тығыздығына кері пропорционалды.

Ионды-плазмалы қондырғының құрылғысы 11.11 сур. көрсетілген. Шашыратылатын материалдан істелген тілімнің карсысындағы вакуумды камерада ткіптөсем орнатылған. Вакуумды камераның айналасында магнитті алаң жасауға арналған шарғылар орнатылған.



11.11 сур. Ионды-плазмалы тозаңдату қондырғысы:

К — тұрақты магнитті алаң жасауға арналған шарғылар

Қалпақ астынан  $1 \cdot 10^{-4}$  Па қысымға дейін ауа сорып алынғанан кейін қалпақасты қондырғыға аргон беріледі. Берілген кезде қыздырылған катод және анод арасында аргонды плазма пайда болады. Шашыратылатын материалға берілген кернеу плазмадан аргонның оң иондарын тартып алады. Олар шашыратылатын материалдың бетіне ұшады және беткі жақтағы атомдарды ұшырып шығарады. Беткі жақтан алынатын атомдар түптөсемге ұшады және ол жерде шашыратылатын материалдың пленкасын құрады.

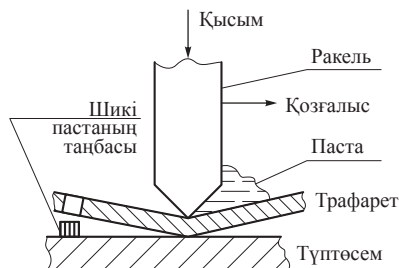
Ионды-плазмалы қондырғыдағы ( $0,1 \dots 1$  Па) аргон газының қысымы термовакuumды әдістегі (онда қалдық газдардың қысымы  $1 \cdot 10^{-4}$  Па болады) қондырғыдағыдан едәуір көп. Бұл өсуші пленканың аргон атомдарымен ластануына алып келеді.

Термовакuumды әдіске қарағанда, ионды-плазмалы әдіспен олардың балку температурасына қарамастан барлық белгілі қатты материалдар шашыратылуы мүмкін, алынатын пленкалардың адгезиясы едәуір көп және олар қалыңдығы бойынша тең етіп салынады, сонымен қатар рельефті түптөсемге де солай салынады. Сондықтан гибриді ИМС топтама өндірісінде ионды-плазмалы әдіс негізінен резистивті және диэлектрикалық пленкаларды салу үшін қолданылады.

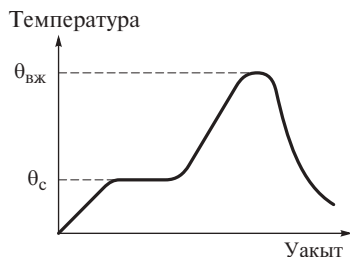
Жұқа пленкалы ИМС әзірлеу технологиясында жұқа пленка түптөсемнің барлық бетіне салынады; сосын фотолитографиялық әдіспен пленкалы элементтердің жеңіл пішіндемесі істеледі (11.4 сур. қараңыз).

**Гибриді ИМС қалың пленкалы элементтері.** Қалың пленкалы ИМС әзірлеген кезде пленка салумен бірге қалың пленкалы элементтердің суреттері жасақталады. Қалың пленкалы гибриді ИМС әзірлеудің ТП пленкаларды трафаретті баспа (11.12 сур.). әдісімен салады.

ИМС қалың пленкалы суретін салу операциясында пленканың қажетті суретіне сәйкес келетін тесіктері бар трафарет қолданылады. Трафарет түптөсемде  $1 \dots 2$  мм қашықтықта орналасқан. Трафареттің



11.12 сур. Трафаретті баспа әдісімен қалың пленкаларды салуға арналған қондырғының сұлбасы



11.13 сур. Қалың пленканы күйдіру операциясының уақытша диаграммасы

беткі жағында трафаретті түптөсемге бастыратын және трафареттің тесігі арқылы түптөсемге пастаны сығымдайтын резеңке ракедь қозғалысып келеді. Ракедь өткеннен кейін Трафарет көтеріледі, және түптөсемде қажетті пішіндемедегі қалың пленкалы элементтер қалады. Бұл элементтер пастадан жасақталған. Салынған пленкалардың қалыңдығы 50...100 мкм. тең келетін трафареттің қалыңдығына сәйкес келеді. Трафаретті баспамен желісінің ені ең аз дегенде 50...75 мкм. болатын суреттер жасақтауға болады.

Трафаретті баспадан кейін қалың пленкалы элементтер салынған түптөсемді пешке салады, оның температурасы 11.13 сур. сәйкес өзгереді. Кептіру (100...200°C) температурасы кезінде пастадан ұшпа құрылымдар жойылады, күйдіру (600...1200°C) температурасы кезінде паста түйіршіктерінің өз ара және түптөсеммен (пленка күйдіру) қорытылуы түзіледі. Күйдірудің жоғары температурасына бола қалың пленкалы технологияда керамикалық түптөсемдер ғана қолданылады.

Күйдірілген қалың пленкалы элементтердің қасиеттері пастамен анықталады. ИМС бағыттағыштарын жасау үшін өткізуші пасталар, қалың пленкалы резисторлар жасау үшін — резистивті пасталар, ал диэлектрикалық қабаттарды жасақтау үшін — диэлектрикалық пасталар қолданылады.

Өткізуші пасталардың құрамына асыл металлдар — күміс, алтын, палладия, платинаның және олардың қоспаларының ұсақдисперсті ұнтақтары кіреді.

Резистивті пасталар асыл металдар (негізінен күміс) ұнтақтарының және шынылардың ұнтақтарының қоспасынан тұрады. Диэлектрикалық пасталар — түрлі құрамдағы оксидтер қоспасынан тұрады. Конденсаторлардың диэлектрикалық пленкалары үшін жоғары диэлектрикалық өтімділігі бар құрамдарды қолданады.

Резистивті-өткізгіш қалықтаспалы ИМС жасау ТП бір қатар кезенді ТО тұрады:

- Резистивті пастамен трафареттік баспа;
- Резистивті элементтерді күйдіру;
- ИМС бағыттағыш элементтерінің трафаретті баспасы;
- Бағыттағыш элементтерді күйдіру.

Қалың пленкалы гибриді ИМС әзірлеудің ТО жұқа пленкалы ИМС әзірлеу операцияларына ұқсас (11.4 сур. қараңыз) — түптөсемдерді бөлек төсемшеге кесу, құрамаларды төсемшеге орнату және т.б.

Қалық пленкалы технологияны гибриді ИМС әзірлеген кезде қолданады. Оның құндылығы — қарапайымдылығы, күрделі шығындардың аздығы, процестің жоғары өнімділігі, технологиялық жайларға қатаң талаптардың жоқтығы, автоматтандыру мүмкіндігі. Кемшілігі — барлық ИМС арасында ең аз интеграция деңгейі.

### 11.3. Беткі пішіндемені жасаудың технологиялық операциялары

Беткі пішіндемені жасаудың технологиялық операциялары РЭҚ технологиясында мол мәнге ие. Дәл осы операция микросұлбалар элементтерінің ең аз мүмкін болатын көлемдерін және олардың дәлдігін анықтайды. Планарлы суреттер жасау операциялары ПП жасаған кезде де маңызды, осы операциялар барысында бағыттағыштар және төсемшенің байланыс алаңдары жасақталады. Олар баспа төсемшелерде бағыттағыштар желісінің ең аз енін анықтайды. РЭҚ желілері мен модулдерін жинаған және құрастырған кезде бұл операциялар дәнекерлеуші пасталар мен желімдерді жергілікті жерде салу үшін қолданылады.

Беткі суреттерді жасау үшін трафаретті баспа және *фотолитография әдісі* пайдаланылады. Бұл әдістердің параметрлері 11.2. кестеде берілген.

11.2 кестеден көрінетіндей, *фотолитографиялық әдіс* суреттерді ең жоғары интеграция деңгейінде жасақтауға мүмкіндік береді, дәл осы әдіс ИМС және ПП технологиясында беткі пішіндеме жасаудың негізгі әдісі болып табылады. іг

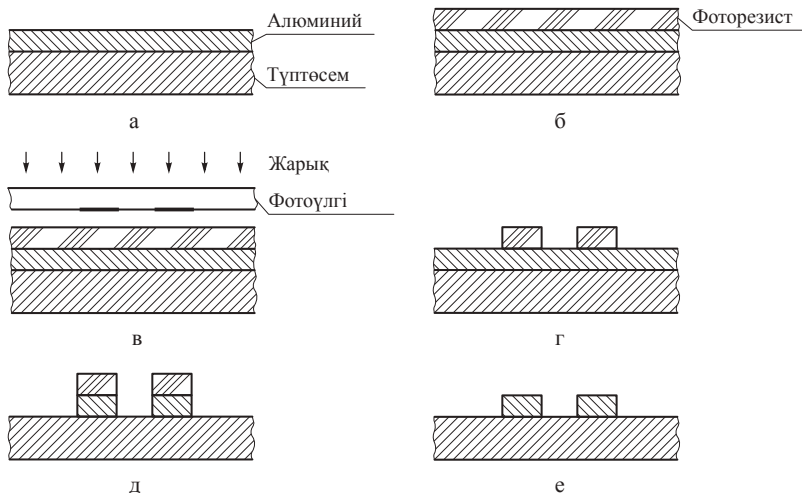
Түптөсемде тегіс пленкадан сурет жасаудың *фотолитографиялық процесі* бірнеше операциялардан тұрады. 11.14 сур. түптөсемге салынған алюминий пленканың беткі суретін жасақтаған кездегі фотолитографиялық процестің тізбектілігі көрсетілген.

Ең алдымен алюминий пленканың үстіне жарыққа сезімталдылығы бар арнайы материалдың — *фоторезисттің* (ағылш. to resist — қорғаныс) (11.14 сур., б) пленкасы салынады. Бұл пленка келешекте төменде орналасқан саланы таптауыш әсерден қорғайтын болады.

Фоторезистті *экспонирлеу* сатысында белгілі бір пішіндеменің тұнық алаңы бар арнайы шыны перде — *фотошаблон* пайдаланылады. Фотошаблондағы қара

11.2 кесте

| Беткі пішіндемені жасаудың технологиялық процесі       | Желінің ең аз енн, мкм | Технологиялық процестің қатысты бағасы |
|--------------------------------------------------------|------------------------|----------------------------------------|
| ИМС және ПП технологиясындағы трафаретті баспа         | 50... 75               | 1                                      |
| ПП өндірісіндегі фотолитография                        | 50 аса                 | 5...10                                 |
| Жұқа пленкалы гибриді ИМС өндірісіндегі фотолитография | 10...25                | 10...20                                |
| Жартылай бағыттағыш ИМС өндірісіндегі фотолитография   | 0,09.0,15              | 100.1000                               |



11.14 сур. Беткі суретті жасаудың фотолитографиялық процесі:

а — алюминий пленкасын салу; б — фоторезист пленкасын салу; в — фоторезистті экспонирлеу; г — фоторезистті шығару; д — алюминий пленкасының қорғалмаған учаскелерін таптау; е — фоторезистті алып тастау

орындар алюминий бағыттағыштардың жасалу орындарына сәйкес келеді. Осы операция барысында фоторезист қабаты фотошаблон арқылы белгілі бір мөлшердегі жарықтан сәулелену әсеріне ұшырайды (11.14 сур., в). Фотошаблонның тұнық жерлері арқылы жарық түсетін фоторезисттің орындарында химиялық өзгерістер болады, олардың нәтижесінде фоторезисттің экспанирленген жерлері арнайы химиялық ерітіндіде – шығарғышта еріп кету (көріну) қабілетіне ие болады. Фоторезисттің экспанирленбеген жерлері шығарғыштың әсеріне берілмейді. Шығарғаннан кейін алюминий пленканың бетінде фоторезисттің перде жасақталатын болады (11.14 сур., г).

Ары қарай барлық осы құрылым таптауыштың әсеріне ұшырайды, ол фоторезисттің пердемен қорғалмаған алюминий пленканы ерітеді (11.14 сур., д). Фоторезисттің пленкасын органикалық ерітіндімен немесе қышқылды плазманың әсерімен алғаннан кейін алюминий бағыттағыштардың қажетті суреті алынады (11.14 сур., е).

**Фоторезисттер.** Суреттер жасау үшін фоторезисттің екі түрі — құрғақ (қалыңдығы 25...400 мкм болатын пленка түріндегі) және сұйық пайдаланылады. Құрғақ пленкалы фоторезист жұмыс жасауға қолайды, алайда 50 мкм кем ені бар желілерді жасақтауға мүмкіндік бермейді; сұйық фоторезист көбірек рұқсат етуші қабілетке ие.

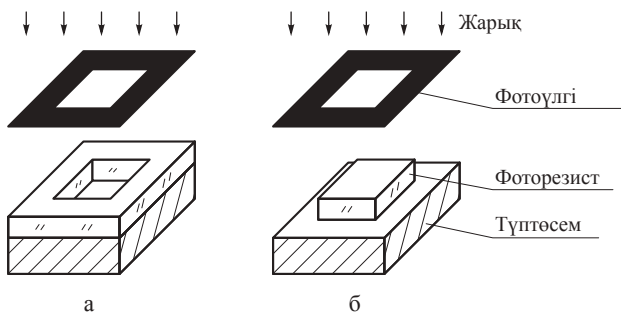
Фоторезисттер ретінде арнайы аморфты органикалық жарыққа сезімтал материалдар қолданылады. Фоторезисттер позитивті және негативті болып келеді. Егер түптөсемнің беткі жағында шығару кезінде фоторезисттің жарық түскен жерлері алынып тасталады (11.15 сур. а), — позитивті фоторезист. Көбінесе нафтохинондиазидтың құрамында азоты бар органикалық қосылысының негізіндегі позитивті резистер қолданылады.

Егер негативті фоторезистті қолданатын болса — фоторезисттің жарық түскен жерлері шығарғаннан кейін беткі жақта қалып қояды (11.15 сур. б), шығарғышта экспонирленбеген жерлері алынып тасталады. Молкулалары жарық әсерінен тігіліп кететін және шығарғышта еріп кетпейтін қабілетке ие болатын органикалық каучуктер негативті фоторезисттердің негізі болып табылады.

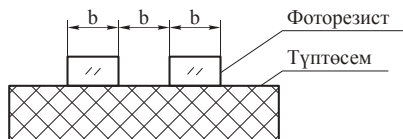
Фоторезисттің ең маңызды сипаттамасы — рұқсат еткіш қабілеті  $R = 1/(2b)$ , мұндағы  $b$  — желінің ең аз ені және ең аз саңылау, оларды пайдаланылатын фоторезистте істеуге болады (11.16 сур). Заманауи фоторезисттердің рұқсат еткіш қабілеті болады  $R > 5\,000\,1/\text{мм}$ , ол ені  $0,1\,\mu\text{м}$ . кем болатын суреттер жасауға мүмкіндік береді.

11.14 сур. көрсетілген сұлбаға сәйкес, фоторезисттің пленкасын салу фотолитографияның бірінші операциясы болып табылады, оның ең аз қалыңдығы ақаулардың (өтпелі саңылаулар - тесіктер) рұқсат етілген тығыздығымен шектелген, ал ең максималдығы — көрсетілім элементтерінің шағын көлемдерін алу мүмкіндігімен шектелген.

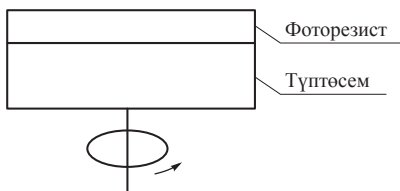
Сұйық фоторезисттен пленканы салу үшін көбінесе центрифугалау қолданылады. Түптөсемді центрифуганың жылдамдығы  $1\,000\ldots 5\,000\,\text{ай/мин.}$  дейін келтірілетін роторына салады. Айналып тұрған түптөсемге сұйық фоторезистті тамызады немесе шашыратады, ол түптөсемнің беткі жағына жайылып кетеді. (11.17 сур). Экспонирлеу алдында фотошаблондағы суретті түптөсемдегі фотолитографияның алдындағы процесінде орындалған суретпен қиыстыру керек.



11.15 сур. Позитивті (а) және негативті (б) фоторезисттерді пайдалану сұлбасы



11.16 сур. Фоторезисттің рұқсат етуші қабілетін анықтау



11.17 сур. Фоторезист пленкасын салу сұлбасы

Қиыстырған кезде әр фотошаблонда орындалған және әр фотолитография циклынан кейін түптөсемде қалатын арнайы белгілер (реперлік белгілер) пайдаланылады. Қиыстырған кезде фотошаблон үйлесімді өзіктер бойымен қозғалтады және толық қиысқан сәтке дейін айналдырады (фотошаблонның беткі жағына перпендикулярлы өзік айналасында). Әдетте қиыстыру және экспонирлеу бір технологиялық қондырғыда орындалады.

Экспонирлеген кезде фоторезист пленкасы фоторезисттің сезімталдылық спектральды саласында жатқан толқын ұзындығының жарығымен фотошаблон арқылы шығарылады. Фоторезисттің шығарылған жерлерінде жарық әсерінен химиялық реакциялар өтеді, позитивті резисттің осы жерлері шығарғышта еру қабілетіне ие болады.

Фоторезистивті пердеден пленка материалын таптау арқылы пішіндеменің қажетті беткі жағы жасақталады (11.14 сур. қараңыз, а).

Таптау үшін қышқылдардың, тұздардың және сілтілердің сулы ерітінділері қолданылады, олар тапталушы беткі жақпен химиялық түрде әрекетке түсіп, суда еритін реакция өнімін құрады. ИМС жиі қолданылатын материалдарына арналған таптауыштардың құрамдары 11.3. кестеде берілген.

11.3 кесте

| Материал              | Таптауыш құрамы                                                    | Таптауыш жылдамдығы |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Кремний диоксиді      | $\text{HF} : \text{NH}_4\text{F} : \text{H}_2\text{O} = 2 : 7 : 1$ | 2 мкм/с             |
| Кремний               | $\text{HF} : \text{HNO}_3 : \text{CH}_3\text{COOH} = 2 : 9 : 4$    | 5 мкм/мин           |
| Алюминий              | 50% $\text{H}_3\text{PO}_4$ , 60 °C                                | 0,2 мкм/мин         |
| Резистивті қорытпалар | $\text{HF} : \text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{O}$                    | 0,05 мкм/мин        |

## 11.4. Жартылай бағыттағыш ИМС әзірлеудің технологиялық процестері

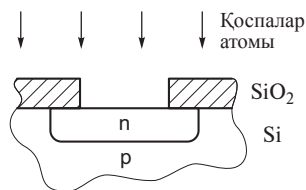
Жартылай бағыттағыш ИМС әзірлеген кезде, 11.2 және 11.3 құрылымдық бөлімшеде қарастырылған ТО басқа, арнайы ТО – кремнийдың тотығуы, жергілікті қоспалау және кремнийдың эпитаксиалды биіктету қолданылады.

**Кремнийдің тотығуы.** Осы ТО көмегімен монокристалликалық кремнийдің беткі жағында оксидті пленка өсіріп шығарады. Жартылай бағыттағыш ИМС технологияларында бұл пленка кремнийді жергілікті қоспалау ТО орындау кезінде перде ретінде қызмет етеді, оны орындау барысында қоспалар атомы кремнийдің ішінде орнығады және берілген бағыттағыш (мысалы, ft- түрлі 11.18 сур.) түрі бар саланы құрады. Қалыңдығы 0,5...0,6 мкм перделенетін  $\text{SiO}_2$  пленкасы арқылы қоспалар атомдары өтпейді. Бұдан өзге, оксидті пленка ИМС элементтерін бір бірінен оқшаулайтын диэлектрикалық қабат болып табылады.

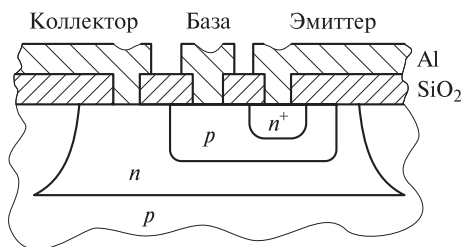
Мысалы, пленкалы алюминий ИМС бағыттағыштарды жартылай бағыттағыш түптөсемнен оқшаулап,  $\text{SiO}_2$  пленкасының беткі жағына орнатады (11.19 сур.).

Кремнийдің беткі жағында оксидті пленканы өсіру үшін түптөсем тотыққыш ортаға салады. Оттегі молекулалары қоршаған ортадағы кеңістіктен (11.20 сур.) беткі жақта бар оксидті пленкадан орнығады және  $\text{SiO}_2$  /Si шекарасында кремнийдің атомдарымен қосылып,  $\text{O}_2 + \text{Si} \rightarrow \text{SiO}_2$  оксидін құрады.

Бұл тотығу механизмі кезінде  $\text{SiO}_2$  пленкасы  $\text{SiO}_2$  /Si шекарасын кремнийдің ішіне түсіру арқылы өсіріледі. Бұл механизмдегі ең жай процесс – өсірілген пленка арқылы оттегі атомдарының орнығуы. Қолайлы уақыт ішінде оксидті пленка алу үшін, тотығуды жоғары температурада (1200 °C дейін) жүргізеді. Бұл оксид пленка арқылы оттегі атомының орнығу жылдамдығын арттырады.



11.18 сур. Оксидті перде арқылы жергілікті қоспалау



11.19 сур. Оксид кремнийдің беткі жағындағы пленкалы алюминий бағыттағыштар

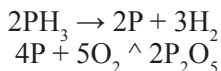
### Кремнийді жергілікті қоспалау.

Осы ТО көмегі арқылы белгілі бір жерде кремнийдің электрофизикалық қасиетін өзгертеді — өткізгіштің түрі (р—п-өтпелерді жасау үшін) немесе кремнийдің меншікті кедергісі.

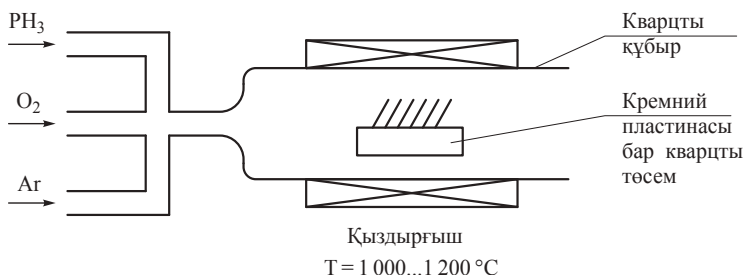
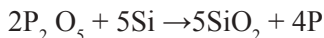
Қоспалауды кремний монокристалының беткі қабаттарына қоспалар атомын енгізу арқылы орындайды. Кремний — төрт валентті химиялық элемент; үшвалентті атомдарды енгізумен, мысалы борды, р- түрлі өткізгіштігі бар салаға қол жеткізеді; бес валентті атомдарды енгізумен, мысалы, фосфорды, — п- түрлі өткізгіштігі бар салаға қол жеткізеді.

Жергілікті қоспалауды екі технологиялық әдіспен орындауға болады — қоспалар атомдарының диффузиясы және жеделдетілген иондарды енгізумен (имплантация арқылы).

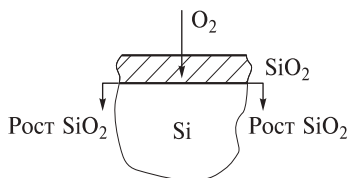
Жергілікті қоспалау кезінде қоспалар атомдарының диффузиясымен беткі жағында қажетті тесіктердің пішіндемесі бар оксидті перде жасалған кремнийлі түптөсемді жоғары температурадағы пешке орналастырады (11.21 сур). Газкөліктік ік жүйе түптөсемдерге  $\text{PH}_3$  фосфин газын және оттекті келтіреді. Аргон осы газдарды тасымалдауға және реакция өнімдерін жоюға қызмет етеді. Кварцты құбыр көлемінде жоғары температура кезінде келесі химиялық реакциялар жүреді:



Кремнийдің беткі жағында оксидті пленканың терезелерінде келесі химиялық реакциялар жүреді:



Сур. 11.21. Қоспа атомдарының диффузиясымен кремнийді қосындылау



11.20 сур. Оксидті пленканың тоттыққыш ортада өсу механизмі

Фосфор атомдарының диффузиясы нәтижесінде  $\text{SiO}_2$  пленкадағы терезе геометриясымен анықталатын беткі пішіндемесі бар р—п-көшу құралады.

Кремнийді жергілікті қоспалау кезінде вакуумды камерада орналасқан түптөсемге жеделдетілген иондарды енгізумен 30... 300 кВ (11.22 сур.) кернеумен жеделдетілген иондар ағыны бағытталады. Иондар, кремнийдің ішіне ене отырып, түптөсемнің кристалл торлардың атомдарымен соқтығысады да тежеледі. Кремний көлемінде оң иондар электрондармен қосылып, қоспаланған қоспа атомдар түзейді.

Қоспа атомдарды енгізудің жергіліктілігін қамтамасыз ету үшін перде пайдаланылады, ол  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , металлдардан (алюминий, алтын) немесе фоторезисттен орындалады. Бұл әдіс диффузионды әдіске қарағанда бірқатар артықшылықтарға ие:

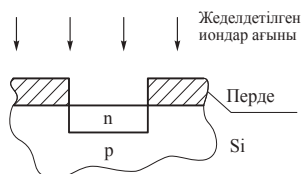
- Әдіс әмбебап, кез келген элементтің атомдарын кез келген түптөсемге енгізуге мүмкіндік береді;
- Енгізілген иондардың мөлшерін дәл реттеу мүмкіндігі;
- процесс кез келген, тіпті жоғары емес температураларда мүмкін болады;
- өтпе шекарасында қоспалардың шоғырланудың едәуір құламалауы бар р—п-көшуді жасақтау мүмкіндігі;
- оксид астына бүйір қоспалау әсерінің жоқтығы р—п-көшудің көлемдерін азайтуға мүмкіндік береді.

Қоспаларды ионды енгізу ИМС өндірісінде алаңдық транзисторларда кеңінен қолданылады. Әдістің кемшілігі – жабдықтың жоғары бағасы және жасалатын өтпенің шағын тереңдігі – көп қабатты биполярлы транзисторлық құрылымдарды алу үшін әдісті қолдануға мүмкіндік бермейді.

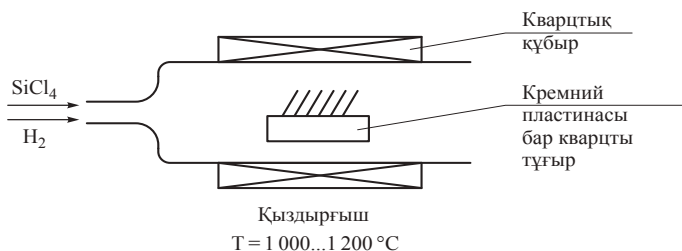
**Кремнийді эпитаксиалды үдемелеу.** Бұл ТО көмегі арқылы монокристалды кремнийлі түптөсемде кремнийдің монокристалды пленкасын өсіреді. Бұл ТО орындау үшін орнату сұлбасы 11.23 сур. көрсетілген. Кварцты құбырдың жоғары температуралы алаңына  $\text{SiCl}_4$  газдарын және  $\text{H}_2$  сутегін береді. Жоғары температура болған кезде кремнийдің сутекпен қалпына келуі түзіледі:



Кремнийдің қалпына келген атомдары түптөсемде шөгеді және түптөсемнің монокристалды құрылымын сақтай отырып, кремний пленкасының өсуін қамтамасыз етеді. Бұл ретте кремнийдің (өткізгіштік түрі, меншікті кернеуі) үдетілетін эпитаксиалды пленкасының электрофизикалық параметрлерін жоғары температуралы алаңға қоспалар атомын енгізу арқылы басқаруға болады.



11.22. сур. Қоспаның жеделдетілген иондары енгізумен кремнийді қоспалау

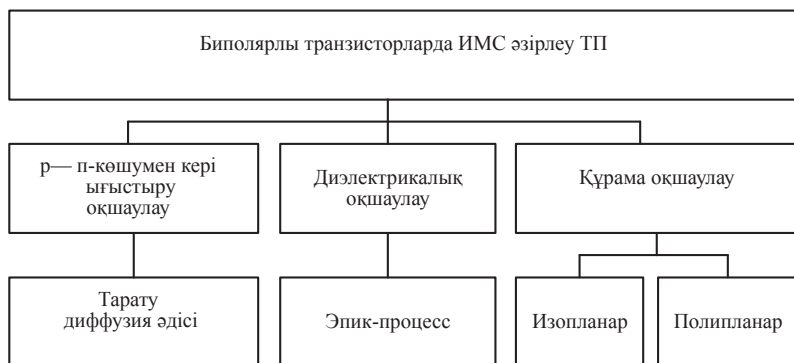


11.23 сур. Кремнийді эпитаксиалды үдетуге арналған қондырғының сұлбасы

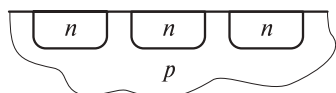
Пленкілерді салу, фотолитография, жергілікті қоспалау, эпитаксиалды үдету, кристалдарға бөлуді ТП жартылай бағыттағыш ИМС әзірлеу ТП құрамдастырады. ИМС элементтерді оқшаулау түрі бойынша осы ТП биполярлық транзисторларда (БПТ) құрамдастыру 11.24. сур. көрсетілген.

Жартылай бағыттағыш ИМС бөлек БПТ тұрады, олар электр сұлбаға біріктірілген. Бұл транзисторлар кремний кристалының көлемінді жасақталған, және егер арнайы шаралар қабылданбаса, онда оның ақырғы электр өткізгіштігінің есебінен элементтерінің арасындағы электр сұлбасымен қарастырылмаған ИМС паразиттік кондуктивті байланыстары туындайды. Оларды басу үшін элементтерді оқшаулауды пайдаланады: кері ығыстырылған р—п-көшумен, диэлектрикпен немесе оларды құрамдастырумен.

Кремнийлі түптөсемде кері ығыстырылған р—п-көшумен оқшаулаған кезде кремнийлі түптөсемге қатысты өткізгіштіктің қарама-қарсылық түрі бар сала жасалады (11.25 сур). Әр салаға кернеу бере отырып, жасалған жабылатын р—п-көшу, түптөсемнен оқшауланған саланы алады, олардың әр қайсысында жартылай



11.24 сур. БПТ жартылай бағыттағыш ИМС әзірлеу ТП жіктеу



11.25.сур. Кері ығыстырылған  $p-n$ -көшумен ИМС элементтерін окшаулау

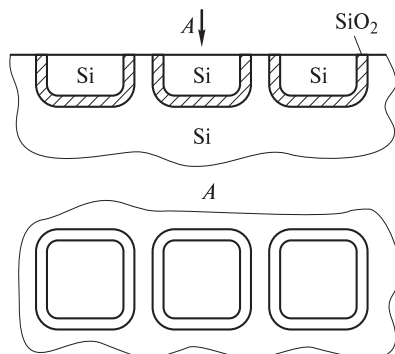
Бағыттағыш ИМС бөлек элементтері — транзисторлар, резисторлар, диодтар жасақталады. Бұл окшаулау әдісі іске асыруда өте қарапайым, алайда окшауланатын салалар саны бойынша шектелген, яғни, ИМС (300 — 500 кем). транзисторлар саны бойынша шектелген.

Сур. 11.26. кері ығыстырылған  $p-n$ -көшумен ИМС элементтерін окшаулау. Бұл түрдің окшаулау сапасы пайдалану жағдайларына: температураға, иондайтын сәулелендіру ағынының тығыздығына тәуелді.

Диэлектрикпен элементтерді окшаулаған кезде кремний саласында бөлек салалар жасалады, олар түптөсемнен диэлектрикалық қабатпен окшауланған (11.26 сурет). Кері ығыстырылған  $p-n$ -көшумен окшаулау әдісімен салыстыра қарағанда бұл әдіс күрделірек, бірақ элемент және түптөсем арасында ағып кету токтарын бірнеше ретке азайтуға. ИМС температуралық және радиациялық орнықтылығын арттыруға мүмкіндік береді. Бұл әдісте окшауланатын элементтер санына шектеу жоқ. Қоршауланған саладағы өткізгіштік түрі түптөсемнің өткізгіштік түріне байланысты емес; Коллектор—түптөсем  $C_{k-p}$  паразиттік ыдыстарының аздығы салдарынан ИМС үлкен жүйіліктерде жұмыс істей алады. Әдістің кемшіліктері: окшауланған салаларды құрудың күрделілігі, кристалдың бір бөлек алаңы окшаулау салаларының диэлектрикімен жұмыс істейді.

Кері ығыстырылған  $p-n$ -көшумен окшаулауды іске асырудың қарапайымдылығын және диэлектрикалық окшаулаудың жоғары сапасын байланыстыратын ымыралы түпнұсқасы окшаулаудың құрастырмаланған әдісі болып табылады. Бұл әдісте окшауланған салалардың (11.27 сур.) жанында оксидті пленкадан диэлектрикалық окшаулау, ал төменде — кері ығыстырылған  $p-n$ -көшумен орындалған окшаулауы бар.

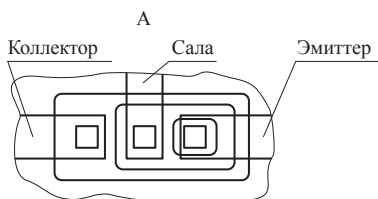
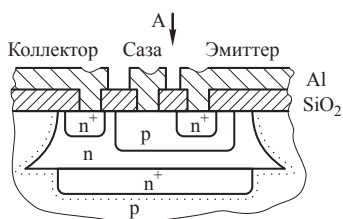
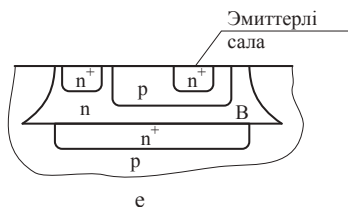
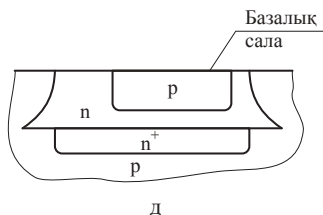
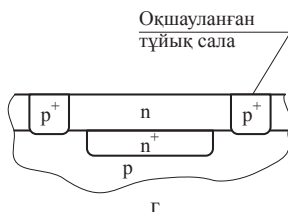
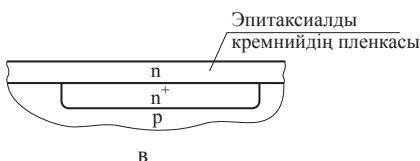
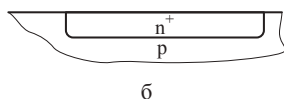
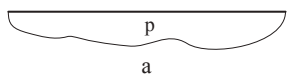
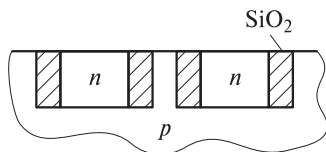
**Окшауланған салаларды жасау ТП.** БПТ жартылай бағыттағыш ИМС жасау ТП окшауланған салаларды таратушы диффузия, эпок-



11.26 сур. ИМС элементтерін диэлектрикпен окшаулау

процесс және полипланар әдістерімен жасайды.

Таратушы диффузия әдісі кері ығыстырылған р—п-көшумен оқшаулау арқылы БПТ жартылай бағыттағыш ИМС жасау ТП негізінде жатыр. Транзисторды осы әдіспен жасау тізбектілігі 11.28 сур. көрсетілген. 200...250 мкм (рис. 11.28, а) болатын кремнийдің бастапқы пластинасында оксид перде арқылы жергілікті оспалау арқылы коллектор саласының кернеуін азайтуға қажетті n+-түрлі (11.28 сур, б) жасырын коллекторлық қабат жасақтайды. Үстіңгі жағынан кремнийдің (11.28 сур, в)



ж

11.28 сур. Таратушы диффузия әдісі:

а — кремнийдің бастапқы пластинасы; б — жасырын коллекторлық қабат жасақтау; в — эпитаксиалды қабатты жасақтау; г — оқшаулаушы саланы жасақтау; д — ИБТ базасы саласын жасақтау ИБТ; е — ИБТ эмиттері саласын жасақтау; ж — бағыттағыштарды жасақтау

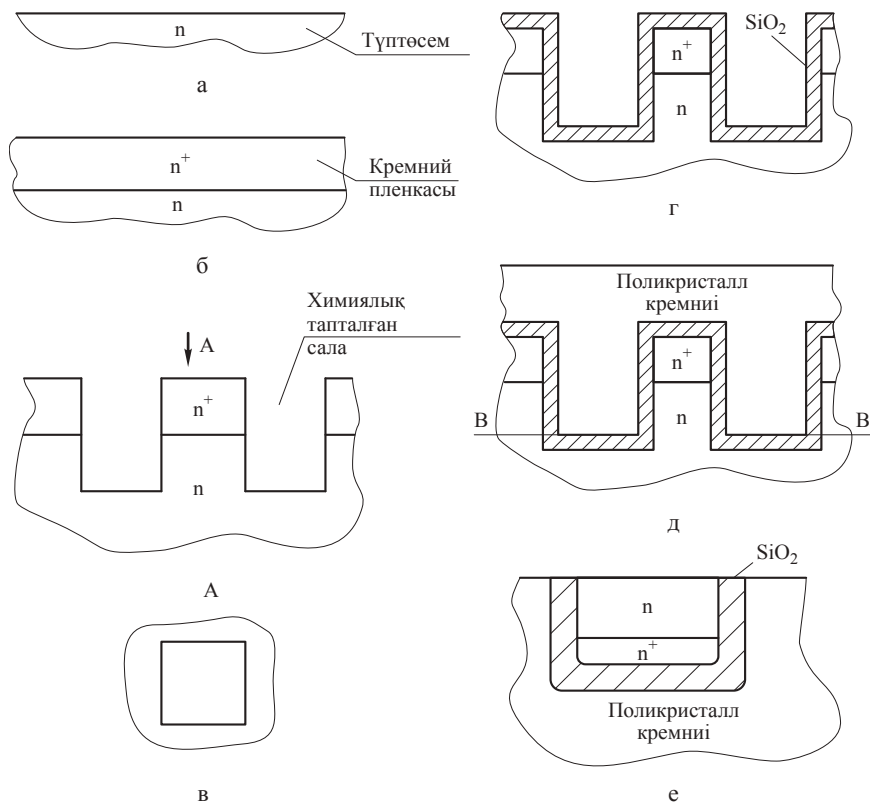
өткізгіштігі бар эпитаксиальды қабатын үдетеді. Осы қабатта келешекте коллектордың п-саласы жасақталатын болады.

Қоспалардың таратушы диффузиясымен болашақ транзистордың айналасында жабық оқшаулағыш р+ сала жасақталады. Бұл ретте қоспаларды қоспалауды диффузионды р+ салаларды р-түіптөсеммен (11.28 сур., г) түйістіруге дейін жүргізеді. Нәтижесінде р-түрлі өткізгіштігі бар кремниймен жан жақтан қоршалған п-түрлі оқшауланған өткізгіштің саласы жасақталады. Осы оқшауланған салада биполярлы транзистор жасақталатын болады, ал п-сала оның коллекторы болып табылады. Транзистор жұмыс жасап тұрған кезде түіптөсемге қатысты коллекторға оң кергеу берілетін болады. Бұл кернеу р—п-көшудің тыйым салуы және транзистор түіптөсемнен оқшауланатын болады.

Коллекторлық п-саланың ішінде жергілікті қоспалау арқылы р-түрлі (11.28 сур., д) бастапқы сала жасақталады. Сонымен, бастапқы сала ішінде жергілікті қоспалаумен эмиттерлік п+-сала жасақталады. Осы п-саламен қатар коллектордың п-саласының ішінде алюминий байланыстың коллекторлық саламен (рис. 11.28, е) кернеуін азайту үшін жасақталады. Алдыңғы операциялар барысында өсірілген оксидті пленкада, фотолитографиямен коллектордың, базаның және эмиттердің салаларына жеткізілген байланыс астына тесіктер ашады. Термовакуумды әдіспен үстіңгі жағынан алюминий пленкасы салынады және фотолитографиямен пленкалы алюминий бағыттағыштардың суреті жасақталады, олар осы транзисторды басқа транзисторлармен электр сұлбасына қосады (11.28 сур., ж).

Таратушы диффузия әдісі ТО қарағанда ИМС БПТ, резисторларын және диодтарын қарапайым етіп жасауға мүмкіндік береді. Осы әдіспен интеграцияның шағын деңгейі бар ИМС жасақтайды.

*Эпик-процесс* диэлектрикпен оқшаулау әдісінің бір түрі болып табылады, оның кезінде әуелі п-түрлі (11.29 сур., а) түіптөсемге кремнийдің қалыңдығы шамамен 5 мкм (11.29 сур., б) болатын эпитаксиалды п+-қабаты өсіріледі, яғни — БПТ жасырын коллекторлық қабаты.  $\text{SiO}_2$  жасалған пердені немесе фоторезистті қолдана отырып, алынған құрылымды 20...30 мкм (11.29 сур., в) тереңдікке таптайды. Құрылымның беткі жағын қышқылдандырады (11.29 сур., г) және қалыңдығы 200.250 мкм (11.29 сур., д) болатын поликристалды кремний қабатын өсіреді. Механикалық ажарлау және химиялық таптау (11.29 сур., д). арқылы монокристалды түіптөсемнің төменгі бөлігін В—В желіге дейін алып тастайды. Нәтижесінде төңкерілген түіптөсемде жасақталған «қалта» — диэлектрикалық оқшаулаумен (11.29 сур., е) қоршалған жасырын коллекторлық қабаты бар п-түрлі монокристалды кремний саласы пайда болады. Осы салада БПТ жасақтау операциялары орындалады (11.28 сур. қараңыз, д...ж).

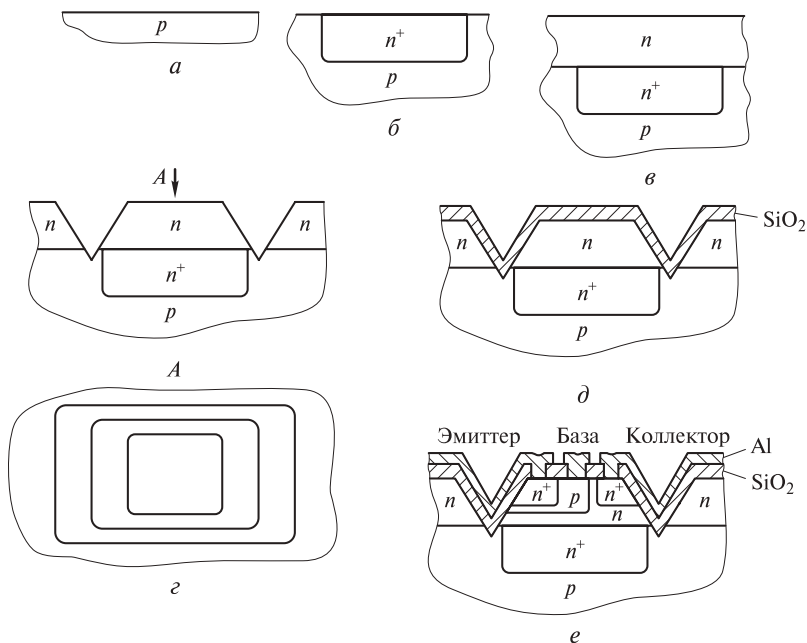


11.29 сур. Эпик-процестің құрылымы:

а — кремнийдің бастапқы пластинасы; б — жасыры қабатты жасақтау; в — берілген тереңдікке қабатты таптау; г — окшаулаушы қабатты жасақтау; д — поликремний қабатын өсіру; е — ИБТ үшін «қалта» жасақтау

Таратушы диффузия әдісіне қарағанда ИМС әзірлеудің осы ТП күрделірек, алайда олардың арасында пайдалану жағдайларының жағымсыз факторларының әсеріне қарсы тұра алатын және коллектор — түптөсем  $S_{к-п}$ , паразиттік ыдысының аздығының есебінен жоғары шекаралық жиіліпен окшаулаудың жоғары сапасы бар транзисторларды жасақтауға мүмкіндік береді.

*Полипланар* — окшаулаудың БПТ көлемін едәуір азайтуды, кристал алаңында транзисторлардың мол санын орналастыруды және мол функционалдық мүмкіндігі бар ИМС жасақтауды мүмкін ететін жиынтықталған әдісі. Бұрынғы ТП сияқты, ТО жергілікті қоспалауда және эпитаксиалды өсіруде жасырын коллекторлық қабат және эпитаксиалды қабат бар құрылым жасакталады (11.30 сур., а... в).



11.30 сур. Полипланар процесінің құрылымы:

а — кремнийнің бастапқы пластинасы; б — жасырын қабат жасақтау; в — эпитаксиалды қабатты жасақтау; г — кремнийдің анизотропты желінуі; д — оқшаулаушы қабатты жасақтау; е — ИБТ жасақтау;

V-бейнелі пішіндегі оқшаулаушы каналшаларды жасақтау үшін транзисторлық құрылым айналысында кремнийдің анизотропты таптау ОК (11.30 сур., г) жүргізеді. Оны жүргізген кезде кремнийдің арнайы таптаушы қолданылады, ол монокристаллды түрлі кристаллографиялық бағыттарда таптайды.

Беткі жақ қышқылданғаннан кейін жинақталған оқшаулауы бар сала құралады: төменде — кері ығыстырылған р—к-көшүмен, ал жан жақтарынан —SiO<sub>2</sub> (11.30 сур., д) диэлектрикпен. БПТ құрылымын жасақтау бұрын қарастырылған әдістерге ұқсас орындалады (11.30 сур., е).

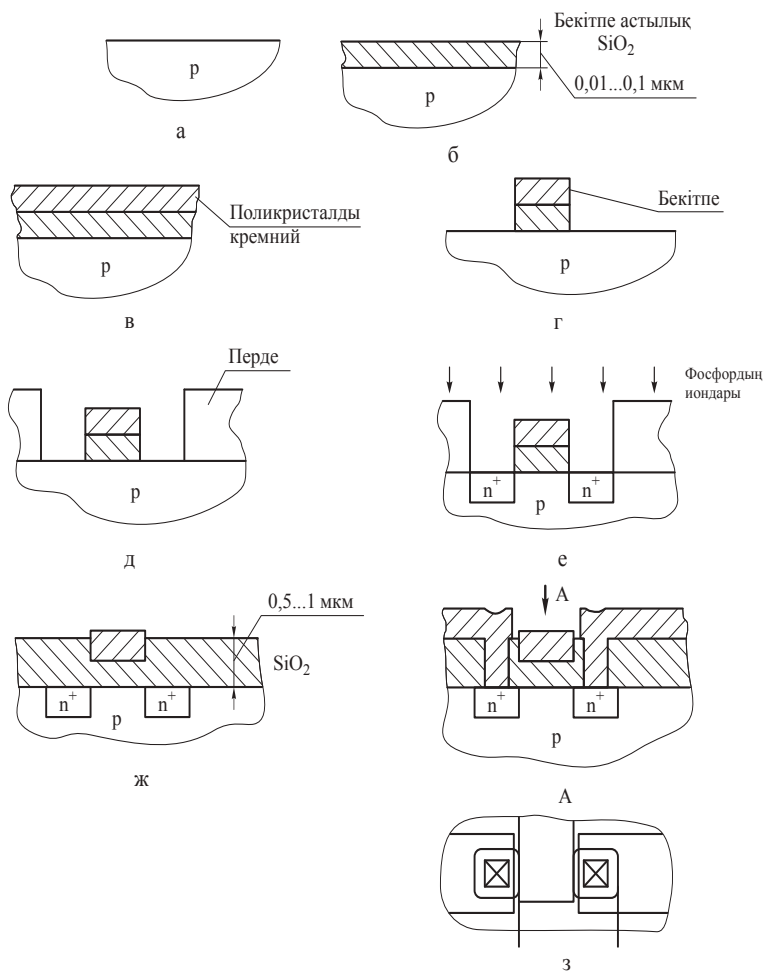
Бұл әдіс құрамдарды кристалда орналастыру тығыздығын арттыруға мүмкіндік береді, соның салдарынан оқшаулаушы V-бейнелі каналшық түсптөсемнің қатысынша кем алаңынан орын алады.

## 11.5. Алаңдық транзисторларда ИМС әзірлеудің технологиялық процестері

Қазіргі уақытта барлық жартылай бағыттағыш ИМС өндірісінің 80 % астам көлемі алаңдық транзисторлардағы ИМС (ПТ) құрайды.

Оларды әзірлеген кезде БПТ ИМС әзірлегенде қолданылатын жартылай бағыттағыш өндірістің ТО пайдаланылады, яғни, — кремнийді қышқылдануы, топологиялық суретті фотолитографиялық жасақтау, жергілікті қоспалау, алюминий жалату және т.б.

ПТ құрамасы БПТ құрамасына қарағанда әлдеқайда қарапайым, олардың негізінде ИМС ТП әзірлеу де қарапайым, бұл өндіріс кезінде



### 11.31 сур. Интегралды ПТ әзірлеу процесі:

а — кремнийнің бастапқы пластинасы; б — оксидті қабат жасақтау; в — поликремний қабатын салу; г — бекітпені жасақтау; д — фоторезистивті пердені салу; е — бастау және құйма саласын салу; ж — оксид қабатын салу; з — бағыттағыштарды салу

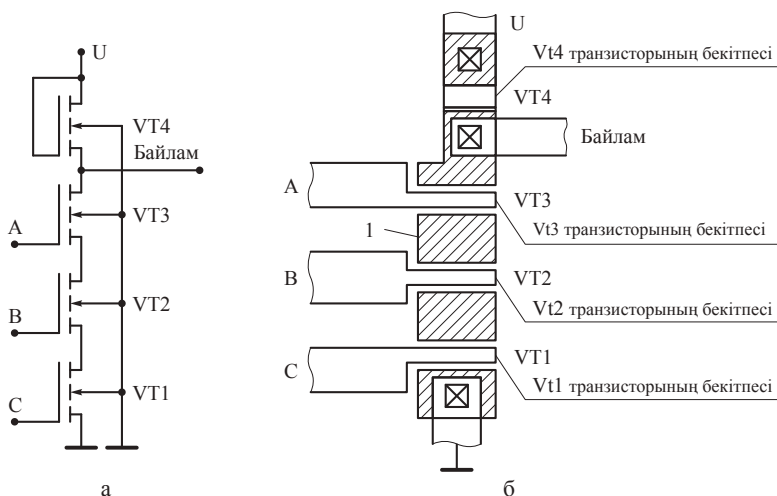
ИМС кристалдарының ақау санының азаюына алып келді. Интегралды ПТ құрылымы қоректендіргішке қосқан кезде түптөсемнен өзінен өзі оқшаулануымен ерекшеленеді, сондықтан оны түптөсемнен электрикалық оқшаулау бойынша арнайы шаралар қажет емес. Бұл ПТ көлемін азайтуға мүмкіндік береді.

Оқшауланған бекітпесі бар интегралды ПТ әзірлеу ТП 11.31 сур. көрсетілген. ТО тізбектілігі ПТ каналының (бастау мен құйма арасындағы ара қашықтық) ең аз ұзындығын қамтамасыз етуі тиіс, оған ПТ шекаралық жиілігі байланысты. ПТ көлемдері фотолитография процесінің мүмкіндік шегінде қамтамасыз етіледі. Бастау мен құйма арасында бекітпе жасақтаған кезде де қиындық туындайды. Бұл талаптарды орындау үшін бекітпенің бастау мен құйманың салаларымен өзінен өзі бірігуі пайдаланылады. Қалыңдығы 200...250 мкм (11.31 сур., а) болатын кремний пластинаның беткі жағында  $\text{SiO}_2$  (11.31 сур., б) бекітпе астылық оксидтің жұқа пленкасы өсіріледі, онда ПТ бекітпесі жататын болады. ПТ кіріс сипаттамасының күштілігін арттыру үшін бекітпе астылық оксидтің қалыңдығы шағын (0,01-0,05 мкм) болуы тиіс. Осындай шағын қалыңдықпен пленкалардың теріс сызықтарын болдырмас үшін, оксидті өсірген кезде тығыз ақаусыз пленкаларды алуды мүмкін ететін шараларды қабылдайды. Оксидтің үстіне өткізгіш поликристалды кремнийдің пленкасы салынады, одан келешекте транзистордың (11.31 сур., в) бекітпесі жасақталатын болады. Фотолитография әдісімен екі жоғарғы пленкадан екі қабатты құрылым — оксидте жатқан ПТ бекітпесі жасақталады (11.31 сур., г). Түптөсемнің беткі жағында фоторезистивті перде жасалады, оның терезелері транзистордың бастауы мен құймасына сәйкес келеді (11.31 сур., д).

Бастау мен құйма саласын жасақтау үшін қоспаны ионды енгізу арқылы жергілікті қоспалау әдісі қолданылады. Түптөсемге ионды қоспалау қондырғысында фосфор иондарының ағыны бағытталады, ол бастауы мен құйманың  $p^+$ -саласын жасайды. Бұл ретте екі қабатты құрылым бекітпе – бекітпе астындағы оксид ПТ каналын жасақтаушы перде болып табылады. Осы операция барысында транзисторлық құрылымның өзінен өзі құрылуы жүреді – бекітпе дәл бастау мен құйма арасында жататын болады (11.31 сур., е). Фоторезистивті перде шешілгеннен кейін (0,6... 1 мкм) қабаты өсіріледі, онда пленкалы бағыттағыштар және байланыс алаңдары орналасатын болады (11.31 сур., ж).

Қорытынды операциялар — алюминий пленкасын салу және бұрын қарастырылғандарға ұқсас бағыттағыштардың коммутациялық жүйесін қалыптастыру (11.31 сур., з).

ПТ ИМС интеграциясы деңгейін арттыру оның бастауы мен құймасының функциясының тең мәнділігіне себеп болды. ПТ бұл қасиеті алаңдық құрылымдарды жасауға мүмкіндік береді, онда бір  $p^+$ -сала бір транзистордың бастауын және екінші транзистордың құймасы ролін атқарады.



11.32 сур. 3И —НЕ логикалық элементінің электр сұлбасы (а) және топологиясы (б):

1 — транзисторлардың жалпы диффузионды саласы ; А, В, С — қысқанды кірулер

Осыны көрсету үшін 11.32 сур., а 3И—НЕ қысқанды элементінің электрикалық сұлбасы көрсетілген. Ал 11.32 сур., б — осы сұлбаны іске асырушы топологиялық кесте берілген. 1 диффузионды сала 11.32 сур., б, бір жағынан - VT3 транзисторының бастау қызметін, ал екінші жағынан — VT2 транзисторының құймасы қызметін атқарады. Бұл қасиет сонымен қатар ИМС элементтерімен ПТ алып жатқан алаңды азайтуға мүмкіндік береді.

## 11.6. Индуктивтілік шарғы, трансформаторлар, дросселдер әзірлеудің технологиялық процестері

РЭҚ индуктивті құрамалар — индуктивтілік шарғылары, трансформаторлар, дросселдер кеңінен қолданылады. Олар жиілік-таңдамалы тізбектерінің (радиоқабылдағыштардың кіріс тізбектері, резонансты контурлары), дабыл беру тізбектерінің (импульстерді жасақтауға арналған трансформаторлар, импульс кернеуін арттыру және төмендету, полярлығын өзгерту, қарсыласуларын келісу), ауыспалы кернеудің түрлендіру тізбектерінің (коректендіру тізбектерінің трансформаторлары) негізі болып табылады.

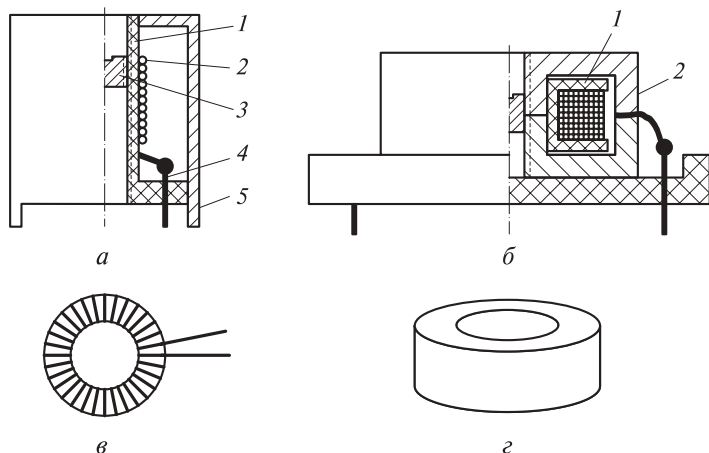
Индуктивті құрамаларды ТП әзірлеу басқарушы құжаттармен (ОСТ4.ГО.054.069 «Электрорадиоэлементтер шарғылары. Типтік технологиялық процестер», ОСТ4.ГО.054.247 «Таспалық кесілетін бір фазалы трансформаторларға арналған магнитсымдар. Типтік

технологиялық процестер», ОСТ4.054.057 «Радиоэлектронды тұрмыстық аппаратура. Индуктивтілік шарғылары. Автоматтандырылған ораудың типтік технологиялық процестері» және т.б.) стандартталған.

**Индуктивті құрамалар құрылымының түрлері.** Құрылмалы-технологиялық белгілері бойынша кеспе құрыштау және сақиналы магнит құбырлары бар индуктивтіліктің жоғары жиілік шарғылары және индуктивті құрамалары (трансформаторлар, дросселдер) деп екі айырады.

Индуктивтіліктің жоғары жиілік шарғылары (цилиндр шарғысы бар, құрыштау өзегінде орналасқан шарғысы, сақиналы өзекте орналасқан шарғы) құрамалары 11.33 сур. көрсетілген. Индуктивті цилиндрлік шарғыдағы (11.33 сур., а) 1 цилиндрлік қаңқада 2 шарғының орамдары орналасқан, олар оқшауланған мыс сымнан жасалған. Шарғының шеттері 4 байланыс байламдарына дәнекерленген. Электромагниттік әсерлерден қорғау үшін шарғы металл экранға 5 (алюминийден немесе алюминий қорытпасынан жасалған) орнатылған. Мыстан, бронзадан, ферромагнитті немесе магнитодиэлектрикалық материалдардан жасалған 3 өзекті айналдыру арқылы шарғының индуктивтілігін өзгертеді.

Индуктивтіліктің жоғары жиілік цилиндрлік шарғылардың қаңқалары керамикадан, термопластикалық материалдан (полистирол, АГ-4 түрлі пресс-материал және т.б.) орындалады. Қалыпты индуктивтілік шарғыларын өткізбе күміс пастамен керамика қаңқаға орамдар салу арқылы әзірлейді, кейін пастаны күйдіреді (қалың пленкалы технология бойынша).



11.33 сур. Жоғары жиілік индуктивтілік шарғысының құрылымы:

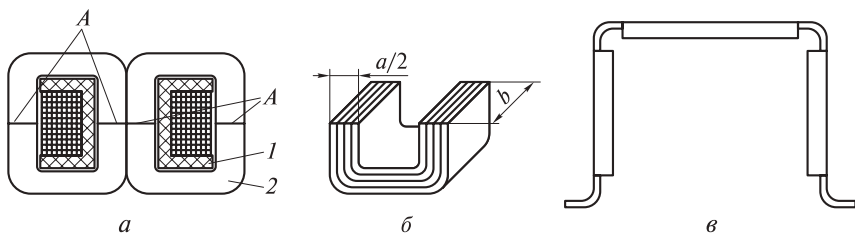
а — цилиндр қаңқада (1 — қаңқа; 2 — орамдар; 3 — өзектер; 4 — байлам; 5 — экран); б — бронды өзекте (1 — қаңқа; 2 — өзек); в — сақиналы өзекте; г — өзек

Бронды өзектегі жоғары жиіліктегі шарғыда (11.33 сур, б) 1 диэлектрикалық қаңқадағы орама екі айшанақта желімделген 2 бронды өзектің ішінде орналасқан. Бронды өзек ферриттен немесе магнитодиэлектриктен жасалған. Сақиналы өзектегі жоғары жиіліктегі шарғының (11.33 сур., в) қаңқасы жоқ, оның функциясын ферриттен немесе магнитодиэлектриктен жасалған өзектің өзі орындайды (11.33 сур, г). Мыстан жасалған оқшауланған сым орамасы тікелей өзекке оралады, ол сымның өзектің өткір ұштарымен зақымдалуын болдырмау үшін алдын ала қағазбен немесе сырлыматамен оралған.

Кеспе бронды магнитсымдары бар индуктивті құрамалардың құрылғысы (трансформаторлардың, дросселдердің) 11.34 сур., а. көрсетілген. Диэлектрикалық қаңқадағы 1 шарғы кеспе магнитсымының 2 ішіне орналастырылған, ол желімделген таспалардан жасалған бөлек элементтерден тұрады (11.34 сур, б), таспалар түрлі көлемдерде шығарылады:  $a = 4 \dots 40$  мм,  $b = 5.80$  мм, және құйынды токта шығынды азайту үшін оксидтің жұқа қабатымен жабындалған.

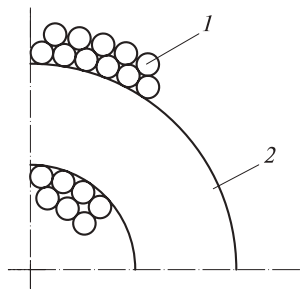
50 Гц, жиілігінде жұмыс жасайтын коректендіргіш трансформаторлар үшін магнитсым Э3411, Э3421 маркалы электртехникалық суықилемделген трансформатор құрышынан және т.б. жасайды. Магнитсымның шеттерін (А тегістігі, 11.34 сур. қараңыз, б) ажарлайды және маймен майлайды. Трансформаторды жинаған кезде өзектердің жабыны алынып тасталады, ал олардың арасындағы саңылау (А, 11.34 сур. қараңыз, а) ферромагнитті толтырғышы бар желіммен толтырылады.

Дросселдерді әзірлеген кезде магнитсымдағы саңылауды жасау белгілі бір өлшемдегі қағаздан немесе картоннан жасалған диэлектрикалық төсемше енгізу арқылы орындалады. Магнитсымның бөлек элементтері арасындағы саңылау жасақталады.



11.34 сур. Кеспе бронды магнитсымдары бар индуктивті құрамалардың құрылғысы:

а — жинағанда (1 — қаңқа; 2 — магнитсым); б — таспалы магнитсым құрылғысы  
в — қапсырма



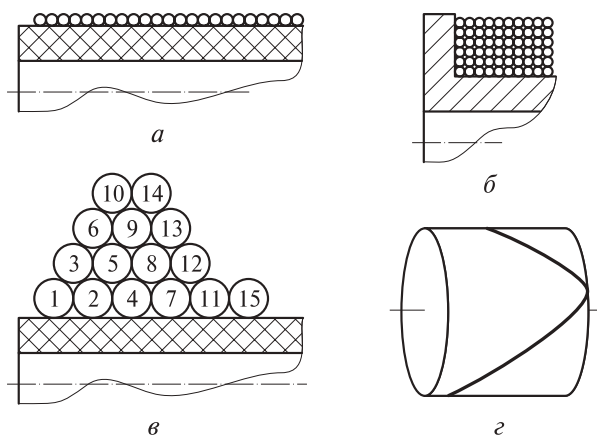
Сур. 11.35. Сақиналық магниттік тізбектегі индуктивті компонент:  
1 — орамдау; 2 — білігі

Жинаудың соңғы кезеңінде құрылым құрылымдағы индуктивті компонентті бекітетін кронштейнге орналастырылады (сур. 11.34, в).

Сақиналық магниттік тізбектегі индуктивті компонент — тороидтық трансформаторлар (сур. 11.35) — көп қабатты орамасы бар 1 сақиналы ядроағы оқшауланған сымнан 2.400 Гц-ге дейінгі жиілікте жұмыс істейтін тороидальды күштік трансформаторлардың ядролары, Э3411, Э3421 маркалы электротехникалық трансформатордан жасалған таспаны қаптау арқылы өндіру.

Импульстік трансформаторлар үшін қалыңдығы 0,15...0,08 таспасы (импульстердің ұзақтығы 0,1 мс) Э3422...Э3425 маркалы трансформаторлық болат пайдаланылады. Кішірек импульстарда 47НК, 50Н, 79НМ (пермаллои) ферромагнитті қорытпалы қалыңдығы 15 . 80 мкм таспасы және 1500НМ, 2000НМ, 2500НМ маркалы жұмсақмагнитті ферриттер және т.б. қолданылады.

Индукциялық компоненттерді дайындау кезінде, лакпен оқшауланған (ПЭЛ, ПЭВ маркалы), лактың үстіңгі жағынан (ПЭЛШО, ПЭЛО маркалы) қосымша жібек немесе синтетикалық оқшаулаумен, лакпен оқшаулаумен (РЕЛ, РЕВ) диаметрі 0,032 мм-ден 1,5 мм дейінгі бір реттік оқшауланған сымдар, ПЭТВ полиэтилентерефталат оқшаулау (химиялық және термиялық тұрақтылығымен бірге) сымдар қолданылады. Жоғары жиілікті катушкалар үшін литцендрат



Сур. 11.36. Орамдар түрлері:

а — бірқабатты; б — көпқабатты; в — пирамида тәрізді; г — әмбебап

қолданылады — бір-бірінен бірнеше оқшауланған сым (ЛЭЛ, ЛЭШО, ЛЭЛД маркалы және т.б.).

***Индуктивті компоненттердің катушка орамдарының түрлері.***

Индуктивті компоненттердің орамдары – бір қабатты және көп қабатты – ораммен жасалады. *Орам* —сымды белгілі бір тәртіппен төсеп, оны ораманың, трансформаторлардың және штуцерлердің көрсетілген индуктивтілігін алу үшін бекіту. Сым салу заңы арнайы орамалы машиналарды пайдалану арқылы қамтамасыз етіледі.

*Бір қабатты орамалар* сымның бұралған сымдарының бір қабатын қамтиды және оқшауланған сыммен немесе қадаммен (тұрақты немесе айнымалы) орайды. Сақинаның ядросына оралған кезде мұндай орамалар бір қабатты тороидаль деп аталады. Бір қабатты орамалардың шағын ішкі қуаты бар және резонанстық тізбектердің катушкаларын өндіру үшін қолданылады.

*Көп қабатты орамалар* (сурет 11.36, б) оқшауланған сыммен қабаты арқылы орайды. Мұндай орамалы катушкалар үлкен паразиттік айналдыру қабілетіне, оқшаулау қабаттары (лак, кабельдік қағаз) арасында төсеуді талап ететін катушаның іргелес қабаттарында орналасқан бұрылыстар арасындағы әлеуетті жоғарылаудың артуына ие. Катушкалардың өлшемдері диэлектрлік жақтаудың өлшемдеріне байланысты, ол бірнеше жеке бөліктерге ие болуы мүмкін (катушкалардың сыйымдылығын азайту үшін пайдаланылатын көп қабатты орамал). Көп қабатты катушкалар сақиналы ядроға оралуы мүмкін.

Көп қабатты катушкалардағы сымдарды төсеу қарапайым, пирамидалы және әмбебап болуы мүмкін. Қалыпты төсеу кезінде, сым орамды кезекке қойылады. Орамның бұл түрі қарапайым, күшті және импульстік трансформаторларға, штуцерлерге кеңінен қолданылады. *Пирамидалық төсеу* жағдайында, сымдар бұрылыс пирамидасының бір жағы етіп салынады (сур. 11.36, в). Бұл төсеу әдісінде іргелес қабаттар арасындағы кернеу көп қабатты қарапайым орамға қарағанда әлдеқайда төмен. Орамның осы күрделі түрі жоғары вольтты трансформаторларда және штуцерлерде қолданылады.

*Әмбебап төсеу* кезінде сымның әрбір бұрылысы орамдағы жазықтыққа бұрылады, бұл әрбір революция үшін сымның екі немесе одан көп бұралуына әкеледі (сур. 11.36, г). Бұл орамның конструкциясы шағын ішкі сыйымдылыққа ие және жоғары жиілікті электр тізбектерін және трансформаторларды дайындау кезінде қолданылады.

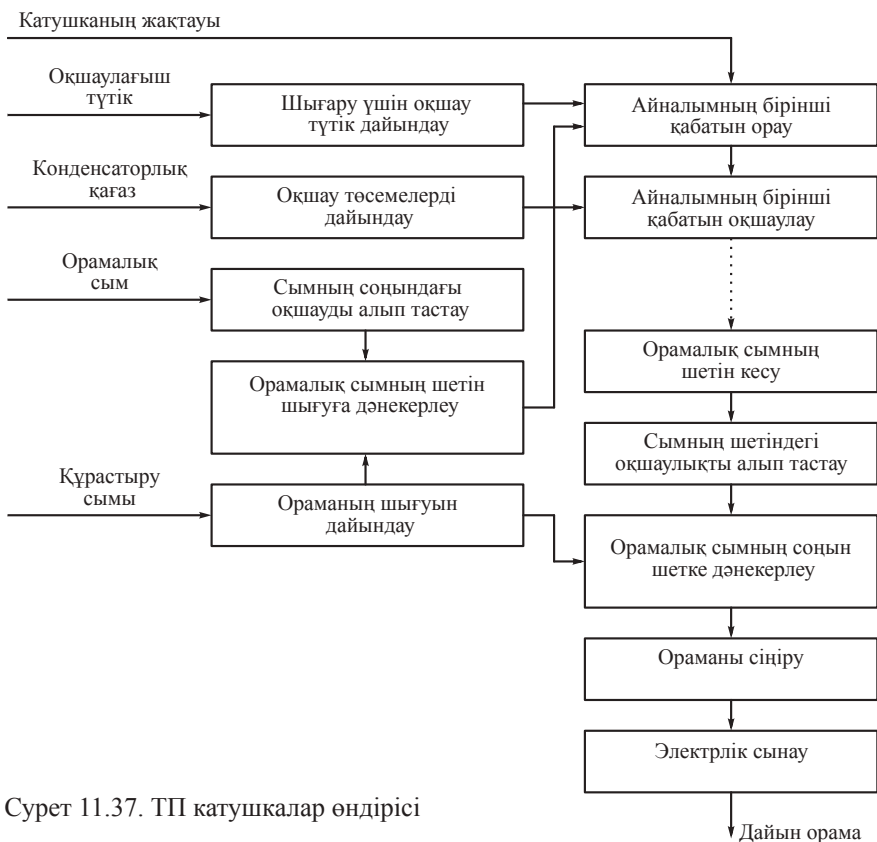
***Қозғалтқыш компоненттерін дайындау.*** Орамдарды өндіру тәртібі 11.37 суретте көрсетілен. Оқшауланған төсемдер бұрылыстардың қабаттары арасындағы қажетті көлемге алдын ала бөлінеді. Бұрандалы таспалар орам немесе монтаждау сымымен

жасалады.

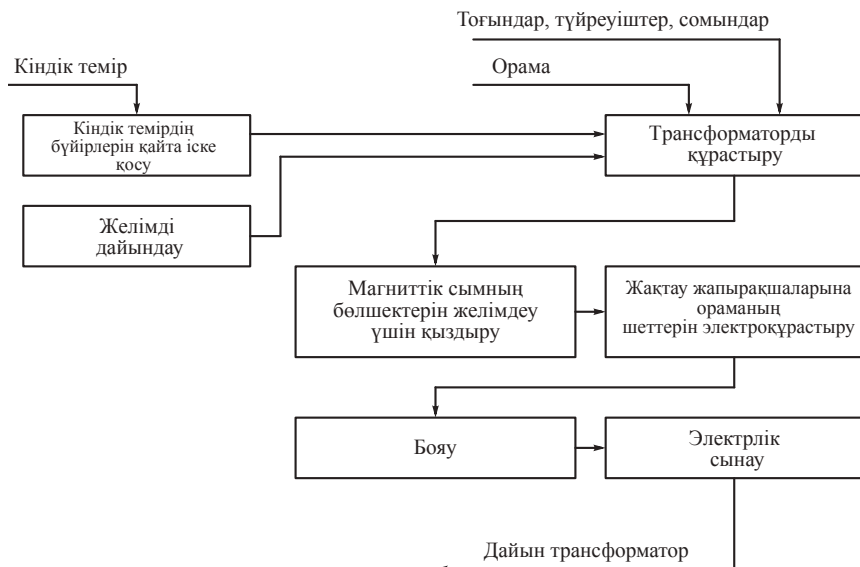
Орам үшін орамның жақтауы орамдағы машинаның шпинделігіне орнатылады. Орам қабаттар арасындағы оқшауланған төсемдермен қабаты бойынша оралады. Қажетті бұрылыстардың орнын толтырғаннан кейін, орамның сымының екінші ұшы бекітіледі. Рамада бірнеше орамалар жасалса, олардың арасында кабель қағазының немесе лак матасының оқшаулағыштары салынады. Барлық орамның орамасы аяқталғаннан кейін жоғарыдан кабельдік қағаз немесе лак-бояу қабаты қолданылады.

Аяқталған катушка тығыздауышпен сіңіріледі және электрлік сынақтарға ұшырайды - орамалардың кедергісін өлшейді, олардың арасындағы оқшаулау кедергісі, орамалар қысқа тұйықталған орам болмауына тексеріледі.

Магниттік таспамен жабдықталған бронетранспортер түрлендіргішінің жинақталуының тізбегі 11.38 суретте көрсетілген. Магниттік тізбектің бөліктері арасындағы бос орындарды толтыру және қосу үшін ферромагниттік қоспасы бар кілегей қолданылады.



Сурет 11.37. ТП катушкалар өндірісі



Сурет 11.38. Бөліп шығарылған ленталық магниттік өткізгіші бар трансформатор өндірісі

Магниттік схеманың ұштарын еріткішпен тазартқаннан кейін және оларды желіммен жаққаннан кейін (А жазуы, 11.34 б -суретті қараңыз), магниттік өткізгішті катушкеге орналастырады (А жазуы, 11.34 а-суретті қараңыз). Желімнің полимерленуі үшін құрылымды монтаж қысқышпен қысып пешке орналастырады. Желімдегеннен кейін, орамалардың жолақшаларын жақтаудағы жапырақтарға орнату үшін жинастырылған магниттік өткізгішті катушкамен бірге тіреуішке бекітіледі. (11.34-в, суретті қараңыз).

### Бақылау сұрақтары

1. Құрылымдық және технологиялық ерекшеліктеріне орай МБЖ жіктеуін сипаттап беріңіз.
2. Гибридті-пленкалық МБЖ-нің ТП өндірісінің негізгі операцияларын атаңыз.
3. Термовакuum әдісімен жұқа қабыршақтар қалай жағылады?
4. Ион-плазмалық әдіспен материалды шашырату принципі туралы айтып беріңіз.
5. Қалың қабықшалар төсенішке қалай түсіріледі?
6. Фотолиитография әдісі арқылы суреттің қалыптасуы қалай жүзеге асады?
7. БМЖ өндірісінде «полипланар» әдісінің мәнін түсіндіріңіз.
8. Индуктивті компоненттердің орамдарының түрлері туралы айтып беріңіз.

## Мөрлік тақшалар (МТ)

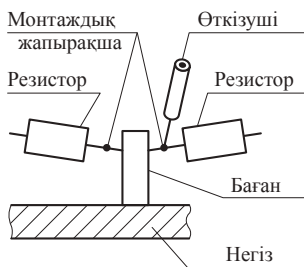
### 12.1. МТ пайдаланылуы және топтастырылуы

1950-ші жылдарға дейін электрондық аппаратуралардың компоненттері арасындағы электрлік жалғауларды құрудың негізгі әдісі болып көлемді монтаж саналып келді. Сонымен қатар өткізгіштердің барлық компоненттері оқшаулау бағандарына престелген монтаждық жапырақшаларға бекітілген (12.1-сурет). Монтаждық дәнекерлік жалғаулар түйістіру дәнекерлегішімен қолмен орындалған, ол аМТаратураның төмен өнімділігі мен жоғары құндылығына шартталды.

РЭҚ кез-келген өнімін ТП дайындауды мына үш топтың біріне жатқызуға болады: *нүктемен өңдеу, сызықпен өңдеу және ортамен өңдеу*. Қайрап өңдеуден желімен өңдеуге және ортамен өңдеуге өткен кезде өнімді дайындау өнімділігі бірден артады, өйткені бір мезгілде өңделетін нүктелердің саны артады. *Мөрлік тақшалар (МТ)* — қолмен дәнекерлейтін (нүктемен өңдеу) көлемді монтаждан жалпақ оқшаулау негізіне табиғи өту болып саналады. Бұл компоненттердің бір жалпактықтағы барлық жалғайтын (дәнекерлейтін) орындарын орналастыруға және дәнекерлеу үшін дәнекер толқынын пайдалануға (желімен өңдеу) мүмкіндік береді.

12.2-суретте МТ конструкциясының мысалы көрсетілген. Тақшаның диэлектрлік негізінде желімделген мыс фольгадан құрастырылған сымдар орналастырылған. Компоненттері МТ сыртқы жағынан орналасқан; компоненттердің өткізгіштері негізіндегі қуыс арқылы тақшаның өткізгіштеріне өтеді.

Бұл конструкцияның ең басты артықшылығы — өткізгіштерінің компоненттерін жалғаудың



12.1-сурет. Сымды өткізгіштері бар компоненттерді көлемді монтаждау

барлық орындары бір жазықтыққа шығарылған. Ол барлық жалғауларды бір мезгілде дәнекерлеу толқынымен орындауға, дәнекерлеу процесін механикаландыруға мүмкіндік береді. Толқынмен дәнекерлеу монтаждың өнімділігін арттырады.

*Мөрлік монтаж* — диэлектрлік негіздердің сыртында және ішінде орналасқан және белгілі бір электр тізбегінің компоненттерін электр тізбегінің қамтамасыз ететін жалпақ өткізгіштердің жиынтығы.

Қабаттарының санына қарай МТ өткізгіштері *бір жақты* (ОМТ), *екі жақты* (ДМТ) және көп қабатты (ММТ) болып бөлінеді.

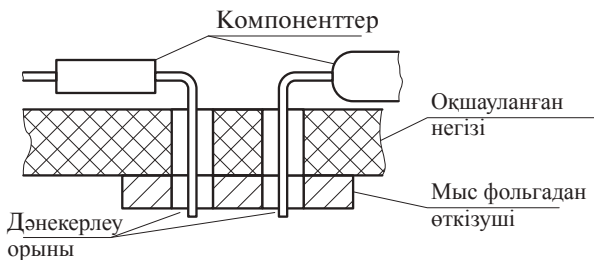
Компоненттерді жалғығыштармен жалғастыру кезінде еңбек өнімділігінің артуынан басқа, мөрлік монтаж МТ электрлік параметрлерінің қайталануын қамтамасыз етеді, пайдаланудың күрделі жағдайларында жалғаулардың сенімділігін арттырады, конструктивтік және технологиялық шешімдерді үйлестіру және стандарттауды қамтамасыз етеді.

Қазіргі уақытта МТ дегеніміз, мыналарды қамтамасыз ететін РЭҚ көпатқарымды конструкцияларын білдіреді:

- электрондық компоненттерді бекіту және монтаждау;
- компоненттердің өткізгіштерін электр тізбегіне жалғау;
- электрсигналдарын олардың формаларын сақтай отырып беру;
- МТ сымдарының арасындағы айқасқан тартуларды басу;
- белгілі бір толқындық кедергімен байланыс желісін құру жолымен компоненттердің арасындағы байланысты келісу;
- жылуды компоненттерден РЭҚ-тің салмақ түсетін конструкциясына беру.

Монтаждау процесі кезінде МТ-да сымды (таспалы) өткізгіштері бар компоненттері және сыртқы монтаждау компоненттері орнатылады. Сымды өткізгіштері бар компоненттер МТ қуысы арқылы өткізілген МТ өткізгіштеріне монтаждалады. Сыртқы монтаждау компоненттерінің өткізгіштері корпустың бүйір жақ сыртында орналасқан J әрпінің формасына ұқсас, шар тәріздес өткізгіштер немесе таспалы өткізгіштермен қалайыланған жолақшалар түрінде орындалған; бұл компоненттер МТ-нің түйісу алаңдарына тікелей өткізгіштермен орнатылады. Компоненттердің конструкцияларын жетілдіру, олардың габариттік мөлшерлерін және өткізгіштердің арасындағы арақашықтықты үнемі азайтып отыру процесі оларды МТ-нің конструктивтік-технологиялық сипаттамаларын өзгертуге алып келеді (12.1-сурет).

Қазіргі уақытта МТ-де 12.1-кестеде көрсетілген сипаттамалары бар компоненттер монтаждалады. BGA (BallGridArray) корпустары, 1,5, 1,27 және 1 мм санды қадамдары бар шарлардың матрицалары түріндегі өткізгіштері бар компоненттер өндірісі белсенді дамиды.



12.2-сурет. ПП конструкциясының мысалы

| Компоненттердің конструкцияларының шартты деңгейі (кристалдағы сызықтың ең шекті жалпақтығы, мкм) | Компоненттің корпусы конструкциясының сипаттамасы                                                                                                    | МТ конструктивтік-технологиялық сипаттамасы                                                             | МТ құрастырудың тығыздығы, /дм <sup>2</sup> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1                                                                                                 | Тақшаның қуысына монтаждауға арналған өткізгіштер                                                                                                    | Өтпелі металданған қуыстары бар тақшалар                                                                | 20...50                                     |
| 0,8                                                                                               | Шеттегі планарлық өткізгіштер                                                                                                                        | Ішкі қабаттарында қабат аралық өткізгіштері бар тақшалар. Аралас монтаж — қуыстарда және сыртқы жағында | 50...100                                    |
| 0,3.0,5                                                                                           | Сыртқы –монтаждалатын компоненттер. Корпустың сыртқы жағындағы қалайыланған түйісу жазықтықтары немесе сыртқы монтаждауға арналған қысқа өткізгіштер | Сыртқы-монтаждалған компоненттерге арналған тақшалар                                                    | 300...500                                   |
| 0,18.0,3                                                                                          | Шарикті өткізгішті матрицасы бар компоненттер(BGA). Шығарылу қадамы 1 мм-ге дейін                                                                    | 0,1 мм дейінгі жалпақтықтағы өткізгіштері бар тақшалар                                                  | 500...1000                                  |
| 0,13.0,065                                                                                        | Шарикті өткізгішті матрицасы бар шағын корпустар (MBGA). Шығарылу қадамы0,5 мм-ге дейін                                                              | 50 мкм дейінгі жалпақтықтағы өткізгіштері бар тақшалар                                                  | 10000-дейін                                 |

Мысты фольгадан жасалған 560-қа дейінгі өткізгіш таяудағы жылдарда 0,3...0,5 мм. қадамды MicroBGA корпустарында компоненттерін сериялық шығару басталады. Осындай ИМС монтаждау үшін, сыртқы жағы мөрлік монтаждау мүмкіндігінің шегінде дайындалған, жалпақтығы 50 мкм-ға дейін болатын қалың көп қабатты өткізгіштер суреті бар МТ қажет болады.

BGA корпусының матрицасындағы шарикті өткізгіштердің көптеген саны, малые размеры контактных площадок МТ түйісу

алаңқайларының ең төмен мөлшерлері және олардың арасындағы ара қашықтық, қабатаралық өтпенің ең аз диаметрі (0,3 мм), өткізгіштердің жалпақтығы 0,1 мм –ден кем — осындай ММТ конструкцияларын дайындау және өндіру өндірістің жоғары мәдениетін және ең жаңа қазіргі заманғы технологиялық жабдықтарды қолдануды талап етеді.

МемСТ 23751 стандартымен МТ монтажының бес санаты бекітілген. Олар өткізгіштің ең төменгі жалпақтығын және өткізгіштердің арасындағы ең аз саңылауды анықтайды (12.2-кесте).

1 және 2-ші санаттардағы МТ — ең қарапайым және арзан, оларды интеграциялау деңгейі аз ИМС пайдалану кезінде қолданады. 3-ші санатты тақшаны қымбат тұратын материалдарды, дәл және күрделі жабдықтарды пайдалана отырып дайындайды. Оларды компоненттерінің орташа қанықтылығы кезінде қадауышты шықпалары бар компоненттер үшін қолданады. МТ 4 және 5-ші санатты МТ дайындау үшін арнайы ТП, жоғары дәлдіктегі жабдықтар және жоғары білікті персонал болуы қажет.

Қазіргі заманғы РЭҚ-де 5-ші санатты талаптардан асып түсетін сипаттамаларға ие МТ жиі қолданылады (өткізгіштердің жалпақтығы және олардың арасындағы саңылау 50 мкм-ден кем). Бұл МТ компоненттер монтаждаудың ең жоғарғы тығыздығы кезінде қолданылады.

ТП стандарттарына сәйкес МТ дайындау ақшадағы екі қатар жатқан өткізгіштердің арасындағы жоғары электрофизикалық окшаулау сипаттамаларын қамтамасыз етуі тиіс — сопротивление изоляции между проводниками на стеклотекстолите при зазоре 0,2...0,4 мм саңылау болғанда шыны текстолиттегі өткізгіштердің арасындағы окшаулау кедергісі,  $1 \cdot 10^4$  МОм кем болмайтын қалыпты климаттық жағдайда окшаулаудың электрлік төзімділігі дәл осындай шарттарда 700 В кем болмауы тиіс. МТ өткізгіштері үштен кем болмайтын (ММТ үшін-екіден кем болмайтын) дәнекерлеу процесіне шыдауы тиіс.

Әртүрлі типтердегі МТ дайындаудың еңбек сыйымдылығын 12.3-кесте бойынша бағалауға болады.

12.2 Кесте

| Монтаждың тығыздық санаты | Өткізгіштің жалпақтығы (өткізгіштердің арасындағы саңылау), мм | Шекті рұқсат етілген электр қуаты (фольганың қалыңдығы 35 мкм болғанда) |        |
|---------------------------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------|
|                           |                                                                | кернеу, В                                                               | ток, А |
| 1                         | 0,75                                                           | 400                                                                     | 1,9    |
| 2                         | 0,45                                                           | 300                                                                     | 1,2    |
| 3                         | 0,25                                                           | 100                                                                     | 0,5    |
| 4                         | 0,15                                                           | 40                                                                      | 0,35   |
| 5                         | 0,1                                                            | 25                                                                      | 0,25   |

| Мөрлік тақшаның типі | Дайындаудың салыстырмалы еңбек сыйымдылығы |
|----------------------|--------------------------------------------|
| Бір жақты            | 1                                          |
| Екі жақты            | 3... 5                                     |
| Көп қабатты          | 10...25                                    |

МТ өндірісі мына мақсаттарда РЭК қазіргі заманғы конструкцияларын жобалау мәселелерін шешу қажеттілігі есебінен дамып келе жатыр:

- компоненттерді орнату тығыздығын арттыру;
- Олардың арасындағы өткізгіштер мен саңылаулардың жалпақтығын азайту;
- 500 және одан да артық шығу сандарына қол жеткізетін компоненттің отыру орнындағы түйісу

алаңдарының санын арттыру;

- өткізгіштердің коммутацияларының ең жоғарғы тығыздығын қамтамасыз ететін ММТ үлесін арттыру.

МТ өндіру мен пайдаланудың олқылықтары болып, пайдаланылған ерітінділерді регенерациялау және бейтараптандыруды, ағынды суларды экологиялық тазалауды талап ететін химиялық және гальваникалық процестерді пайдалануды қажет етуі, сондай-ақ өндіру және жөндеу кезеңдерінде МТ конструкциясына өзгерістер енгізудің күрделілігі саналады.

МТ конструкциясының элементтеріне мөрлік өткізгіштердің және байланыс алаңқайларының негізі, жүйесі, әртүрлі қабаттылықтағы МТ мөрлік монтажын электрлік жалғауға арналған металл қабырғалы өтпелі қуысы жатады (12.2-суретті қараңыз).

МТ негізі ретінде қабатты, керамика, полиимидтік пленка немесе металл қолданылады.

МТ дайындау кезінде бір немесе екі жақты фольгаланған қабатты пластиктер қолданылады, фольганың қалыңдығы 18-ден 200 мкм-ға дейін: фольгаланған *гетинакс* (желімделген қағаз беттердің негізінде) және фольгаланған *стеклотекстолит* (желімделген шыны маталардың негізінде).

Кеңінен қолданылатын МТ өнімдерді дайындау үшін фольгаланған гетинакс пайдаланылады. Ол арзан, жеңіл өңделеді, қанағаттанарлықтай электр окшаулағыш параметрлерге ие. Ресейде ГФ маркалы (жалпы қолданылатын), ГОФВ (ылғалға төзімді) және ГОФ (отқа төзімді) фольгаланған гетинакс шығарылады. Дайындаушылар — «Молдавизолит» НПЦ; АО «Қабатты пластиктер зауыты АҚ».

Арнайы қолдануға арналған МТ өнімдерді дайындау үшін фольгаланған шынытекстолит қолданылады. СФ маркалы шынытекстолит төмен бағалы, жақсы диэлектрлік қасиеттерді бойына сіңірген. Оны барынша аз жылу күші түсетін ОМТ және ДМТ дайындау үшін пайдаланады. Арнайы тағайындалған ПП өнімдерін жасау үшін жұқалтыр шыны текстолит пайдаланылады. СФ маркалы шынытекстолит жақсы диэлектрикалық қасиеттерімен бірге төмен бағасына ие. Оны салыстырмалы жылулық жүктемесімен ОПП, ДПП жасауға пайдаланылады. СТФ, СТФТ маркалы жұқалтыр

шынытекстолиттер СФ-мен салыстырғанда қарамайды шыныға айналдыратын температураға (жұмсақтау температурасына) ие және жоғары жылулық жүктемедегі ОМТ, ДМТ және ММТ дайындау үшін қолданылады. Өте жоғары жылуға төзімділік қасиетке ие (жұмыс температурасы 280°C-қа дейін), баспа монтаждаудың жоғары тығыздығымен және ММТ-нің қабатының саны 25-ке дейін болатын, жылуды кеңейту коэффициентінің кішкене мағынасымен платаларды жасау үшін пайдаланылады. Өндірушілер — «Изолит» ЖАҚ, «Завод слоистых пластиков» АҚ.

«Брикор» және «ФЛАИ» маркалы фольгаланған материалдар микротолқынды диапазондағы жолақты МТ құру үшін пайдаланылады. Бұл материалдар қысқа толқынды диапазонда және диэлектрлік өткізгіштігінің тұрақтылығында ең аз диэлектрлі жоғалтуларға ие болады.

Иілгіш және иілмелі-қаттырақ МТ дайындау үшін ЛФР маркалы фольгаланған *лавсан* және «Элифом» маркалы фольгаланған *полиимид* шығарылады. Полиимидтік пленка барлық полимерлердің арасында ең жоғары ыстыққа төзімділік қасиетке (жұмыс температурасы -200-ден +300°C-қа дейін), жоғары радиациялық төзімділікке ие, температуралардың кең көлемді диапазонында жоғары иілгіштігін сақтайды; полиимидтің олқылығы — жоғары ылғал сіңіргіштігі (масса бойынша 3%-ға дейін). Дайындаушы — «ЭЛИФОМ» ИТЦ.

## 12.2. МТ дайындаудың технологиялық процестері

МТ өткізгіштерінің жүйесін құру үшін аддитивтік және субтрактивтік әдістердің негізінде топологиялық суреттің позитивті немесе негативті суретін қолдана отырып және позитивті немесе негативті фоторезистке сәйкес ТП қолданады.

*Аддитивті әдістерде* (лат.additio— қосу) элементі МТ коммутациялық жүйесінің элементтері диэлектрлік негіздердің тиісті орындарында өсіріледі.

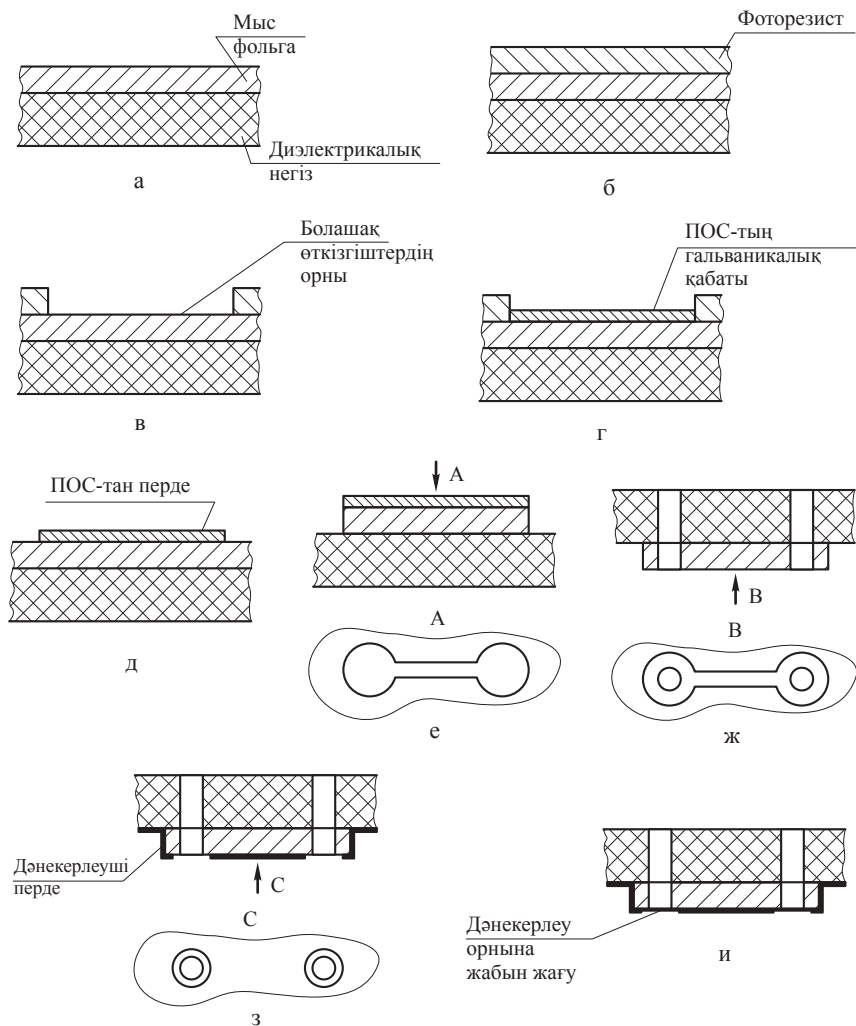
*Субтрактивті әдістерде* (лат.substratum— негіз) элементі МТ коммутациялық жүйесінің МТ мысты фольганың артық учаскелерін алып тастау (күйдірмелендіру) нәтижесінде жүзеге асырылады. Бұл әдістердің олқылықтары болып, мысты электролиттік бөліп шығары және оны кәдеге асыру жолымен регенерациялауға жататын желіндіретін ерітінділерге өтпелі мыстың үйлен шығынға ұшырауы болып табылады.

*Позитивті фоторезист* негізді маска мысты қараңғы учаскелерде, ал *негативтік фоторезист* негізінде — жарықтандырылған учаскелерде өндеуден қорғайды.

## ОМТ дайындау технологиясы

ТО субтрактивтік позитивті ТП кезектілігі ОМТ на фольгаланған қабатты материалмен ОМТ дайындау 12.3-суретте келтірілген.

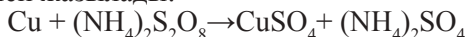
Топологиялық суретті құру үшін дайындамаға (12.3, а-сурет) құрғақ пленка түрінде фоторезистің қабатына енгізіледі (*құрғақ пленкалы фоторезист*) қалыңдығы 15...50 мкм, оның сыртқы жағы МТ фольгамен ламинатталады (12.3, б-сурет). Одан соң фоторезисті фотошаблон арқылы экспонаттау операцияларымен және фоторезисті



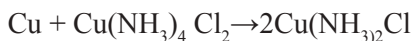
12.3-сурет. ОПП дайындау ТП:

а — фольгаланған негізі; б, в — фотолитографиялау әдісімен сурет құру; г — қорғаныс қабатының гальваникалық тұндыру; д — фоторезистивтік масканы жуып-шаю; е — фольганың қорғалмаған учаскелерінің өңделуі; ж — саңылауларды ашу; з — дәнекерлеу маскасын жағу; и — дәнекерлеу орнына жабынды жағу

шығару үшін (12.3, в-сурет) мысты фольганың сыртқы жағында фоторезистивтік маска пайда түзіледі, ол жерді болашақ МТ өткізгіштердің орындары ашық тұрады [3]. Одан әрі дайындаманы қалайы мен қорғасынның ерітіндісінен тұратын гальваникалық ваннаға орналастырады, сол жерде мысты фольга катодқа айналады. Гальваникалық ванна арқылы тоқты өткізгенде мысты фольгада қалыңдығы 20...25 мкм болатын қалайы-қорғасын балқымасының қорғаныс қабаты отырып қалады (12.3, г-сурет). Фоторезистивтік масканы шешіп алғаннан соң (12.3, д-сурет) дайындаманы *өңдегішпен* шаяды, ол қорғалмаған мысты өңдейді (12.3, е-сурет). Өңдегіш ретінде персульфат аммоний ерітіндісі немесе мысты-аммиакты ерітінді пайдаланылады. Мысты *аммонийперсульфатында* өңдеу реакциясы келесідей теңдікпен жазылады:



Өңдеу ерітіндінің 50...55°C температурасында жүргізіледі, өңдеу жылдамдығы ~ 2,5 мкм/мин. Мысты *мысты-аммиакты* ерітіндіде өңдеу мына реакциямен сипатталады



Мысты өңдеу жылдамдығы персульфаттық ерітіндімен салыстырғанда 2 есеге артық, дегенмен аммиактың үлкен көлемдегі ұшпалылығы өндірістің санитарлық жағдайларын күрделендіреді. Өңдегеннен соң қуыс бұрғыланады, монтаждау кезінде ол жерге компоненттердің өткізгілері орнатылады (12.3, ж-сурет).

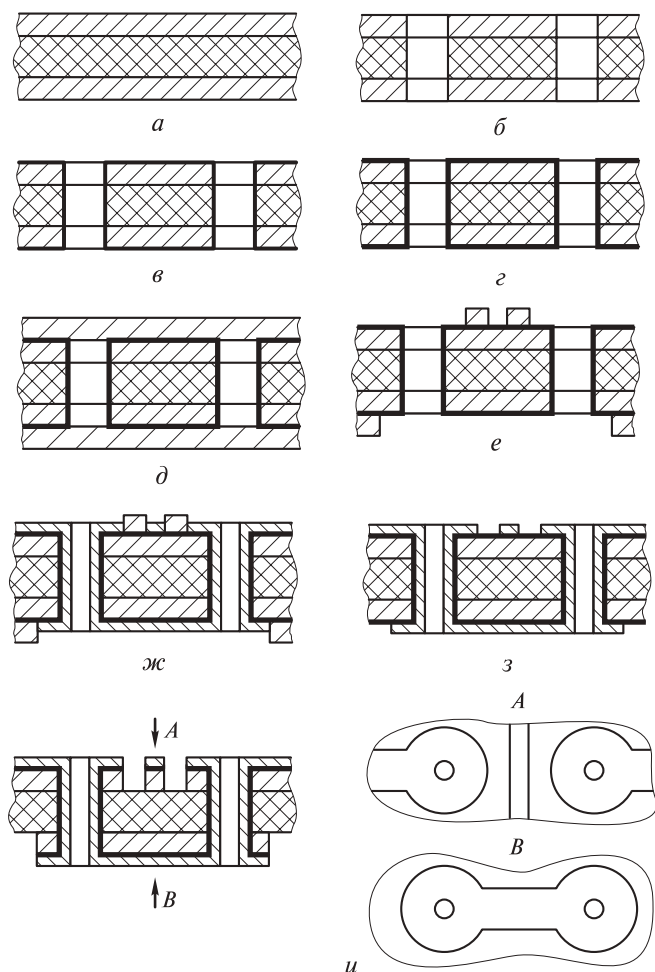
ОМТ дайындаудың бұл әдісі қарапайым, арзан, жеңіл механикаландырылады. Оны тұрмыстық электрониканы, қуат беру блоктарын, байланыс техникасын шығару үшін пайдаланады.

### ДМТ дайындау технологиясы

ДМТ өткізгіштерде екі жағынан диэлектрлік негіздері орналастырылады, сондықтан өткізгіштердің арасындағы электрлік жалғауларды екі жағынан металл саңылаулармен қамтамасыз ету қажет. ДМТ дайындау үшін позитивтік біріктірілген әдіс, тентинг-әдіс және дифференциалды өңдеуге ие полуаддитивтік әдіс пайдаланылады.

**Позитивтік біріктірілген әдіс.** Бұл әдіс өзінің атауын ол жерде бірнеше тәсілдерді үйлестіретіндігі үшін алған: фольганы өңдеу кезінде қалайы-қорғасын балқымасынан алынған позитивтік перде пайдаланылады, ал коммутациялық жүйені қалыптастыру кезінде — субтрактивтік және аддитивтік әдістерден тұратын комбинация: өткізгіштер фольганы өңдеу арқылы құрылады, ал саңылауларды металдау үшін саңылаудың қабырғаларына мысты отырғызады. Осы әдіспен  $b > 0,15$  мм жалпақтықтағы 4-ші санатты өткізгіштері бар - ДМТ 1 дайындайды. ДМТ дайындау ТП схемасы 12.4-суретте көрсетілген.

Екіжақты фольгаланған материалдан дайындалған дайындаманы сымды өткізгіштердің қуысына орнататын жерінен және бір қабаттан екенші қабатқа өтетін жерлерінен бұрғылайды (12.4, а, б-суреттер). Бұрғылау орталықтан  $\pm 5$  мкм-ге дейінгі ауытқулары болатын, 0,1 мм диаметрі бар саңылауларды алуға мүмкіндік беретін арнайы станоктарда жүзеге асырылады. Шыныппластик платаларды /тақшаларды/бұрғылау кезінде пайда болатын шыны түйіршіктері бұрғының кесу қасиетін нашарлатады,



12.4-сурет. ДМТ дайындаудың позитивтік біріктірілген әдісі:

- а — фольгаланған негізі; б — саңылауларды ашу; в — мыстың қабатын отырғызу;  
 г — мыстың қабатының гальваникалық отыруы; д — фоторезисті жағу; е —  
 фоторезистивтік масканы құрастыру; ж — қорғаныс балқымасы қабатының отыруы;  
 з — фоторезисті шешіп алу; и — мыспен өңдеу

сондықтан қатты балқымалардан дайындалған арнайы бұрғылар пайдаланылады.

Бұрғыларды ауыстыру (саңылаудың диаметрін өзгерту), автоматты түрде жұмыс бағдарламасының командасы бойынша жүзеге асырылады, бұрғының ресурсы сынып қалған немесе таусылып қалған кезде де дәл осылай орындалады. Қазіргі заманғы бұрғылау станоктарының өнімділігі 500 саңлау/мин дейін құрайды.

Одан әрі саңылаулардың ішкі беттерінде арнайы ерітінділерде химиялық әдістермен дайындалған мыстың жұқа қабаты (0,25...1 мкм) тұнып қалады (12.4, в-сурет), ол мыстың негізгі қабатын енгізуге арналған қосымша қабат ретінде пайдаланылатын тоқ өткізгіш пленканы түзеді. Бұдан әрі мыс тұзының ерітіндісінен дайындалған гальваникалық ваннада саңылаудың қабырғаларында қалыңдығы 35 мкм мыстың қабаты тұнып қалады (12.4, г-сурет).

МТ екі жақ сыртқы беттерінде өткізгіштерді қалыптастыру үшін қалыңдығы 40 мкм, кейіннен мыс пленканың өсуі оның қалыңдығынан артық (35мкм) болатын құрғақ пленкалы фоторезистің қабаты ламинатталады (12.4, д-сурет). Фоторезистің пленкасы экспонатталады және шығарылады, нәтижесінде фоторезистивтік маска пайда болады (12.4, е-сурет).

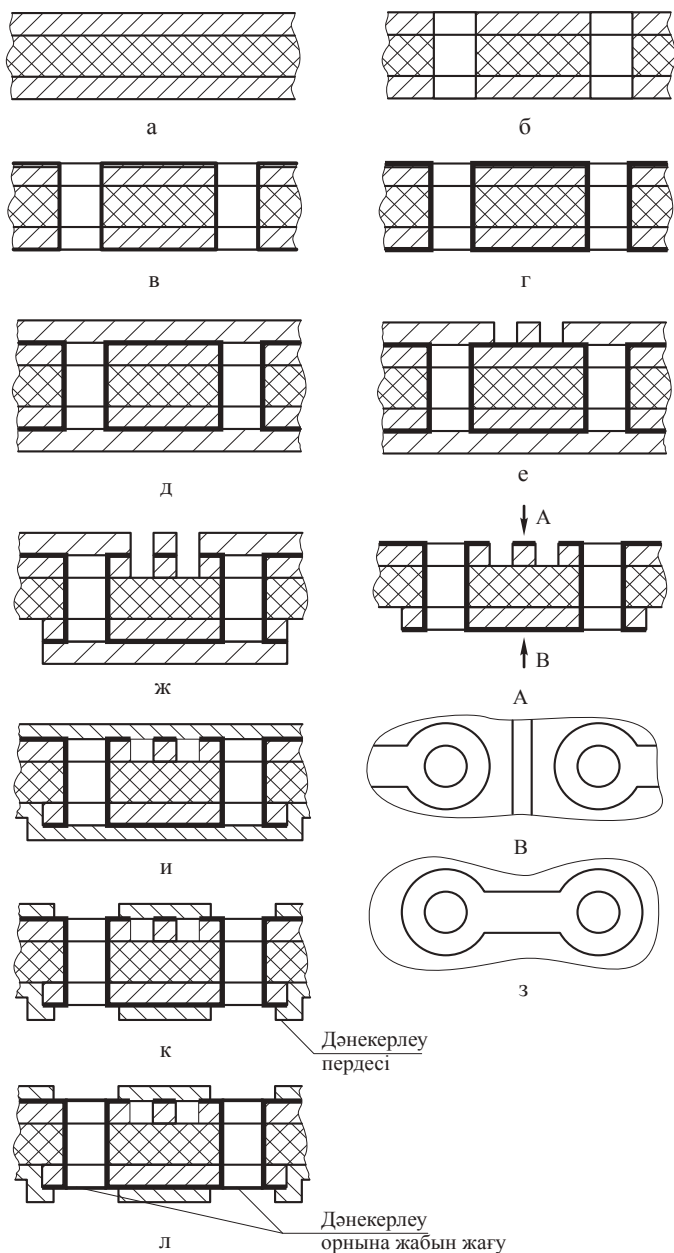
Гальваникалық ваннада фоторезистпен қорғалмаған жерлерде қалайы-қорғасын балқымасының қабаты отырып қалады (15 мкм), ол мысты фольгамен өңдеу кезінде маска болады (12.4, ж-сурет). Фоторезисті шешкеннен соң (12.4, з-сурет) мысты өңдеу орындалады (12.4, и-сурет).

**Тентинг-әдіс.** Бұл әдіспен өңдеу кезінде суреттің қорғанысын мысты фольгаға жақты адгезияға ие пленкалы фоторезист қамтамасыз етеді. Саңылауды өңдеуден қорғайтын фоторезистің пленкасының формасы қолшатырды еске салады (*ағылш. tent* — шатыр), осы жерден әдістің атауы да алынып отыр.

Дайындамадағы саңылауларды бұрғылау ТО (12.5, а, б-сурет) және саңылаудың «тікелей металданған» тоқ өткізгіш қосымша қабатын құруы (12.5, в-сурет) позитивті біріктірілген әдіске ұқсас келеді. Одан әрі құрылған қосымша қабатта және фольганың бүкіл үстіңгі бетіндегі гальваникалық ваннада қалыңдығы 35 мкм мыстың қабаты отырып қалады (

12.5, г-сурет). Дайындаманың екі жағына да пленкалы фоторезист ламинатталады (12.5, д-сурет), ТО фотолитографиядан фоторезистивтік масканы құрайды (12.5, е-сурет). Осы маска арқылы мыс фольганы екі жағынан өңдейді (12.5, ж-сурет), бұдан соң фоторезисті жуып тастайды (12.5, з-сурет). Осы ТО нәтижесінде өткізгіштер мен түйісу алаңқайлары пайда болады, ал саңылаулардың қабырғалары мыстың қабатымен жабылады.

Түйісу алаңқайлары мен саңылаулардың қабырғаларының сыртқы беттерін одан әрі монтаждау үшін материалмен жабылады, оны дәнекерлеумен жақсылап жібітіледі. Бұл материалды селективтік



жағу компоненттерін монтаждау кезінде МТ сыртқы бетін қорғайтын арнайы *дәнекерлеу маскасымен* қамтамасыз етіледі, өйткені стеклотекстолиттің шектеулі жылуға төзімділігімен компоненттерді

## 12.5-сурет. ДМТ дайындаудың тентинг-әдісі:

*a* — фольгаланған негіз; *б* — саңылауды ашу; *в* — мыстың қосымша қабатының отыруы; *г* — мыстың қабатының гальваникалық отыруы; *д* — фоторезисті жағу; *е* — фоторезистивтік масканы құрастыру; *ж* — дайындаманы екі жағынан өңдеу; *з* — фоторезисті шешу; *и* — дәнекерлеу маскасының материалын жағу; *к* — дәнекерлеу маскасын құрастыру; *л* — дәнекерлеуге арналған қабатқа жағу.

220.260°C температурада дәнекерлеу кезіндеоның сыртқы бетінде қалыпты құрылымының бұзылуы орын алатын болады.

Дәнекерлеу пердесі ретінде құрғақ пленкалы фоторезист тәрізес фотосезімталды материал пайдаланылады. Ол МТ екі жағынан ламинатталады (12.5, *и-сурет*), бұдан соң фотолиитографиялау әдісімен өңделеді.

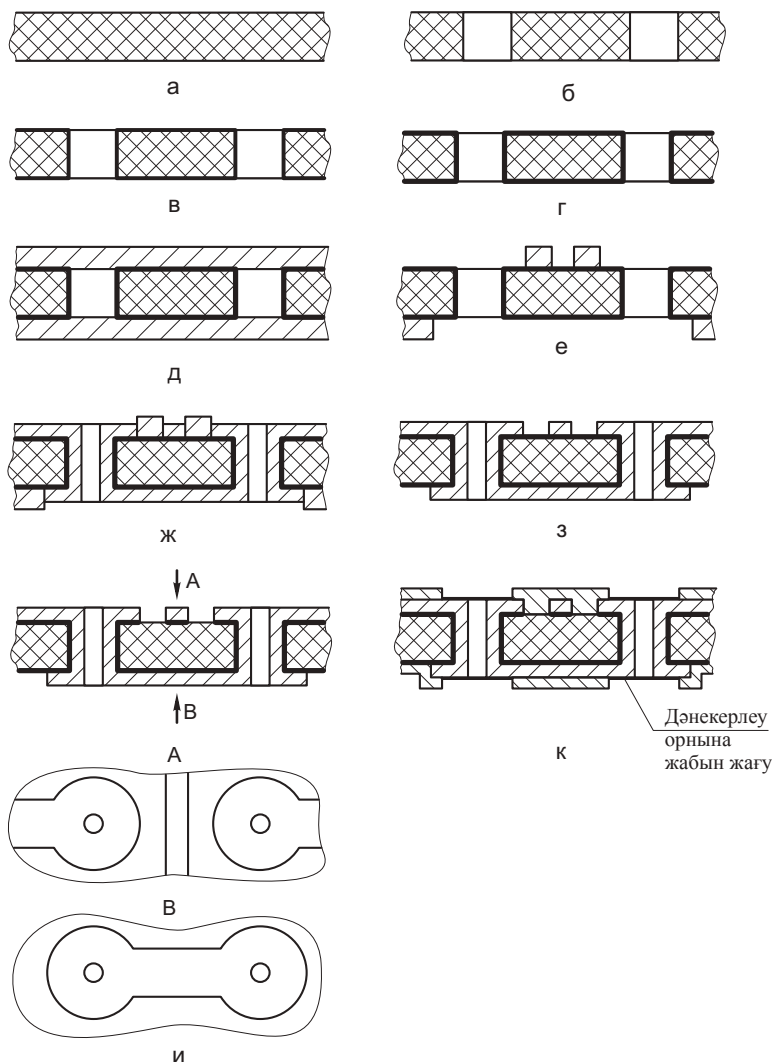
Құрастырылған дәнекерлеу маскасы (12.5, *к-сурет*) дәнекерлеуге арналған жабынды түйісу алаңдарына және саңылаудың ішкі жағына жағуға мүмкіндік береді. Байланыс алаңшалары мен тесіктердің қабырғаларының жабын материалы ретінде тақтаны ерітілген балқымамен батырылып жағылатын, содан соң артық припойді алу үшін ыстық ауамен салқындатылатын қорғасынды, немесе аралас жабынды — химикалық тұндырылған никель қабатының үстіне алтынмен химикалық жабынмен жиі пайдаланылады

ДМТ дайындау бұл әдіс біршама арзан, бірақ онымен мыстың қалың қабатын біркелкі бір жағына біраз желіндіруге қатысты өткізгіштер мен саңылаулардың 0,25 мм артық кеңдігімен 1-3 кластағы МТ жасалуы мүмкін.

***Дифференциалды өңдеуімен қоса жартылай аддитивті әдіс.*** Бұл әдіспен монтаждау тығыздығы (өткізгіштің кеңдігі 20 мкм дейін) 5-і класты ДМТ дайындауға болады (сур.12.6). Қақтамалған емес диэлектрикалық дайындамада тесіктерді ояды (сур. 12.6, а, б) және барлық үстінгі беттерде (тесіктердің ішкі бетін қоса) «тікелей металлизация» әдісітерімен тоқ өткізетін астынғы қабат қалыптасады (сур. 12.6, б, в).

Гальваникалық ваннада мыс тұзының ерітіндісінде астынғы қабаттың бүкіл бетіне қалыңдығы 3мкм мыстың қабаты жағылады, бұл оның әрі қарай гальваникалық өсу мүмкіндігін қамтамасыз етеді (сур. 12.6, г).

Құрғақ таспалы фоторезистерді ламинирлеу (сур. 12.6, д) мен дайындаманың екі жағында да процестің ТО фотолиитографиясы (сур. 12.6, е) фоторезистік маска жасалады. Фоторезистік маскамен жабылмаған орындарға гальваникалық ваннаға қалыңдығы 25 мкм мыс қабатын тұндырады (сур. 12.6, ж), содан соң фоторезистті алады (сур. 12.6, з) және 3 мкм тереңдікке мысты өңдейді (сур. 12.6, и). Сонымен бірге дайындаманың диэлектрикалық бетіндегі



## 12.6. сур. Дифференциалды өңдеуімен қоса жартылай аддитивті әдіс:

а — Қақтамалған емес ірге; б — тесіктерді ашу; в — ток өткізетін астыңғы қабатты тұндыру; г — мыс астыңғы қабатын гальваникалық тұндыру; д — фоторезистерді жағу; е — фоторезистік масканы қалыптастыру; ж — мыс қабатын тұндыру; з — фоторезисті алу; и — мысты талғамалы өңдеу; к — дәнекерлеу үшін жабында жағуымен мыстың минималды қабаты ғана өңделеді және бір жақтағы өңдеуіне қатысты суреттің бұрмалауы.

мыстың жіңішке қабаттары тұтас өңделеді және қалыңдығы 25 мкм өткізгіштер қалады (дифференциалдық өңдеу). Содан кейін тентинг-

әдіске ұқсас (сур. 12.5, и...л қар.) дәнекерлі масканы ТО қапталуы мен дәнекерлеу үшін байланыс аландарының жабылуы жасалады.

Екіжақты баспа платаларды дайындау барлық әдістердің ішінде бұл әдіс ең кішкентай кеңдігімен өткізгіштерді жасауға мүмкіндік береді, осылайша ИМС сыртқа шығарылған өткізгіштері арасында қашықтың азаюымен және ИМС корпустарының сыртқа шығарылған өткізгіштері саны көбеюімен МТ өткізгіштерінің тығыздығы да жоғарылайды, ол қазіргі мезгілде  $10...25 \text{ см/см}^2$  құрайды. МТ өткізгіштерінің тығыздығы  $100.300 \text{ см/см}^2$  дейін көбеюі болжамдалады, бұл көп қабатты баспа монтаждау пайдалануымен ғана мүмкін.

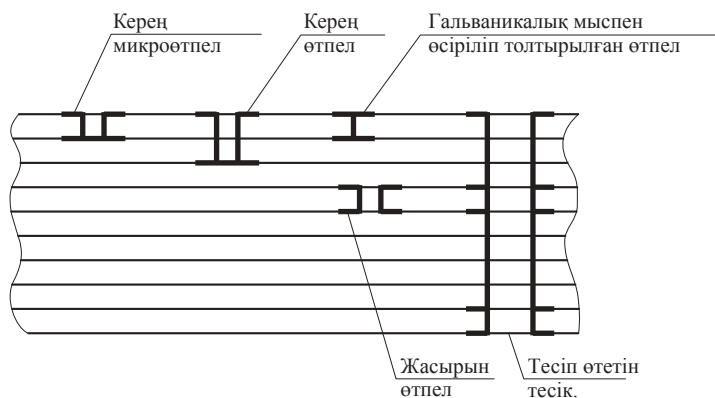
ММТ тегіс өткізгіштер бірнеше қабаттарда орналасқан (20 және одан да көп), олардың арасында экрандық қабаттар болуы мүмкін; өткізгіштердің қабаттары көп санды қабатаралық әртүрлі типті өткелдермен жалғасқан (сур. 12.7).

ММТ жасау үшін толассыз тесіктерді металлизациялау, жұпты сығымдау мен қабат-қабат өсіру әдістерін қолданылады.

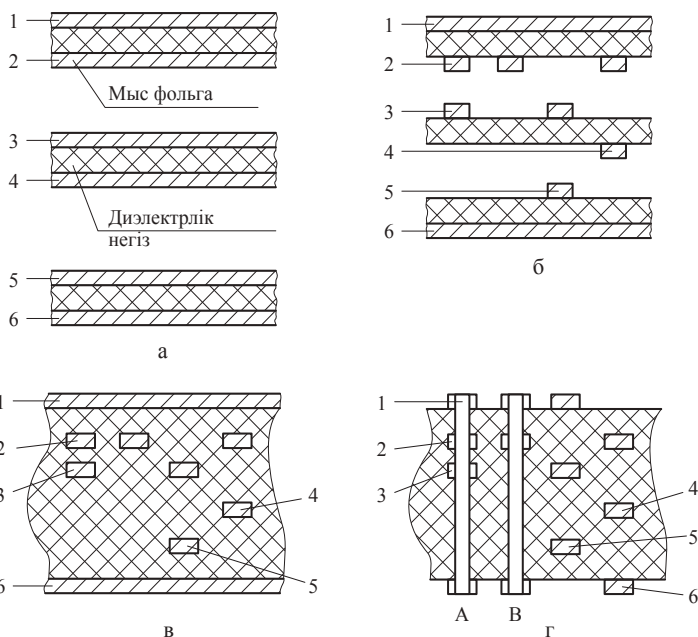
Толассыз тесіктерді металлизациялау әдісі ММТ өткізгіштерінің бір қабатынан екінші қабатына ауысу үшін толассыз металлизацияландырылған тесікті қолдануында негізделген (сур. 12.8). ТО екіжақты қақтамалған диэлектриктан жасалған дайындамаларда ОМТ жасалуы ішкі қабаттарда өткізгіштер қалыптасады (12.8, б сур. 2,3,4,5 қабаттар), сонымен бірге қақтамаболашақ ММТ сыртқы жақтарында тұтаскалуы тиіс (12.8, б сур. 1 мен 6 қабаттар).

Содан кейін дайындамалардың арасында сұйық эпоксидті шайырмен сіндірілген шынымата қабаттарын орналастырады, және төсемдері бар дайындамалардың бүкіл пакетін жылытумен тығыздайды. Шайырдың полимеризациясы кейін сыртқы жақтарынан жұқалтырмен қапталған, ішкі өткізгіштері бар монолитті плата пайда болады (сур. 12.8, в).

Жұқалтырдан сыртқы жақтарында ДМТ дайындаудың әдістерінің бірімен өткізгіштерді (қабаттар 1, 6) және тесіп өтетін металл тесіктерін (А мен В сур. 12.8, г) қалыптастырады.



Сур.12.7 МПП қабаттары арасында өтпелдердің үлгілері



Сур. 12.8. Тесіп өтетін тесіктерді металлизациялаудың ТП әдісі:

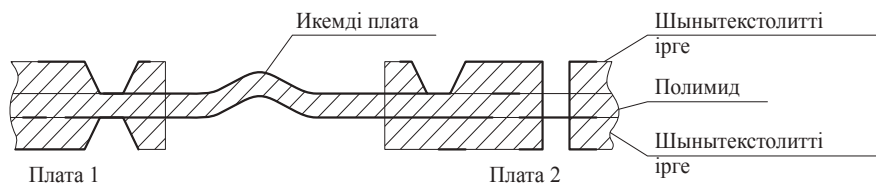
а — жұқалтырмен қапталған іргелер; б — ішкі өткізгіштердің қалыптасуы; в — ішкі өткізгіштері бар жұқалтырмен қапталған екі жақты дайындама; г — сыртқы өткізгіштердің және тесіп өтетін металл тесіктердің қалыптасуы; 1... 6 — ММТ қабаттары

Бұл әдіспен қалың өткелдер де қалыптасуы мүмкін (12.7 сур. қар.). Олардың қалыптасуы үшін дайындамада тығыздау кезеңінен кейін (12.8, в сур. қар.) сәйкесті орындарда белгілі тереңдікке жалпақ кесігі бар бұрғының дайындаманың жазықтығына перпендикулярлы нақты жылжуын қамтамасыз ететін лазерлік құрал-жабдық арқылы немесе механикалық бұрғылау-фрезерлік білдек көмегімен тесіктерді бұрғылайды.

Әдіс қарапайым, бірақ ММТ-ны компоненттер интеграциясының кіші деңгейімен жасауға мүмкіндік береді, өйткені әр қабат аралық өтпелде платаның үстінде металданған тесігі бар және ол онда сәйкесті орынды алады.

## Икемді МТ жасау технологиясы

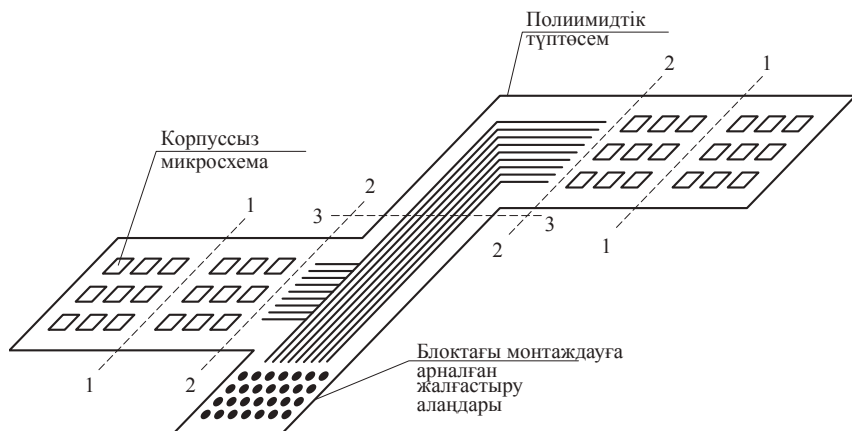
Икемді мөрлік тақшаларды (ГМТ) икемді диэлектрикалық іргелерде жасайды (айтарлықтай, бұл қалыңдығы 25.200 мкм таспа). Олардың ерекшелігі — кішкентай салмағы, көп рет бүгінү мен бүктетілуге қабілеттілігі, бір жақты немесе екі жақты жұқалтырдан істелген



Сур. 12.9. Екі МТ-дан құралған икемді-қатты конуструкциясы

ікемді іргеде қалыптасқан, МТ мен тегіс икемді кабельдерден тұратын, үш өлшемді икемді-қатты РЭҚ конуструкциясын жасауға мүмкіндігі. Жалпақ кабельдерді МТ-і РЭҚ-тің басқа конуструкцияларымен байланыстырады, бұл платада алмалы-салмалы біріктіргіштерден құтылуға мүмкіндік береді, платалардың габаритті өлшемдері мен салмағын азайтады, байланыстырушы шынжырлардың беріктігін жоғарлатады. Осындай конуструкция бақылау мен жөндеу кезінде платаларды бұруға мүмкіндік береді (сур. 12.9).

Диэлектрикалық іргелер үшін лавсан мен полиимид қолданылады. Лавсан арзан, - 60 бастап +105 °С дейін температуралардың диапазонында жұмыс істей алады, бірақ майыстырудың азырақ санын төзеді және балқыту температурасы төмен болғандықтан дәнекерлеу режимі бойынша шектеуі бар. Лавсандағы ГМТ-ы зертханалық пен кеңсе жағдайларында жұмыс істейтін тұрмыстық техника мен РЭҚ-та қолданылады. Полиимид лавсанға қарағанда бағасы қымбаттырақ, оның негізіндегі ГМТ температураның үлкен диапазонында жұмыс істейді және ұзақ уақыт бойы икемдікті сақтайды.



Сур. 12.10. үш өлшемді ГПП дайындамасы:

1... 3 — бұғу сызығы

ГМТ дайындау кезінде ОМТ, ДМТ мен ММТ түрінде жасалған ТП пайдаланылады. ТП түрін өткізгіштердің қажетті минималды кендігі, өткізгіш қабаттардың саны, дайындау құны есебімен тандайды. Икемді-қатты конструкцияларды жасаған кезінде 12.9 сур. көрсетілгендей икемді және қатты дайындамалардың қиыстыруын пайдаланылады.

ГМТ пайдалануы монтаждау тығыздығы 200 компоненттер/см<sup>2</sup> дейін МТ *үш өлшемді* конструкцияларын жасауға мүмкіндік береді. ОМТ, ДМТ немесе ММТ *үш өлшемді* конструкцияны ГМТ дайындаманың негізінде өткізгіштер, жалғастыру алаңдары мен қабат аралық өтпелдерімен жасайды (сур. 12.10). ГМТ-ға ИМС-і орнатқаннан кейін бірінші платаны 1 — 1 сызықтар бойынша, сосын 2 — 2мен 3 — 3сызықтар бойынша бүктейді. Пайда болатын үш өлшемді МТ конструкциясы модульге қосылу үшін бүйірінен орыны бар.

### Металл негізіндегі МТ

МТ құрастыру тығыздығы жоғарлаған кезінде конструкцияның шетінен тыс шығарылуы тиіс компоненттер тарататын қуаттың жылу ағынының тығыздығы жоғарлайды. Бұл үшін МТ негізінің материалында жақсы жылу өткізгіштігі болуы тиіс. Жылу өткізгіштігінің коэффициенті  $\lambda$  және кейбір материалдар үшін сызықтық кенеюдің температуралық коэффициенті (СКТК) 12.4 кестеде берілген. Кестенің деректерінен түрлі түсті металлдардың жылу өткізгіштігі шынытекстолиттен төрт есе артық екені көрінеді.

Кесте 12.4

| Материал             |                                               | $\lambda$ , Вт/(м·°C) | ТКЛР,<br>$1 \cdot 10^6$ 1/°C |
|----------------------|-----------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Металл негізі        | Мыс                                           | 320...400             | 17                           |
|                      | Алюминий                                      | 160...220             | 23                           |
|                      | Ковар (Fe-Ni-Co қорытпасы)                    | 17                    | 5,3                          |
|                      | Тот баспайтын болат                           | 15.40                 | 12                           |
|                      | Инвар (Fe-Ni қорытпасы)                       | 11                    | 3,1                          |
| Диэлектрический слой | Алюминий нитриді                              | 150.190               | 3,3.4,1                      |
|                      | Алюминий оксиді                               | 25 . 35               | 5,5.7                        |
|                      | Керамикалық толтырғышы бар полимерлі материал | 2,2                   | 7.9                          |
|                      | Шынытекстолит                                 | 0,2.0,4               | 14.18                        |

Металл негізіндегі МТ қуатты ИМС-тан монтаждаудың жоғары тығыздығы кезінде жылу ағынының тиімді бұрып жіберуін қамтамасыз етеді. Металл негізіндегі МТ конструкциясы үш қабатты құрылым болып табылады: металл негізі – диэлектрик – таспалы коммутациялық жүйе. Бұл құрылым үшін маңызды талап СКТК-нің оған кіретін материалдардың жақындығы. Олардың бір біріне жарасу кезінде МТ конструкциясында РЭҚ температурасы өзгерген кезінде механикалық кернеу пайда болмайды. 12.4 кестеден бұл талап мыс жұқалтыры бар шынытекстолитті платалар үшін орындалатыны белгілі.

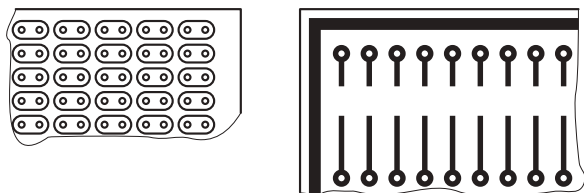
МТ металл негізі ретінде мысты, алюминий қорытпаларын, болатты, титанды; диэлектрикалық қабат үшін -  $Al_2O_3$  таспалары (алюминий қорытпаларынан төсемдерді анодтау нәтижесінде қалыптасқан), болпт пен титан төсемдеріндегі жоғары температуралық эмальді, құрғақ таспалы фоторезистті, керамикалық толтырғышы бар химиялық берік полимерді пайдаланылады. Диэлектрикалық қабаттың үстінде өткізгіштердің коммутациялық жүйесін диэлектрикалық қабаттың үстіне жапсырылған мыс жұқалтырдан жасалған МТ өткізгіштерін қалыптасудың дәстүрлі әдістерімен жиірек жасайды.

Кейбір фирмалар металл негізі бар МТ үшін материалдарды жасауға мамандандырылған, олар жағылған диэлектрикалық қабат пен мыс жұқалтыры бар платалардың дайындамаларын (болат, мыс, алюминий, титан негіздерімен) шығарады. Осындай дайындамалардағы ОМТ дәстүрлі әдістер арқылы жасайды. Дәл осы материалдар шыныпластик негізіндегі МТ үшін жылуды әкету ретінде қолданылуы мүмкін. Бұл жағдайда шыныпластик плата мыс жұқалтырсыз диэлектрикалық қабаты бар жылуды әкету металл іргеке орналастырылады.

Металл негізіндегі МТ жоғары жылу өткізгіштігінен басқа үлкен габаритті өлшемдердің өзінде жоғары механикалық беріктікке ие. Металл негізін қоректену тинасы немесе жерге қосу ретінде пайдалануға болады. Металл негізіндегі МТ кемшіліктері үлкен салмақ және құрылғылардың жылдам әрекетін төмендететін өткізгіш-төсемнің үлкен зияндық сыйымдылығы болып табылады.

## Дара өндірісті МТ

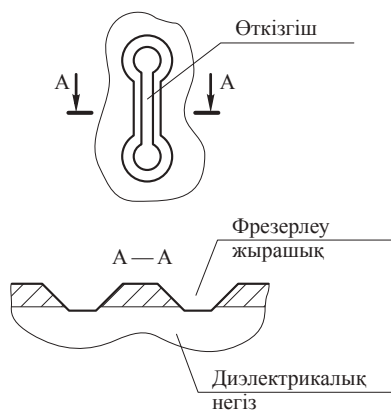
Қабатты пластиктарда МТ жасау ТП, металл негізіндегі ГМТ мен МТ сериялы және жаппай өндіріске бағытталған. Осы ТП үлкен ұзақтылығы, оларды жасауына ТО үшін санитарлық пен экологиялық нормалар осы үдерістерді өнімдердің эксперименталды үлгілерінің макеттерін жасау үшін пайдалануға мүмкіндік бермейді. Оларды шығару үшін *дара өндірістің* МТ қолданылады – макеттік платалар, прецизиондық механикалық фрезерлеу немесе өткізгіштердің лазерлік қалыптасуымен жасалған платалар, сонымен қатар рельефтік платалар.



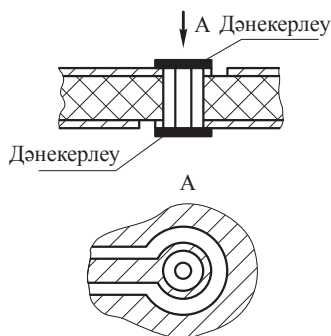
Сур. 12.11. Макеттік платалардың варианттары

*Макеттік платалар*— корпусның әртүрлі типімен, 0,5; 0,65; 0,8 немесе 1,27 мм жүрісімен, компоненттерді және ИМС орнату үшін монтаждау алаңдарының жинағымен, әртүрлі үлгілі ОМТ немесе ДМТ дайындамалары, сонымен қатар қоректену шиналары (сур.12.11).Өнімді монтаждау кезінде компоненттерді қолмен жалғасу алаңдарына дәнекерін алып тастайды және монтаждау сымдарымен қажетті схемаға қосады.

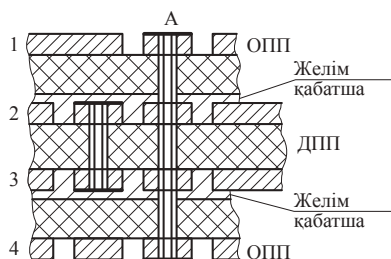
*Прецизиондық механикалық фрезерлеу* әдісімен эксперименталды МТ арнайы фрезерлік жабдық пен микрофрезалар жинағы бар бір-немесе екіжақты жұқалтырмен қапталған шыныпластик дайындамада жасайды. Әр жекешелендірілген өткізгіш немесе жалғасу алаңша өткізгіштің бүкіл контуры бойынша жұқалтырдың жіңішке қабатын жою арқылы болып шығады(сур. 12.12). бұл әдіс ОМТ, ДМТ мен ММТ-ны қабат аралық өтпелдерімен жасауға мүмкіндік береді. Өткізгіштің минималды кендігі – 200 мкм, саңылаудың – 100 мкм. Монтаждау арасындағы өтпелдерді дайындаманы бұрғылау мен екі жақтан мыс сымды қадауышты дәнекерлеу арқылы жасайды (сур. 12.13).



12.12.сур. Контуры бойынша микрофрезерлеу арқылы ПП өткізгішін жасау

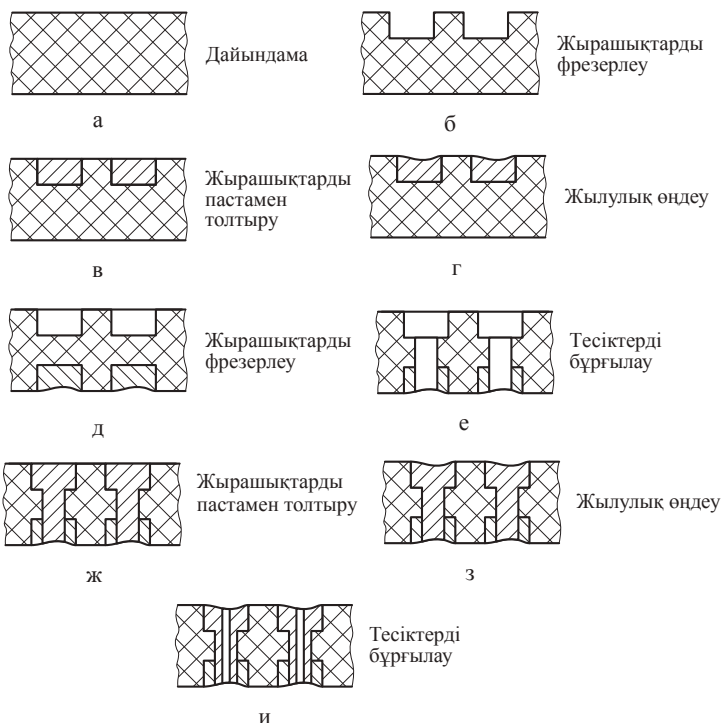


12.13.сур. Қабат арасындағы электрлік байланыс



Сур. 12.14. Фрезерлеу өткізгіштері бар төрт қабатты ПП:

1... 4 — ПП қабаттары; А — электрикалық өтпел



Сур. 12.15. рельефті МТ жасаудың ТП:

*a...г* — жырашықтарды пастамен толтыру және олардың жылулық өңделуі; *д* — жырашықтарды іргенің қарама қарсы жағынан фрезерлеу; *е* — өтпелі тесіктерді бұрғылау; *ж, з* — жырашықтарды пастамен толтыру және олардың жылулық өңделуі; *и* — компоненттерді шығару үшін тесіктерді бұрғылау

Төрт қабатты МТ дайындау үшін (сур. 12.14) екі қабатты МТ екі жағынан желім қабатша көмегімен жұқалтырмен қапталған шынытекстолит тығыздалады. Сыртқы жақтардың өткізгіштері микрофрезерлеу арқылы қалыптастырады. Электрикалық өтпел А 1 өткізгіштер қабатынан 4 өткізгіштер қабатына тесіп өткен бұрғылау мен қаданы дәнекерлеумен жасалады. Электрикалық изоляциялау үшін қаданы айнала 2 мен 3 қабаттарда фрезерлеу арқылы пайдаланбайтын жалғасу алаңшаларды қалыптастырады.

Екі лазермен жабдықталған лазерлік технологиялық қондырғыда *өткізгіштерді лазерлік фрезерлеу* әдісімен бір- немесе екіжақты жұқалтырмен қапталған шыныпластик дайындамада эксперименталды МТ жасайды. Мыс жұқалтырды микрофрезерлеу мен МТ топологиялық суретін қалыптастыру үшін толқынның ұзындығы 250... 350 нм ультрафиолет диапазонында жұмыс істейтін және дақтың минималды диаметрі 20 мкм маңында кезінде 4 Дж/см<sup>2</sup> аса қуаттықтың тығыздығын қамтамасыз ететін бірінші лазер қолданылады. Екінші лазер ИК диапазонында жұмыс істейді, оның сәулеленуі диэлектрикалық органикалық және шыныпластик материалдарда жақсы сіңіріледі және оларды материалдардың булану температураға дейін жылытады, бұл олардың ішінде диаметрі 70 мкм дейін тесіп өтетін және керең тесіктерді бұрғылауға мүмкіндік береді.

*Рельефті* ОМТ жасау үшін металмен толтырылған полимер-пастамен толтырылатын (сур. 12.15, в) үстінде арнайы микрофрезалармен өткізгіштер үшін (сур. 12.15, б), жырашықтар қалыптасатын, шынытекстолиттен жасалған дайындаманы қолданылады. Жылулық өндеуден кейін 150.200 °С температура кезінде 30.60 мин ішінде жоғары өткізгішті, негізге жақсы адгезиямен және балқытылған дәнекермен үстін сулауымен өткізгіштер қалыптасады (сур. 12.15, г).

ДМТ дайындау кезінде жырашықтарды екінші жақта фрезерлейді (сур. 12.15, д) және өтпел тесіктерді бұрғылайды (сур. 12.15, е). Жырашықтар мен тесіктерді пастамен толтырады және жылулық өндеуге салады, ал компоненттерді шығару үшін тесіктерді бұрғылайды (сур. 12.15, и). Осы технология өткізгіш пен саңылаудың 150 мкм кем емес кеңдігімен жасауға мүмкіндік береді.

## **Бақылау сұрақтары**

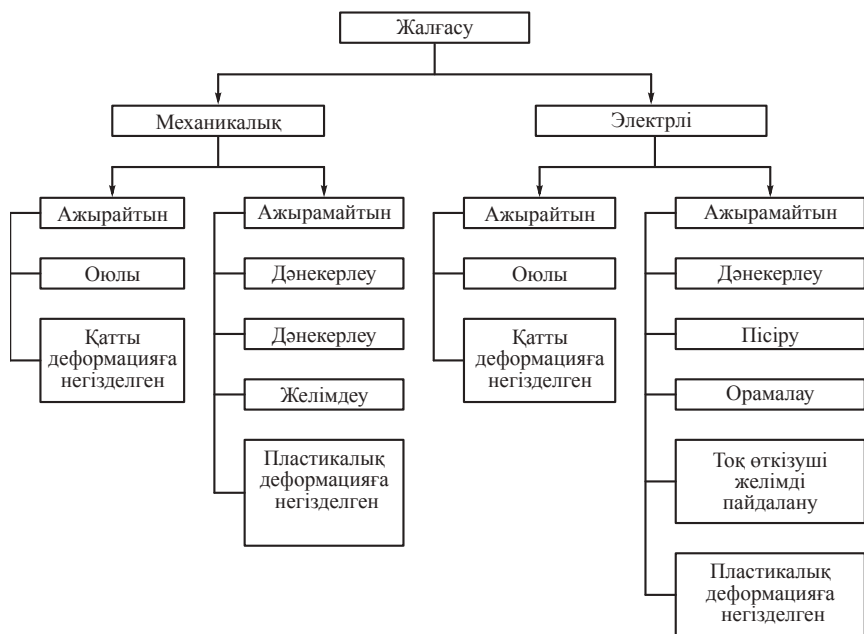
1. ОМТ жасау ТП туралы айтып беріңіз.
2. ДМТ дайындау операцияның реттілігін позитивті біріктірілген әдіспен сипаттаңыз.
3. ДМТ тентинг-әдіспен қалай жасайды?
4. Дифференциалды өндеуімен жартылай аддитивті әдіспен ДМТ-нің қалыптасуы қалай өтеді?

**РЭҚ жинақтау, монтаж жасау және реттеу****13.1. Жалғасулар жіктелімі және оларды қолдану салалары**

РЭҚ қазіргі құрылымдары көптеген бөлшектерден тұрады, оларды функционалдық белгілері бойынша электрорADIOкұрамдауыштар және сындарлы элементтерге бөлуге болады. Осы элементтердің барлығы жинақтау және монтаж жасау кезеңінде РЭҚ құрылысына біріктіріледі. *Жинақтау* деп өнімнің құрамдас бөліктері жалғасуларының ТП жаралымдары аталады. Жинақтау — РЭҚ жасаудың ТП соңғы кезеңі, ол РЭҚ-дың негізгі сапа көрсеткіштеріне әсер етеді. Жинақтау кезінде бұдан бұрынғы барлық әзірлеу, жалпы құрылыс пен қосалқы бөлшектерді өндіру кезеңдерінің нәтижелері көрінеді.

13.1 кестесі

| Рет. № | Құрама түрі      | Рет. № | Құрама түрі   | Рет.№ | Құрама түрі       |
|--------|------------------|--------|---------------|-------|-------------------|
| 01     | Байонетті        | 15     | Ниппельді     | 29    | Фальцовты         |
| 02     | Тоқымалы         | 16     | Дәнекерлі     | 30    | Фланецтік         |
| 03     | Шегелі           | 17     | Өрімді        | 31    | Қамытты           |
| 04     | Құлыпты          | 18     | Престі        | 32    | Цангты            |
| 05     | Формалы          | 19     | Серіппелі     | 33    | Топсалы           |
| 06     | Иректі           | 20     | Жанышқылы     | 34    | Шлангті           |
| 07     | Желімді          | 21     | Оюлы          | 35    | Қобылы            |
| 08     | Клеммалы         | 22     | Өзі жабылатын | 36    | Сіргелі           |
| 09     | Тойтарылған      | 23     | Дәнекерлі     | 37    | Буатты            |
| 10     | Сыналы           | 24     | Есуленген     | 38    | Мықты             |
| 11     | Құрамдастырылған | 25     | Қапсырмалы    | 39    | Жалғақты          |
| 12     | Жанасқан         | 26     | Тігінді       | 40    | Бұрамашегелі      |
| 13     | Жұдырықты        | 27     | Термотұрақты  | 41    | Эксцентрикалық    |
| 14     | Орамды           | 28     | Қатты         | 42    | Электробайланысты |



13.1. сурет. Жалғасулар жіктелімі

Жинақтау кезінде 13.1 кестесінде алфавитті тәртіпте көрсетілген механикалық және электрлі жалғасуларды пайдаланады.

РЭҚ жинақтау кезінде әртүрлі ажырайтын және ажырамайтын жалғасулар қолданылады. (13.1 сурет).

*Ажырайтын* жалғасулар алдын ала қарастырылған санмен жинақтау мен бұзуды қарастырады. РЭҚ өндірушісі әр бір сындарлы элемент пен ЭРҚ үшін жалғасулар түрін ТЗ талаптары, өнімнің жұмыс шарттары, қажетті беріктігі, технологиясы мен жинақтау шығындарын есепке алып технико-экономикалық талдау негізінде таңдайды. Ажырамайтын жалғасуларды жинақтау кезінде материалдар мен құрамалы жалғасулар бөлшектерінің бұзылуы жүзеге асырылады.

## 13.2. РЭҚ құрылыстарының механикалық жалғасулары

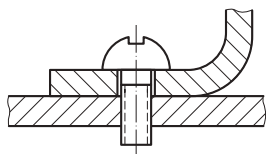
*Ажырайтын механикалық жалғасулар.* Осындай жалғасуларға біріншіден, құрылыс бөлшектерінің *оюлы* жалғасуы кіреді. (13.2 сурет). Оны ауыр және үлкен өлшемді бөлшектер мен РЭҚ түйіндерін – трансформатор, экран, қақпақты бекіту үшін қолданады. Ол жұмыста сенімді және жалғасудың жоғары беріктігін, жинақтау мен бұзудың ыңғайлығын, бөлшектердің өзара орнын реттеуді қамтамасыз етеді.

Бірақ вибрациялық жүктелім шарттарында тиісті түрде пайдаланбау кезінде оюлы жалғасуы өзінен өзі әлсіреуі мүмкін.

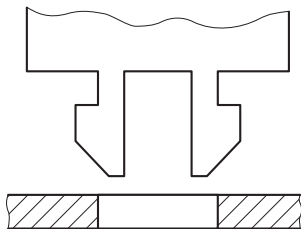
Осы кемшілікті жою үшін *анаэробты түрдегі* арнайы сұйық желім пайдаланылады, ол жинақтаудың алдында оюлы қосылғыштардың қосылу орнына жағылады. Желім барлық тесіктерді толтырады және ауаның болмауы жағдайында полимерленеді, оюлы жалғасуды сенімді бекітеді, бірақ ол әдетті құрал-сайман көмегімен ажыратылады.

Ажырайтын механикалық жалғасу сындарлы элементтер — қақпақ, корпус элементтерін, түйіндерді бекіту бөлшектерінің қатты деформациясымен қамтамасыз етілуі мүмкін. 13.3 суретте үстіңгі бөлшек төменгі бөлшектің тесігіне жақсы қосылады. Бұзу үшін жалғасудың төменгі бөлшектері қатты деформацияланады. Жалғасудың серіппелі элементінің қатты деформациясында коаксиалды бөлшектерді, дөңгелек экрандарды қосу кезінде пайдаланатын ыңғайлы *байонетті* жалғасулар негізделген. Қосылу бір бөлшектің дөңестерін екіншінің жырындыларына енгізіп, бірінші бөлшекті бұрау арқылы жүзеге асырылады.

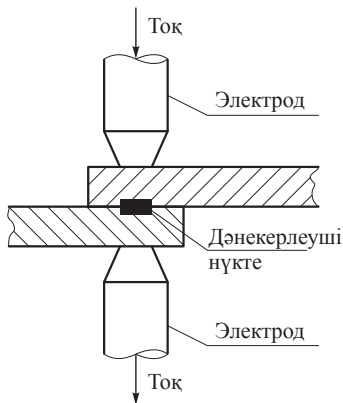
**Ажырамайтын механикалық жалғасулар.** Бұл жалғасуларды байланысты немесе газды балқыту, пластикалық деформация, желімдеу және дәнекерлеу әдістерімен жасайды.



13.2. сур. Бұйымдарды оюлы әдіспен жалғау



13.3 сурет. Конструктивті элементтің қатты деформациямен ажырайтын жалғасуы



13.4 сурет. Ажырамайтын жалғасудың конструктивті элементтің қатты деформациясымен нүктелік балқыту кезінде пайда болуы

*Пісірілген* жалғасулар РЭҚ тасымалдауыш құрылыстарын – болат және алюминий қорытпаларынан жасалатын корпус, қаңқа, таған, шасси, антенналық құрылғылар құру кезінде пайдаланады. Байланысты электрлі пісіруде жиі қолданады, оның барысында пісірілген бөлшектерді электродтардың арасына орналастырады, олар арқылы ток импульсі өткізіледі. (13.4 сурет). Ток импульсінің әрекетінен бөлшектер байланысының аумағы піседі және ток импульсінің әсері аяқталғаннан кейін ажырамайтын механикалық қосылу – пісіру нүктесін жасап қатады.

Пластикалық деформациямен – шегелеу, бүктеу және т.б. жасалатын механикалық ажырамайтын жалғасулар жоғары механикалық төзімді болады. ( 13.5 сурет).

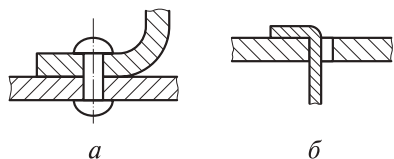
*Желімдеу* — катудан кейінгі молекулалық тіркеу күштері есебінен бөлшектердің қосылуын қамтамасыз ететін бөлшектердің арасындағы тесіктерге желім - полимерлік композиция жағылатын механикалық қосылудың ажырамайтын түрі. Желімдік жалғасу оюлы және пісірілетін жалғасудан арзан; оның көмегімен әртекті материалдардан жасалған бөлшектерді қосуға болады. Желімді полимеризациялау бөлме температурасында жүзге асырылуы мүмкін, ал оны жеделдету үшін материалдарды қыздырады.

Желімдер сұйықтық, желіммен ылғалданған қабық, мата, ұнтақ, жабысқақ бір- және екіжақты лента, басқытпалар түрінде пайдаланылады. Көп жағдайларда желімдеу резеңкені металлмен, металлды шыны және керамикамен сияқты материалдарды қосудың жалғыз тәсілі болып келеді. Желімдік тігіске нақты қасиеттерді беруге болады — мөлдірлік, жылуөткізгіштік, электрөткізгіштік немесе оқшаулағыш қасиеттері, магнитті материал қасиеттері.

Желімдік жалғасулардың кемшіліктері — төмен беріктік және көп желімдердің жылуға төзімділігі, бірталай уақыткебуі, кейбір құрамдауыштардың улағыштығы.

РЭҚ технологиясында желімдердің көп түрлері пайдаланылады, әдеттегідей олар күрделі рецептуралы нақты қасиеттері бар арнайы желімдер, оның құрамына кіреді:

- Желімденетін материалдармен жабысқақтықты қамтамасыз ететін негіз;
- Жабысқақтықты реттеу үшін еріткіш;
- Технологиялық қасиеттерді (жабысқақтық, жайылғыштық) анықтайтын құрамдауыштар;



13.5 сурет. Пластикалық деформация-лаумен құрастырылатын ажырамайтын жалғасулар:

*a* — шегелеу; *б* — бүктеу

| Желім маркасы | Желім негізі              | Желімденетін материалдар                                   | Жұмыс температурасы, °С | Беріктік шегі, МПа |
|---------------|---------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|
| БФ-2, БФ-4    | Фенолформальдегидті шайыр | Металлдар, қабатты пластиктер, керамика, ферриттер, ситалл | - 60... + 60            | 8.30               |
| ВК-9          | Эпоксидті шайыр           | Металлдар, қабатты пластиктер                              | - 60.+25                | 15.23              |
| ПУ-2          | Полиуретан                | Металлдар, шынылар, ферриттер, пластмассалар               | - 60. + 80              | 3.22               |
| ЛН            | Наиритті каучук           | Резеңке, металлдар, пластиктер, шынылар, ферриттер         | - 60. + 60              | 1.5                |

• Желім қаттамасының өту процесін реттейтін құрамдауыштар (қатайтқыш, қату реакциясын жеделдеткіш, катализатор);

• физико-механикалық қасиеттерін анықтайтын құрамдауыштар (тотырғыштар, пластификаторлар).

Желім негізі болып фенолформальдегидті, эпоксидті, полиуретанды, снемесеконды және басқа да шайырлар негізіндегі жоғары полимерлер қолданылды. Негіз түрлері бойынша бөледі:

• термореактивті желімдер, мысалы фенолформальдегидті, эпоксидті, кремний органикалық немесе несепнәр формальдегидті шайырлар;

• термопластикті желімдер, мысалы, полиэфирлі шайырлар, полиметилметакрилат, полистирола, нитроцеллюлоза негізіндегі;

• натритті каучук негізіндегі желімдер.

Желім түрін ОСТ 4 Г0.029.004 «Желімдер. Қасиеттері мен тағайындалуы», стандарттарын басшылыққа алып, желімденетін материалдар, механикалық жүктілік, жұмыстың температуралық жағдайларына сүйеніп таңдайды. Желімдеу ҚП технологиясында жұқалтыр материалын өндіру үшін, МБП қабаттарын желімдеу үшін, БП бетінде құрамдауыштарды бекіту үшін кең қолданылады. Кейбір желімдердің өлшемдері 13.2 кестеде көрсетілген.

### 13.3. РЭҚ құрылыстарында электрлі жалғасулар

#### Электрлі жалғасулардың түрлері мен өлшемдері

Электрлі жалғасулар РЭҚ құрылыстарының басты элементтері болып табылады. Оларды жасау кезінде жалғасудың жоғары

механикалық төзімділігі мен қосылатын бөлшектер арасында төмен қарсылықпен жоғары сенімді электрлі байланысты қамтамасыз ету қажет. Электрлі жалғасуларды РЭҚөндірудің барлық ТП 70 % дейін құрайтын электрмонтажды процессте жасайды. Ажырайтын және ажырамайтын электрлі жалғасуларды құру үшін ауысымды электрлі қарсылық пен бас тарту қарқындылығының әртүрлі мағынадағы электрлі жалғасуларды алуды қамтамасыз ететін (13.3 кесте) көптеген тәсілдерді қолданады (13.1 суретті қараңыз),

Қазіргі заманғы электронды құралдарды технологиялық, жөндеуге жарамдылық, модульдылық құру талаптары келесі өлшемдермен бейнеленетін ажырайтын электрлі жалғасуларды пайдалану есебінен тиімді жүзеге асырылады:

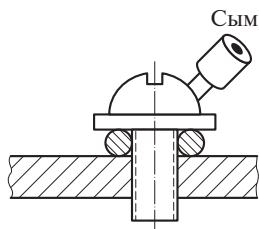
- байланыстың ауысымды қарсылығы;
- байланыстардың индуктивтілігі;
- байланыс аралық өлшем;
- коммутацияланушы тоқтар мен кернеулердің шекті мағынасы;
- жалғасуды буындастыру және ажырату механикалық күштерінің шекті мағынасы;
- буындастыру және ажыратудың рұқсат етілген саны;
- қолданудың температуралық диапазоны;
- монтаждау кезінде қызудың рұқсат етілген шекті температурасы.

Ажырайтын электрлі жалғасулардағы қосылатын беттер арасындағы байланыс байланыс жазықтығы бойынша емес, ал жазықтықтың микро кедір-бұдырлығының ұшы бойынша жүзеге асырылады, сондықтан байланыс арқылы электрлі токтың өтуін қамтамасыз ететін нақты аумақ байланыстың көрсетілген аумағынан едәуір кіші болады, ол ауысымды электрлі қарсылықты жоғарылатады.

13.3 кесте

| Электрлі жалғасудың түрі                        | Ауысымды қарсылық, МОм | Бас тарту қарқындылығы, $1 \cdot 10^9$ 1/ч |
|-------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------|
| Пісіру                                          | 0,01...1               | 0,1...30                                   |
| Дәнекерлеу                                      | 2...5                  | 1...10                                     |
| Орамалау                                        | 1...2                  | 0,2...0,5                                  |
| Оюлы жалғастыру                                 | 5...20                 |                                            |
| Қатты деформацияға негізделген жалғастыру       | 5...40                 | 100...1000                                 |
| Пластикалық деформацияға негізделген жалғастыру | 1..10                  | 2...5                                      |
| Тоқөткізгіш желім                               | $10^3 \dots 10^5$      | 20...50                                    |

Ауысымды қарсылықты азайту үшін байланыстырылатын беттер арасында қысу күшін көбейтеді, ол беттердің микро кедір-бұдырлығының езілуіне әкеп соғады; байланыстырылатын беттерге пайдалану кезінде үлкен қарсылықты коррозиялық қабықтың пайда болуына кедергі болатын алтын, никель, родий және қола негізіндегі қоспалар қабықтары жағылады.



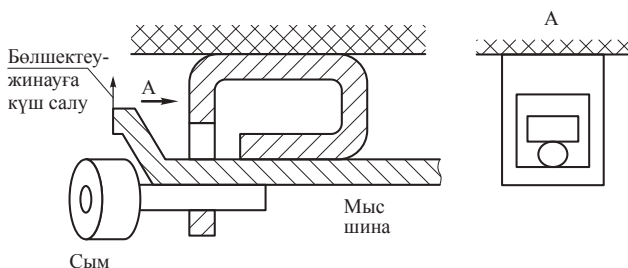
13.6 сурет. Ажырайтын оюлы электрлі жалғасулар

### ***Ажырайтын электрлі жалғасулар.***

Бұл жалғасулар көбінесе *оюлы* жалғасулар негізінде жасалынады, онда жалаңаш сымның ілмегі немесе сым ұшындағы арнайы байланыс ток өткізгіш бетке бұрамалап жабыстырылады (13.6 сурет). Болат бұраманы пайдалану төмен ауысымды қарсылықпен сымның көлденең кесігінің аумағын бірнеше рет асып өтетін байланыстың үлкен аумағын қалыптастыратын жалғасудың үлкен созылымын қамтамасыз етеді. Жалғасудың осы түрінің кемшілігі - үлкен өлшемдер мен тербеліс жүктемелердің төмен төзімділігі.

Сымдарды БП оюлы қосу үшін дәнекерлер шығарылды, мысалы бугельді құрылыс, онда бұрама пластинаны болат серіппелі торда сымға жабыстырады. Қысу кезінде тордың жоғарғы жапырағы кішкене іргеге қайырылады және жалғасудың вибротөзімділігін қамтамасыз етіп бұрамадағы оюды қысады.

РЭҚ қатты деформацияға – жалғағыштар, байланысты құрылғылар, айыр, істікшелерге негізделген ажырайтын электрлі жалғасулар кеңінен пайдаланылады. 13.7 суретте клеммалы серіппелі жалғасу көрсетілген. Платмассты корпуста коррозияға қарсы серіппелі болаттан жасалған байланыс серіппе орналастырылған. Ол біржелілі немесе көпжелілі сымды сым диаметріне пропорционалды күші бар қола негізіндегі қоспамен жабылған мыс шинаға жабыстырады.



13.7 сурет. Клеммалы серіппелі жалғасу құрылысы

Осы жалғасудың құрылысында механикалық қысу мен электрлі байланыс арасындағы функциялар бөлінген. Шағын ауысымды электрлі қарсылық үшін қажетті байланыстағы механикалық қысым болат серіппесімен қамтамасыз етіледі. Электрлі байланыс сым мен қалайыланған қола шина арасында жүзеге асырылады. Сенімді байланыс жасау үшін серіппе мырыш және хроммен қапталған.

Қатты деформацияға негізделген ажырайтын электрлі жалғасулар, вибротұрақты, тез бунақтауды қамтамасыз етеді, пайдалану кезінде ең төмен қызмет көрсетуді талап етеді.

**Ажырамайтын электрлі жалғасулар.** Бұл жалғасуларды пластикалық деформация, балқыту, тоқ өткізгіш желім, дәнекерлеумен жасайды. Пластикалық деформацияны көбінесе байланыстырылатын ұштықты монтажды сымның жалаңаш соңына қосу үшін пайдаланады. (13.8 сурет).

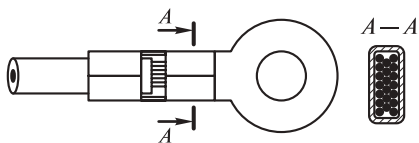
Өткізгіштің пластикалық деформациясында *орамалаумен* жалғастыру да негізделген, арнайы құрылғымен өткір бұрыштары бар металл істікке жалаңаш біржелілі сымды тартып орайды. (13.9 сурет). Сымды тарту істік бұрыштарында сым мен істіктің көптеген байланыстарын тудыратын пластикалық деформацияға әкеп соғады. Пластикалық деформациялау тәсілі жоғары сенімді жалғасуларды құрастыруға мүмкіндік береді. Тәсілдің кемшіліктері — жалғасудың үлкен өлшемдері мен жалғасуларды топтық құрастырудың мүмкін еместігі. Пластикалық деформациялаумен жасалған жалғасулар температуралардың өте кең диапазонында жұмыс жасай алады, вибрацияның ықпал етуі кезінде сенімді.

*РЭҚ* құрылыстарындағы *пісірілетін* электрлі жалғасулардың механикалық пісірілген жалғасулардан келесі айырмашылықтары бар:

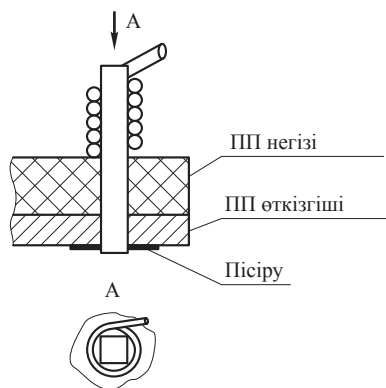
- пісірілетін байланыстардың өте кіші аумақтары (20 x 20 мкм<sup>2</sup> дейін);
- пісірілетін элементтердің кіші жуандығы (төсемдегі қабықтың жуандығы 1 мкм аз, өткізгіштер диаметрі 20...200 мкм).

Сондықтан көбінесе пісірудің арнайы — термокомпрессионды және ультрадыбысты тәсілдерін қолданады.

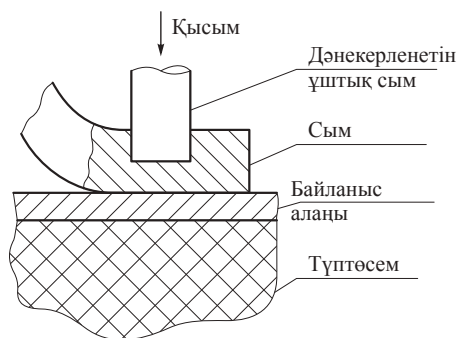
*Термокомпрессионды пісіруді* жасау кезінде пластикалық металлдан жасалған сым және қабықты байланысты аумақтың арасындағы пісіру нүктесі (13.10 сурет) жоғары температуралы қысыммен қалыптасады. Пісіру температурасынан деформацияға қарсылығы төмендей бастайтын ~ 0,7...0,8 температураға дейін ысытылған балқытылатын ұштық сымды байланысты аумаққа қысып



13.8 сурет. Пластикалық деформацияға негізделген ажырамайтын электрлі жалғасу



13.9 сурет. Орамалаумен ажырамайтын электрлі жалғасу



13.10 сурет. Термокомпрессионды балқыту

жабады, оның нәтижесінде пісіру нүктесінде пісірілетін материалдардың бірыңғай кристалды құрылысы қалыптасады.

Ультрадыбыстық пісіру процесінде балқытылатын ұштық пісіру кезінде механикалық қысымды төмендетуге мүмкіндік беретін ультрадыбыстық ауытқуларды жасайды.

Термокомпрессионды және ультрадыбыстық пісіру құрамдауыштарды гибриды-қабатты ИМС байланысты аумақтарына түйіндерін монтаждау, ИМС корпусы ішінде монтаждау үшін кеңінен пайдаланады. Олардың құндылығы — электрлі жалғасулардың төмен өлшемдері, жалғасу төзімділігі қосылатын материалдардың төзімділігіне жақын; кемшілігі — жалғасудың топтық тәсілін іске асырудың қиындығы.

РЭҚ құрылыстарында ажырамайтын электромонтажды жалғасуларды жасаудың ерекше тәсілі *электроөткізгіш желімдерді (контактолдар)* пайдалану болып табылады. Оларды ИМС кристалдарын төсемдерге бекіту үшін, БП өткізгіштерін жөндеу

13.4 кесте

| Желім маркасы | Құрамы                  | Салыстырмалы қарсылық, Ом · м | Жұмыс температурасы, °С |
|---------------|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| НТК           | Эпоксидті шайыр, никель | $5 \cdot 10^{-5}$             | - 60... +150            |
| КМ-2          | Эпоксидті шайыр, қола   | $5 \cdot 10^{-2}$             | - 60... +125            |
| КГ-3          | Эпоксидті шайыр, графит | 5... 10                       | - 60... +125            |
| ЭЧЭ-С         | Эпоксидті шайыр, күміс  | 0,3                           | - 60... +125            |

үшін, әрең жететін орындарда жалғасуларды жасау үшін пайдаланылады. Электрооткізгіш желімдер желімді негіз және электрооткізгіш қосынды – майда дисперсті күміс, алтын, палладий, қола, никель, графиттен тұратын сұйық қоспалар. Қатудан кейін қапталған қабат жоғары өткізгіштік, бетке жақсы жабысқақтықты қамтамасыз етеді. 13.4 кестеде кейбір электрооткізгіштік желімдердің өлшемдері келтірілген.

## Дәнекерленген электрлі жалғасулар

**Дәнекерлеу технологиясы.** Дәнекерленген электрлі жалғасулар қатты металлдар мен сұйық металлды дәнекермен қосу процесінде пайда болады, ол дәнекерлеу металлдарымен өзара қарым-қатынас жасайды және сұйық қабатты жасайды, оның сууы мен кристаллизациясы дәнекерленген жалғасудың пайда болуына әкеледі, оның құрылысы 13.11 суретте көрсетілген.

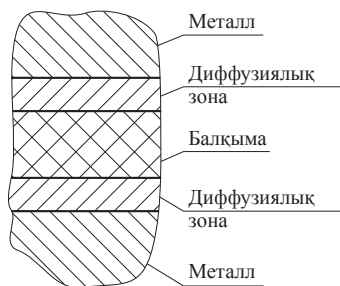
ТП дәнекерлеуде төрт деңгейді бөлуге болады [19]:

- дәнекерленетін беттерден кірленуі және оксидті қабықтарды жою;
- сұйық дәнекердің жайылуы және тесіктерді толтыру;
- қатты металл – сұйық дәнекер шекарасында өзара қарым-қатынас;
- дәнекердің кристаллизациялануы.

**Дәнекерлеудің бірінші кезеңі.** Майлы кірленуді жою беттік белсенді заттары бар және органикалық ерітінділермен жуу арқылы жүзеге асырылады. Көбінесе дәнекерленетін материалдардың беттері диэлектрик болатын оксидті қабатпен қапталған, оны дәнекерленетін металлдардың бетінен жою қажет. Оған қоса, сұйық дәнекерлер оксидті қабаттарды жаман дымқылдатады.

Оксидті қабаттарды жою үшін *флюс* пайдаланылады, дәнекерленетін беттер мен сұйық дәнекер бетінен оксидті қабатты еріту үшін оның балку температурасы дәнекерлеу температурасынан 30...50° төмен болуы қажет. Флюс дәнекерлеуден кейін жеңіл алынуы қажет, ал оның қалдықтары дәнекерленген тігістің коррозиясын тудырмауы тиіс.

Флюс сұйықтық, ұнтақ, гель, аэрозоль түрінде қолданылады. Ол дәнекерлеу пасталарының құрамына кіруі мүмкін; дәнекерді флюспен толтырылған түтікше ретінде кеңінен



13.11 сурет. Дәнекерленген жалғасудың құрылысы

қолданылады.

Көп жағдайларда РЭҚТО элементтерін дәнекерлеуде флюс есебінде дәнекерлеу температурасында қола мен болат оксидтерін ерітетін құрамында әлсіз органикалық (абиетинді) қышқылы бар табиғи *канифоль* қолданылады.

Флюс белсенділігін жоғарылату үшін оның құрамына одан күшті органикалық қышқылдарды — салицилды, лимонды, шавельды және т.б. енгізеді. Флюс белсенділігін тұзды қышқылдың органикалық тұздарын қосып жоғарылатады, мысалы  $(C_2H_5)_2NH_4HCl$  тұзды қышқылды диэтиламин. Осындай *активтелген флюстер* және олардың қалдықтары өткізгіштер мен дәнекерленген жалғасулардың коррозиясын, диэлектриктердің қарсылығы төмендеуін тудырады. Сондықтан дәнекерлеуден кейін оларды сумен немесе арнайы жуғыш сұйықтықтармен жою қажет. Кейбір флюстер жууды қажет етпейді. 13.5 кестеде қола-қорғасын дәнекерлерді дәнекерлеу үшін кейбір флюстердің мінездемесі көрсетілген.

*Дәнекерлеудің екінші кезеңі.* Дәнекер балқыманың беттік тарту күштері әсерінен металлдардың таза беті бойынша басқытылған дәнекердің жайылуы. Ол металл бетін дымқылдату бұрышы (13.12 сурет)  $\theta$  тепе-теңдік мағынаға жеткен кезінде жүзеге асырылады.  $^{63}Sn/^{37}Pb$  сұйық балқымасы үшін  $260^\circ C$  температурасында қола беті бойынша  $\theta_p = 17^\circ$ .

Қосылатын бөлшектердің беттері бойынша сұйық балқыманың жайылуы капиллярлы күштердің әсерінен болатын, олардың арасында тесіктерді балқымамен толтырып бір мезгілді жүреді. Капиллярлы тесіктегі сұйықтың жоғарылау  $h$  биіктігі

13.5 кесте

| Флюс маркасы | Тағайындалуы                                                                                                  | Флюс қалдықтарын жою                                                       |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| ФПГЛ-01      | БП байланыс аумақтарын ыстық қолайылау үшін қойылтылған флюс                                                  | Сумен жуу                                                                  |
| ФЛСп         | РЭҚ құрамдауыштарын қалайылау және дәнекерлеу                                                                 | Спирттік-бензин қоспасымен жуу                                             |
| ФПС-6        | $300^\circ C$ балқыту температурасы жағдайында РЭҚ, микроэлектронды түйіндерді дәнекерлеу                     | Қалдықтарды жоймауға да болады                                             |
| ФПС-8        | $130...300^\circ C$ температурасы жағдайында РЭҚ дәнекерлеу                                                   | Ыстық суда ( $40...60^\circ C$ , 10.15 мин) немесе ағынды суда жуу — 3 мин |
| ФПС-10       | Флюстің жоғары белсенділігі. Алдын ала қалайылау және ұзақ уақыт сақтаудан кейін дәнекерлігін қалпына келтіру | Ыстық сумен немесе органикалық ерітіндімен ұқыпты жуу                      |



13.12 сурет. Бет бойынша балқыма тамшысының жайылуы

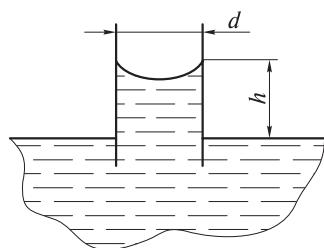
капиллярдың  $d$  диаметрі мен капиллярлар қабырғаларының сұйықтықпен дымқылдату бұрышы төмендеген сайын өседі (13.13 сурет). БП құрамдауыштың шығу және металданған тесіктің қабырғасы арасындағы тесікті дұрыс таңдау жағдайында (13.14 сурет) астынан берілген дәнекер тақшаның барлық жуандығы бойынша тесікті толтыруы қажет.

*Дәнекерлеудің үшінші кезеңі.* Интерметаллдық жалғасулардан құралған диффуздық аумақтың пайда болуына әкеп соғатын дәнекер—металл шекарасында материалдардың өзара диффузиясы (мысты қола негізіндегі дәнекерлермен дәнекерлеу — бұл  $\text{Cu}_3\text{Sn}$  және  $\text{Cu}_3\text{Sn}_3$  түрін-дегі жалғасулар). Барлық интерметаллдық жалғасулар — сынғыш заттар, сондықтан диффуздық аумақ қалыңдығының үлкеюімен дәнекерленген жалғасудың беріктігі төмендейді. Бұл дәнекерлеу ұзақтығын бірнеше секундқа дейін шектеу қажеттілігіне әкеп соғады.

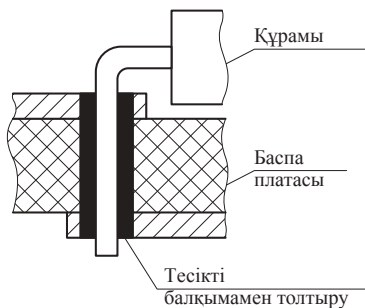
*Дәнекерлеудің төртінші кезеңі.* Жақсы электрлі байланысы бар ажырамайтын жалғасудың пайда болуымен дәнекердің қатуы мен кристаллизациясы.

*Дәнекер және дәнекерлейтін пасталар.* РЭЖ дәнекерленген жалғасуларды алу үшін қола негізіндегі дәнекерлердің әртүрлі маркалары қолданылады. (13.6 кесте).

Көптеген дәнекерлердің негізін қола мен қорғасын құрайды, дәнекерлерге арнайы қасиеттерді беру үшін висмут, сүрме, кадмий, мырыш қосады. Висмут пен кадмий дәнекердің балқу температурасын төмендетеді, сүрмебалқу температурасын және жалғасу төзімділігін жоғарылатады.



13.13 сур. Сұйықтықтың капиллярда көтерілуі



13.14 сурет Құрамдауыш шығуын дәнекерлеу кезінде сұйық балқымамен толтыру

| Дәнекер маркасы | Құрамы, %                            | Балку температурасының диапазоны, °C | Қолдану аумағы                                                                         |
|-----------------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Розе қорытпасы  | Sn25/Pb25/Bi50                       | 90...94                              | БП қалайылау                                                                           |
| ПОСВ-33         | Sn33,4/Pb33,3/Bi33,3                 | 120...130                            | БП қалайылау                                                                           |
| ПОС-61          | Бп59...61/РЬ-остальное/Sb дейін 0,08 | 182...185                            | ПХВ шектеуінде монтажды сымдарды дәнекерлеу, орауыш сымдарын дәнекерлеу                |
| ПОС-63          | Sn63/Pb37                            | 183...185                            | Дәнекерлеу толқынымен құрылғыларда дәнекерлеу                                          |
| АВИА-1          | Sn55/Cd20/Zn25                       | 200                                  | Алюминий және оның қорытпаларын дәнекерлеу                                             |
| ALU-SOL 45D     | Sn18/80,1Pb1,9Ag                     | 270                                  | Алюминий, алюминий қорытпаларын және баска металлдарды дәнекерлеу үшін түтікше дәнекер |
| ПС-78Ол-15Су-7  | Sn15/Pb78/Sb7                        | 231                                  | Жарылуға жоғары берікті дәнекер                                                        |

Қола құрамының көбеюі кезінде дәнекердің механикалық беріктігі жоғарылайды, бірақоның бағасы арта түседі, өйткені қола қорғасыннан қымбат.

Электромонтажды жалғасуларды дәнекерлеу үшін көбінесе ПОС-61 маркалы дәнекер қолданылады — ол балку мен кристаллизацияның аралығы төмен, көп металлдардың дымқылдануы мен тесіктерге жайылуы жақсы қола мен қорғасынның эвтектикалық қорытпасы.

РЭҚ технологиясының экологиялық мәселелері (дәнекерлеу кезінде қорғасын буының шығуы, өнімнің бақылаусыз пайдалануы) әлемнің бірқатар елдерінде РЭҚ өндірудің барлық ТП қорғасынды пайдалануға тыйым салу бойынша заңнамалық шараларды енгізуге әкеп соқты. Қазіргі уақытта РЭҚ бәсекелестігі оны осы елдерге жеткізу кезінде *қорғасынсыз* технологиялық материалдарды пайдаланумен ғана қамтамасыз етілуі мүмкін. 13.7 кестеде кейбір қорғасынсыз дәнекерлердің өлшемдері келтірілген.

Кең қолданылатын ПОС-61 дәнекермен салыстырғанда Sn/Bi қорғасынсыз дәнекерінің бағасы едәуір жоғары, ал қалған дәнекерлердің балку температурасы едәуір жоғары, ол дәнекерлеу

| Дәнекер түрі | Құрамы, %          | Балку температура сы, °C |
|--------------|--------------------|--------------------------|
| Sn/Bi        | Sn42/Bi58          | 135.140 (эвтектика)      |
| Sn/Zn        | Sn91/Zn9           | 195.200                  |
| Sn/Bi/Zn     | Sn89/Zn8/Bi3       | 189.199                  |
| Sn/Ag/Cu     | Sn95,5/Ag3,8/Cu0,7 | 217 (эвтектика)          |
| Sn/Ag        | Sn96,5/Ag3,5       | 221 (эвтектика)          |
| Sn/Cu        | Sn99,3/Cu0,7       | 227 (эвтектика)          |

температурасын 10...30°C-қа көтеруді талап етеді. Қорғасынсыз дәнекермен балқыту температурасын көтеру қола-қорғасын дәнекерлерімен салыстырғанда БП беріктігінің төмендеуіне әкеп соғады.

Қорғасынсыз дәнекерлеудің кемшіліктері әлсіз дымқылдану және беті бойынша жайылу (Sn95,5/Ag3,8/Cu0,7 мыс бетін дәнекермен дымқылдату бұрышы 36° құрайды), олардың қолданылуы едәуір белсендірілген флюстер, дәнекер мен пасталар өндірушілері ұсынған технологияны нақты сақтауды талап етеді.

Балқыту үшін дәнекерлер шыбық, құйылмалы сым, флюспен толтырылған 3-0,5 мм диаметріндегі түтікше, жұқалтыр түрінде шығарылады. Дәнекердің әрбір түйірі флюс қабығымен қапталған басылған сымдар өндіріледі.

БП құрамдауыштарын электрлік монтаждау үшін *дәнекер пасталары* — дәнекердің шағын дисперсті ұнтағының механикалық қоспалары (түйірінің диаметрі 10...150 мкм), флюс және жалғастыратын материал кеңінен пайдаланылады.

13.8 кесте

| Дәнекерлеу пастасының маркасы | Тағайындалуы                                              | Балку температура, °C | Дәнекерлеуден кейін жою        | Пастадағы дәнекер түрі |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------|------------------------|
| Трасса-9401                   | РЭҚ түйіндерін дәнекерлеу                                 | 235 ± 10              | Қалдықтарын жоймауға да болады | ПОС-61                 |
| Трасса-9402                   | РЭҚ түйіндерін және микроэлектроника өнімдерін дәнекерлеу | 235 ± 10              | Ыстық сумен                    | ПОС-61                 |
| Трасса-9403                   | РЭҚ түйіндерін және микроэлектроника өнімдерін дәнекерлеу | 150 ± 10              | Ыстық сумен                    | ПОСВ-45                |

Дәнекерлеу пасталарының желімдік қасиеттері бас платаларының байланыстарында өз үстінгі монтаж құрамдауыштарын өзінің өткізгішімен бекітуге мүмкіндік береді. Ресейдің кәсіпорындарында «ОСТЕК» ЖАҚ өндіретін дәнекерлеу пасталары кеңінен қолданылады. Ол пасталардың негізі — дәнекер ұнтақтар (диаметрі 5-тен 100 мкм дейін) ПОС-61, ПОСК 50-18, ПОССу 61-0,5 және басқалары. Кейбір дәнекерлеу пасталарының мінездемесі 13.8 кестесінде келтірілген.

Ресейде дәнекерлер стандарттар бойынша шығарылады (мысалы, «Техно» ААҚ — [www.techno.ru](http://www.techno.ru)), ал әрбір шетел фирмаларының дәнекер, флюстер мен дәнекерлеу пасталары атауының өзіндік жүйесі бар. Шетелде көбінесе Alpha Metals, ASAHI, Ersal, Multicore, AIM фирмаларының дәнекерлерін қолданады. AIM фирмасының дәнекерлері, флюстері, дәнекерлеу пасталары туралы ақпаратты және оларды қолдану туралы ұсынымдарды [www.aimsolder.com](http://www.aimsolder.com) сайтында табуға болады.

**Дәнекерлеу түрлері мен тәсілдері.** ОТКСЕ сәйкес бөлшектердің жалғасуын құру үшін дәнекерлеудің көп түрлерін пайдалануға болады (10.3 кестені қараңыз). РЭҚ электромонтажды жалғасуларды құру үшін кәдімгі және бейтарап газды ортада дайын дәнекер мен флюсты дәнекер қолданады (01X и 03X кодтары). Өз кезегінде, дәнекерлеудің бұл түрлері жеке (қолмен дәнекерлеу) және топтық тәсілмен жүзеге асырылуы мүмкін.

**Жеке дәнекерлеу.** Жөндеу жұмыстарын жүргізу кезінде бірлік және ұсақ сериялы өндіріс шарттарында макеттеу кезінде қолданады. Құралдар болып арнайы дәнекерлегіштер саналады, олардың қалайыланған ұшы дәнекер балқуы мен дәнекерленген жалғасудың құрылуын қамтамасыз етеді. Дәнекерлегіштің қуаттылығы дәнекерлеу жалғасуының өлшемдері мен дәнекерлеу нүктесінен жылу сейілткіш тиімділігімен белгіленеді. БП құрамдауыштарын дәнекерлеу үшін 10.60 Вт қуаттылығы қажет, жалғасу, ажырату және сымдар бұрауын дәнекерлеу үшін — 50.100 Вт.

Жеке дәнекерлеуді жасау кезінде ERSA ([www.ersa.com](http://www.ersa.com)), Weller, PACE ([www.pribor.ru](http://www.pribor.ru)) фирмаларының дәнекерлеу станциялары кеңінен пайдаланылады. Дәнекерлеу станциялары әртүрлі өлшем және әртүрлі нысандағы жеңіл ауыстырылатын дәнекерлегіш жиынтықтарымен жарактандырылған. Бұл әртүрлі түрлер мен әртүрлі түйіндермен әртүрлі құрамдауыштарды пайдалану кезінде монтажды және жөндеу жұмыстарын жасауға мүмкіндік береді. Дәнекерлегіш ұштарының температурасы жоғары дәлділікпен реттеледі және ұсталаынады.

**Топтық дәнекерлеу тәсілдері.** Платаның түйіспелі аумақтарына жағылған дәнекерлеу пастасының балқымасымен дәнекерлеу және түрлері көп тараған (13.15 сурет). Сериялы және жаппай өндірістерде БП құрамдауыштарын дәнекерлеу кезінде қолданады.

**Балқымалы дәнекердің толқынымен дәнекерлеу** БП тесіктерге орналастырылған сымдық өткізгіші бар құрамдауыштарды

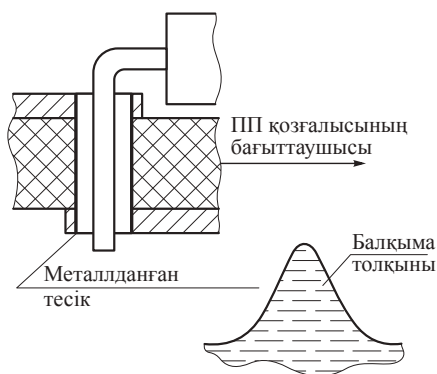


13.15 сур. Топтық дәнекерлеу тәсілдерінің жүктелімі

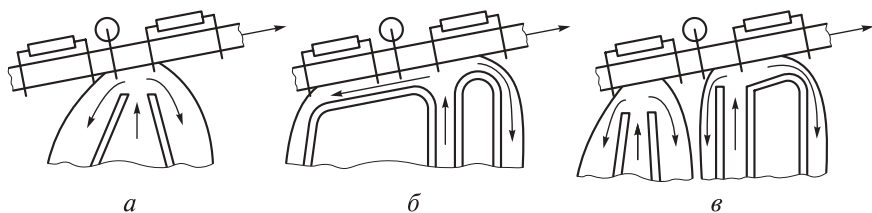
дәнекерлеу үшін қолданылады (13.16 сурет), ол толқын айдары арқылы орын ауыстырады. Балқымалы дәнекер капиллярлы күштер әсерінен өткізгіш тесікке көтеріледі — тесіктің металданған қабырғасы тесіктерді толтырып, құрамдауыштарды платаға дәнекерлейді.

Дәнекерлеу сапасын көтеру үшін құрамдауыштар өткізгіші алдын ала қалайыланады, тесіктер қабырғаларының мыс қабатына дәнекер жағылады (гальвандық немесе ыстық қалайылау). Дәнекерлеу алдында БПкөпіршікті және аэрозольді флюс толқынынан өтеді.

Дәнекер толқынының жылу соққысымыстың сызықты ұлғаюы мен платаның диэлектрлік негізі коэффициентінің әртүрлі болуы салдарынан мыс өткізгіштерінің ажырауына әкеп соғуы мүмкін. Оны болдырмау мақсатында құрамдауыштар орнатылған БП алдын ала жылытылады.



13.16 сур. Балқымалы дәнекердің толқынымен дәнекерлеу



13.17 сурет. Дәнекер толқындарының түрлері:

*а* — қарапайым толқын; *б* — күрделі толқын; *в* — екі жақты толқын

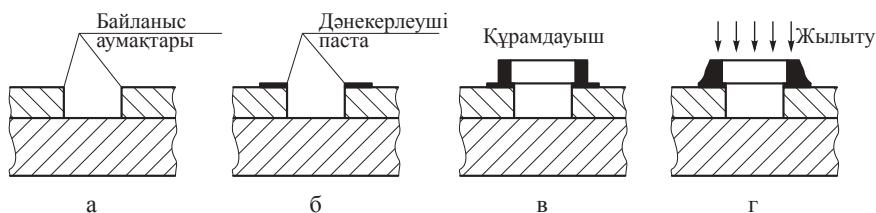
Толқын нысанын реттеуге болады. Қарапайым технологиялық құрылыстарда дәнекердің қарапайым толқыны қолданылады (13.17 сурет)

а) бірақ дәнекерлеудің ең жақсы сапасына  $Q$ , грек әрпі,  $T$ -нысанды толқын,  $\wedge$ -толқын және т.б.. нысанындағы толқындарда қол жеткізіледі (13.17 сурет)

б) кейбір құрылыстарда платаға дәнекер толқынынан кейін, дәнекер әлі балқыма жағдайында болып тұрғанда, жоғары жылдамдықты ыстық ауа толқыны әсер етеді, бұл ретте дәнекердің артығы алынып көршілес түйіспелі аумақтары арасындағы төсем жойылады. Сапаны жоғарылату үшін әртүрлі нысандағы екі тәуелсіз дәнекер толқындарының құрылысы пайдаланылады. Мысалы, 13.17 сурет, сол жақ толқын — турбулентті, оң жақ — ламинарлы.

*Балқымалы дәнекердің толқынымен дәнекерлеу* дәнекер пастасымен балқытып дәнекерлеу тәсілінде болатын жоғары температураларға төзе алмауы мүмкін құрамдауыштарды пайдалану кезінде өте қажет (электролитикалық конденсаторлар, ажырату, ИМС кейбір түрлері). Балқымалы дәнекердің толқынымен дәнекерлеу кемшіліктері — оның жоғалуына әкеп соғатын дәнекердің үлкен қышқылдануы, құрылыстың үлкен габаритті өлшемдері.

*Дәнекерлеу пастасы балқымасымен дәнекерлеу.* Бұл амалмен (үстіртін монтаж) құрамдауыштарды дәнекерлеу  $TO$  реттілігі 13.18 суретте көрсетілген. Алдымен БП түйіспелі аумақтарына



13.18. сур. Құрамдауыштарды дәнекерлеу пастасының балқымасымен монтаждау:

*а* — БП байланыс аумақтары; *б* — дәнекерлеу пастасының қабатын жағу; *в* — құрамдауыштарды орнату; *г* — жылытумен дәнекерлеу

13.18, а сурет) дәнекерлеу пастасының дәлме-дәл өлшемді қабаты жағылады (13.18, б сурет). Үстіртін монтаждың құрамдауыштарын (12.1кестені қараңыз) БП түйіспелі аумақтарына қалайыланған өткізгіштермен бекітеді (13.18, в сурет), одан кейін БП пешке орналастырылады. Пастадағы дәнекер бөлшектер жылу кезінде балқиды және дәнекерленген жалғасуды құрайды (13.18, г сурет).

Дәнекерлеу пастасын тамшылап өлшеу немесе трафареттік басумен жағады. *Тамшылап өлшеу* тәсілі бойынша әрбір байланыс аумағына арнайы мөлшерлегіштен паста тамшысы жағылады. Тамшы өлшемі реттелуі мүмкін, бөлек нүктелер, тура және қисық жолдар жағылуы мүмкін. Өнеркәсіпте әртүрлі мөлшерлегіштер шығарылады — қарапайым қолмен басқарылатыннан бастап күрделі автоматтандырылған, бағдарламалық түрде басқарылатын, жоғары өнімдіге дейін (140 мың. нүкте/сағ.дейін). Тамшылап өлшеу тәсілін санаулы өндіріс және пастаны жағудың дәлдігіне төмендетілген талаптары бар БП құрылыстарының үлкен номенклатурасы кезінде қолдану лайықты.

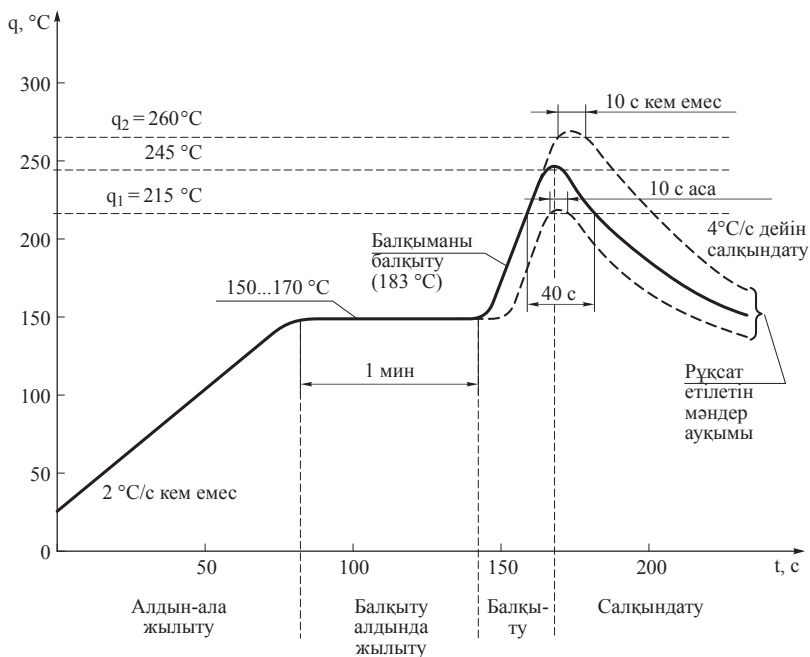
*Дәнекерлеу пастасын трафареттік басу* (11.12 сурет қараңыз) өнімдірек, бірақ трафарет құнын есептегенде оның бағасы тамшылап өлшеуден жоғары; пастаны жағудың дәлдігіне асырылатын талаптар болғанда қолданылады. БП әрбір жағына басу үшін бөлек трафарет жасалады. Лазерлі жабдықта жасалған жоғары рұқсат етілген металл трафаретінің бағасы 20 мың руб. дейін жетеді. Трафареттегі тесіктер түйіспелі аумаққа жағылатын пастаның өлшемі мен дәллігін анықтайды. Трафареттік басу үшін тамшылап өлшеуге қарағанда тым жабысқақ дәнекерлеу пасталарын қолданады.

Пастамен трафареттік басу үшін өнеркәсіпте әртүрлі құрылғылар шығарылады — қарапайым қолмен басқарылатыннан бастап күрделі жоғары өнімді дәлді автоматтарға дейін (ESSEM- TEC, DIMA, SMT Systems және т.б. фирмалар).

Дәнекерлеу пастасын жағып, құрамдауыштарды бекіткеннен кейін пастаны ыстық ауа толқынымен (конвекционды), инфрақызылс әулемен (ИК), қайнап жатқан сұйықтың буымен немесе немесе лазерлі сәулемен балқыту — және құрамдауыштарды дәнекерлеу жүргізіледі.

*Конвекционды дәнекерлеу* камералы немесе конвейерлі түрдегі құрылғыларда жүзеге асырылады, онда БП құрамдауыштармен ыстық ауамен (немесе азотпен — балқыма дәнекердіңқышқылдануын төмендету үшін) желдетіледі. Ыстық газды беру БП барлық нүктелерін бір қалыпты жылытуды қамтамасыз ететіндей жүзеге асырылады. Бұл ретте дәнекерлеу пастаның жеткізушісі ұсынған дәнекерлеу температурасының кестесін сақтау маңызды. Sn63/Pb37 эвтектикалық дәнекер негізіндегі паста үшін кесте үлгісі 13.19 суретте көрсетілген.

Алдын ала жылыту деңгейінде БП жылуы термо соққыны болдырмау үшін баяу және дәнекерлеу пастасынан



Сурет 13.19. Балқыманы пастамен қыздырудағы температуралық режимінің өзгеру кескіні

сұйық фракциялардың буланыумен жүргізіледі. Осы деңгейдегі температураның өте тез өсу жылдамдығы пастадан өте көп газдың шығуы мен дәнекер дөңгелектерінің шашырауына әкеп соғуы мүмкін, олар БП түйіспелі аумақтары арасында қысқа тұйықталуын оятуы мүмкін. Осы деңгейде біркелкі емес жылыту салдарынан БП элементтерінің механикалық зақымдануын болдырмаған маңызды. Әдетте алдын ала жылытудың жылдамдығы  $2\text{ }^{\circ}\text{C/s}$  аз болады.

Келесі деңгейде дәнекердің балку температурасынан  $20\text{...}30^{\circ}$  төмен температурада плата жылыту жүргізіледі. Жылыту мақсаты— БП барлық құрамдауыш өткізгіштері мен түйіспелі аумақтарына осы температураны жеткізу. Бұл деңгейде дәнекерлеу пастасының құрамындағы флюс балқып, БП барлық құрамдауыш өткізгіштері мен байланыс аумақтарының беттерінен оксидтерді ерітудің химиялық реакциясына түседі.

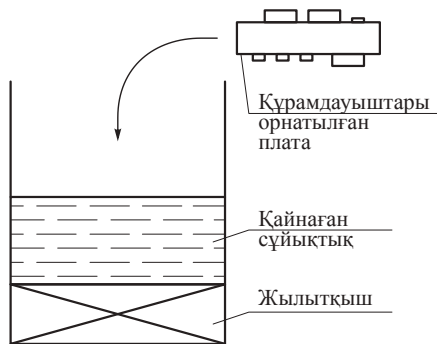
Дәнекердің балкуы деңгейінде дәнекерлеу жасалады. Температура пастаның барлық аумақтарға балкуы үшін қажетті уақытқа  $0_1$  мағынасына дәнекер түйіндерінің балку температурасынан жоғары өлшемге дейін тезөседі дәнекер жайылады және барлық дәнекерленетін тесіктерге толтырылады.  $0_2$  температурадан асуы және бұл аумақта көп уақыт болуы дәнекерленетін жалғасулардың сенімділігін төмендететін интерметаллоидтардың қарқынды пайда болуына әкеп

соғуы мүмкін. БП және құрамдауыштарға термо сокқылардың әсер етуін болдырмау үшін салқындату  $4\text{ }^{\circ}\text{C/s}$  аспайтын жылдамдықпен жүргізілуі қажет. Температураның (сурет 13.19)  $0_1$ –ден шынға дейін көтерілу және температураның  $0_1$  мағынасына дейін қайту уақытының аралығы суыту кезінде 20...40 с құрайды.

Конвекциондыдәнекерлеудің камералық құрылғыларында температуралық режим жылытқыш қуаттылығымен реттеледі, ал конвейерліде — БП өтетін ретті аумақтардың температуралық режимімен реттеледі. Жылыту аумақтарында температураның өзгеру кестесінің өлшемдерін белгілеу үшін олардың температуралары бір-біріне тәуелсіз реттеледі. Қазіргі заманғы құрылғыларда режимді БП әр түрлері үшін режимдер туралы ақпаратты сақтайтын компьютер басқарады. Камералық үлгідегі құрылғылар санаулы және шағын сериялы өндіріс, ал конвейерлі үлгідегі — сериялы және жаппай өндірістерде пайдаланылады.

ИҚ дәнекерлеу процесінде БП арнайы ИҚ сәулелерімен жылытылады. Бұл ретте БП және құрамдауыштардың температуралары БП және құрамдауыштар материалдарының ИҚ сәулелерін қабылдау коэффициентіне байланысты болады. ИҚ дәнекерлеу процесінде жылыту температурасы мен жылдамдығын сәулелер қуаттылығы реттейді, ол температураның уақытша тәуелділігін жеңіл жүзеге асыруына мүмкіндік береді (13.19 суретті қараңыз). Бұл тәсілдің кемшілігі болып әртүрлі материалдардан жасалған құрамдауыштарының біркелкі жылымауы, сонымен қатар корпустың астына бүгілген құрамдауыштар, өткізгіштерді және дөңгелек өткізгіштер құрамдауыштарын жылыту мен дәнекерлеудің қиындығы.

Бу фазасындағы дәнекерлеу арнайы қайнап жатқан сұйықтықтың буларымен толтырылған камералық құрылғыда жасалынады (13.20 сурет). Үстіртін монтаждау құрамдауыштары бар БП бу фазасы аумағына енгізеді. Бу БП и құрамдауыштар бетіндесуға айналып, БП құрамдауыштар бетіндегі әрбір нүктеге будың жасырын жылуын беріп,



13.20. сур. Бу фазасындағы дәнекерлеу сызбасы

нәтижесінде олардың температурасы көтеріліп, дәнекерлеу пастасы балқып тесіктерді толтырады. БП сұйықтың бу температурасына дейін жылыту жағдайында будың суға айналу процесі тоқтайды, одан кейін дәнекердің кристаллизациясы үшін БП құрылғыдан алынады.

Бұл тәсілде БП жылыту жылдамдығы реттелмейді; термосокқыны болдырмау үшін БП алдын ала жылыту қажет. Тәсілдің құндылығы болып БП беттері бойынша температураның жоғары бірегейлігі және дәнекердің қышқылданбаған ортасы. Тәсілдің кемшіліктері — технологиялық жабдықтардың жоғары бағасы, платаның тесіктерге құрастырылатын құрамдауыштармен дәнекерлеудің мүмкін еместігі.

Конвекционды дәнекерлеу, бу фазасында дәнекерлеу және ИҚ дәнекерлеу үшін өндірісте әртүрлі құрылғыларды — қарапайым моледадерден автоматтандырылғанға дейін (ESSEMTEC, DIMA, SMTSystems, ERSА, Reddish Electronics, Samsung фирмалары) пайдаланады.

*Лазерлі сәулелендіру* тәсілімен БП түйіспелі аумақтарына жағылған дәнекерлеу пастасының қабатына өткізгіші бекітілген құрамдауыштар, дәнекерленеді, бұл ретте әрбір өткізгіш тәуелсіз жылынады. Жылу энергиясын байланыссыз қосу және әрбір дәнекерлеу нүктесінің жоғары жылдамдықпен жылуы лазерлі дәнекерлеудің жылдамдығын секундына бірнеше ондық дәнекерге жетуі мүмкін, өнімділігі жағынан лазерлі дәнекерлеуді конвекционды және ИҚ дәнекерлеудің конвейерлі құрылғыларына жақындатады.

Лазерлі дәнекерлеу дәнекерлеудің басқа тәсілдеріне қарағанда қымбат, бірақ маңызды басымдылықтары бар. Дәнекерлеу кезінде құрамдауыштың өзі іс жүзінде жылымайды, ол жоғары температураға сезімтал құрамдауыштарды жөндеуге мүмкіндік береді. БП да жылымайды, оның сенімділігін жоғарылатады. Жылыту әсерінің жергілікті бүкіл платаны жылытуды қажет етпейді. Сәуленің кіші диаметрі көршілес байланыс аумақтары арасында төсем түзілуінсіз жоғары тығыздылықты платадағы құрамдауыштарды жөндеуге мүмкіндік береді. Лазерлі дәнекерлеуді РЭҚ аса берік құрылыстарын монтаждау үшін пайдаланады. Тәсілдің кемшілігі — корпусының астына бүктелген өткізгіші және дөңгелек өткізгішінің сілемі бар құрамдауыштарды дәнекерлей алмайтындығы.

### **13.4. БП жинақтау және монтаж**

Қазіргі заманғы РЭҚ негізгі конструктивті элементтері болып БП модулі есептеледі, сондықтан БП модульдерін жинақтау және монтаждау операциясы аса маңызды болып табылады. Олар ең алдымен РЭҚ сенімділігі мен оның бағасын нақтылайды. Модульдерді жасау операциялары аса ауыр (өнімнің жалпы ауырлығының 50 ... 60 %), күрделі және бағасы қымбат технологиялық жабдықтарды пайдалануды қажет етеді.



13.21 сур. БП модульді жасау ТП

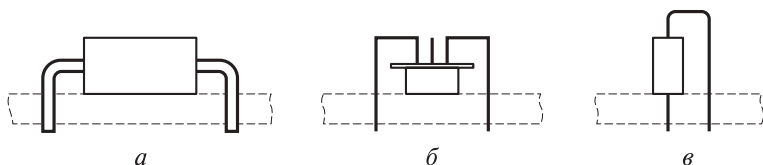
БПРЭҚ модулін жинақтау және монтаждаудың үлгілік ТП бірнеше ТО тұрады (13.21сурет), олардың түрі пайдаланатын құрамдауыштардың құрылысы түріне байланысты болады. Тесіктерге құрастырылатын құрамдауыштар (ТҚК) пайдаланылады, яғни үстіртін монтаждау үшін БП құрамдауыштары (ҮМК) және металл тесіктерге монтаждау үшін өткізгіші бар.

*Тесіктерге құрастырылатын құрамдауыштардың* (ТҚК) сымды немесе таспалы өткізгіші бар. Оларды монтажға әзірлеу кезінде бірнеше реттік операциялар жасалынады (13.22сурет), оның барысындаөткізгішларға қажетті өлшемдер мен нысандар береді, ал өткізгішлар бетін қалайылайды. 13.23 суреттеөткізгіш нысандарының бірнеше үлгісі келтірілген— конденсатор (13.23, а сурет), транзистор (13.23, б сурет) мен резистор (13.23, всурет). Сызықшалы жолмен тесіктеріне құрамдауыштар орналастырылған БП шартты түрде көрсетілген.

*Үстіртінмонтаждау үшінқұрамдауыштардың* (ҮМК) (а, бсуретті қараңыз) өткізгіштері бар, олар монтажға арнайы дайындықты қажет етпейтін қалайыланып қапталған беттер түрінде жасалынған. ҮМК пайдалану кезінде (үстіртін монтаждаутехнологиясы) БП монтажының тығыздылығы мезетте (10 ретке дейін) өседі, монтажға дайындалу және құрамдауыштарды монтаждау жеңілденеді. ҮМК өткізгіштерінің ұзындығын азайту (дөңгелек диаметрі 0,3 мм дейін) олардың жұмыс жиілігі аумағын кеңейтіп арамдылық индуктивтілігін төмендетеді.



13.22 сур. Құрамдауыш шығыстарын монтажға әзірлеу



13.23 сур. Құрамдауыштар өткізгіштерін нысандау түрлері:

*a* — конденсатор; *б* — транзистор; *в* — резистор

**ҮМК корпусарының түрлері.** Үстіртін монтаждау кезінде түрлі корпустағы құрамдауыштар пайдаланылады (13.9 кесте). Төрт жағынан«шағала қанаты» немесе J әрпі түріндегі өткізгіші бар PLCC корпустары кеңінен пайдаланылады. LCCC керамикалық корпусстарарнайы қолданылатын жоғары сенімді аппаратура (әскер, авиация, космос, қару) үшін қолданылады. Жөнделмейтін шағын габаритті арзан құрылғыларды үлкен көлемде өндіру кезінде полиимидті немесе полиамидті қабыршақтағы TAB үлгісіндегі кристалл тасымалдауыштар қолданылады.

РЭҚ құрамдауыштарында көбінесе шағын габаритті өлшемдері бар арзан BGA корпустары пайдаланылады, оларда жартылай өткізгіш кристалл диэлектрлі төсемде құрастырылады (13.24 сурет) және

13.9 кесте

| Құрамдауыш түрі                                       | Толық атауы                   | Өткізгішлар қадамы, мм | Қысқаша сипаттамасы                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Chip                                                  |                               | 0,1...0,2              | Шетжақ өткізгіші бар керамикалық корпус түріндегі чип-резисторлар, чипконденсаторлар, чипиндуктивтер                                        |
| MELF                                                  | Metal Electrode Face Bonded   |                        |                                                                                                                                             |
| C2-12, C2-30, C3-3, C3-4                              | Резисторы                     |                        |                                                                                                                                             |
| SOT                                                   | Small Outline Transistor      | 0,65<br>0,95<br>1,9    | L әрпі түріндегі қысқа өткізгіштері қалыптасқан пластмассалы корпус. Аз санды өткізгіштері бар диодтар, транзисторлар мен ИМС үшін( 3 . 6 ) |
| LCCC                                                  | Leadless Ceramic Chip Carrier | 0,5,2                  | Қабырға беттерінде қалайыланған жолдар түрінде өткізгіші бар керамикалық корпус                                                             |
| 17467—79<br>МЕМСТ бойынша<br>5 түрі бойынша<br>корпус |                               |                        |                                                                                                                                             |

| Құрамдауыш түрі                                          | Толық атауы                      | Өткізгішлар қадамы, мм         | Қысқаша сипаттамасы                                                                     |
|----------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| SOP                                                      | Small Outline Package            | 1,27                           | Екі жақты L әрпі түріндегі өткізгіштері бар пластмассалы корпус; өткізгішлар саны 8.100 |
| SOIC                                                     | Small Outline Integrated Circuit |                                |                                                                                         |
| 17467—79<br>MEMCT<br>бойынша 4 түрі<br>бойынша<br>корпус | Микрокесте                       |                                |                                                                                         |
| SOJ                                                      | Small Outline J-Lead Package     | 1,27                           | Екі жақты J әрпі түріндегі өткізгіштері бар пластмассалы корпус                         |
| TSOP<br>SSOP<br>TSSOP<br>TVSOP                           | Thin Small Outline Package       | 1<br>0,8<br>0,65<br>0,5<br>0,4 | Биіктігі, өткізгішлар қадамы азайтылған корпус                                          |
| PLCC                                                     | Plastic Leaded Chip Carrier      | 1,27<br>0,635                  | Төрт жақты J әрпі түріндегі өткізгіштері бар пластмассалы корпус                        |
| MQFP                                                     | Metric Thin Quad Flat Package    | 0,5                            | Метрлік өткізгішлар қадам бар корпус; өткізгішлар саны 20.304                           |
| TAB                                                      | Tape Automated Bonding           | 0,5...2                        | ИМС кристаллы мыс және алюминий өткізгіші бар полисидті қабықша тасымалдағышта          |
| BGA                                                      | Ball Grid Array                  | 1,27<br>1                      | ИМС немесе көп кристаллды модуль, дөңгелек өткізгішлар сілемі                           |
| CSP                                                      | Chip Scale Package               | 1<br>0,5                       | Корпуса өлшемі кристалл өлшеміне сәйкес келеді; дөңгелек өткізгішлар сілемі             |

сым өткізгіші дөңгелек өткізгіштер түйіспелерімен жалғасады. Корпус төменгі жағында қадамы 0,5 мм дейін дөңгелек өткізгіштер матрицасы қалыптасқан.

Бұл корпусарда кристалл астындағы орынның дөңгелек

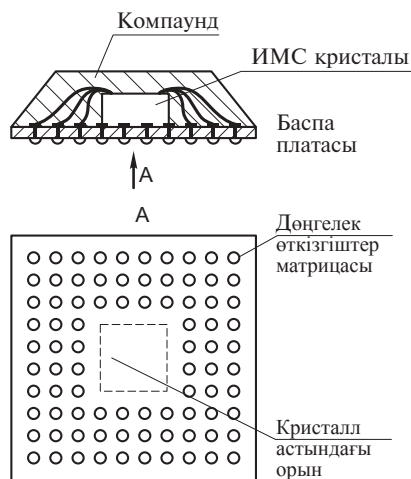
өткізгіштері жоқ, өйткені кристаллдың түйіс аумақтарының жалғасуы (корпус ішіндегі монтаж) микросымнан жасалып, кристалл астында монтаж жасауға мүмкіндік жоқ.

BGA-ға қарағанда өлшемі кішкентай CSP корпустары едәуір жетілген болып табылады (13.25 сурет). Онда дөңгелек өткізгіші бар кристалл астында барлық аумақ бойынша дөңгелек өткізгіштің матрицасы бар шағын көп қабатты шыныпластикалық платаға құрастырылған. Корпустың осындай құрылысында шығу индуктивтілігі 0,1 нГн аз құрайды, ол ИМС бұл корпуста 3ГГц асатын жиілікте пайдалануға мүмкіндік береді.

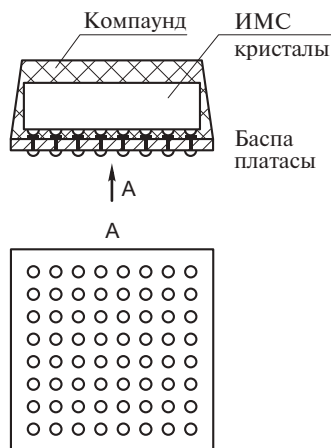
ИМС корпусының маңызды өлшемі оның алып жатқан аумағы болып саналады, оның әртүрлі корпустар үшін мағынасы 13.26 суретте көрсетілген.

Құрамдауышты өндірушілер өз өнімдерін орауышқа оралған таспа (ені 8...32 мм), қаламсауыт торлары, түпқойма және қорым түрінде қаптайды. Таспа, түпқойма және қорымға қапталған құрамдауыштар нақты тәртіпте орналастырылған, ол монтаждау процесін жеңілдетеді.

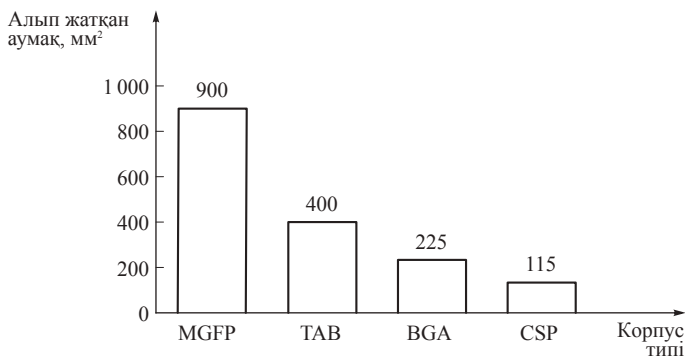
**БП құрамдауыштарды бекіту тәсілдері.** Құрамдауыштарды монтаждау әзірлегеннен кейін оларды БПТО орналастыру жүргізіледі. (13.21суретті қараңыз). Қазіргі уақытта ҮМҚ номенклатурасы үлкен емес, сондықтан платаға монтаж жасау кезінде құрамдауыштың екі түрі де қолданылады (ТҚҚ және ҮМҚ). Осындай аралас монтаж жағдайында **БП** құрамдауыштарын оранастырудың әртүрлі тәсілдері мүмкін. (13.10 кестесі).



13.24 сурет. CSP құрамдауышының корпусы



13.25 сурет. CSP құрамдауышының корпусы



13.26 сур. Әртүрлі ИМС корпустарының аумағы

13.10 кестенің екінші бағанында құрылысы шартты көрсетілген: БП — үлкен тегіс тікбұрыш түрінде, қою көкжиекті жол – БП өткізгіштері, оларға құрамдауыштар дәнекерленеді, ал құрамдауыштардың өздері кішкентай тікбұрыш түрінде көрсетілген, оған құрамдауыш түрлері — ТҚҚ және ҮМҚ жазылған. ТҚҚ құрамдауышының суретінде оны БП орналастыру кезінде өткізгіштердің бағытын көрсететін тік сызық бар.

13.10 кестедегі тәсілдер саны үш шарттармен шектелген:

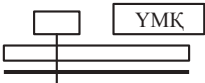
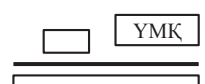
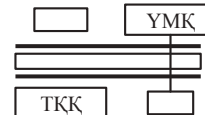
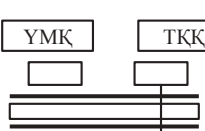
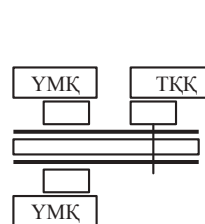
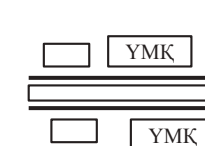
БП бір жақты, екі жақты және көп жақты болуы мүмкін;

Құрамдауыштар дәнекерленетін БП өткізгіштері, БП бір немесе екі жағында орналасуы мүмкін;

ТҚҚ БП бір жағынан ғана орналасуы мүмкін, өйткені оларды дәнекерлеу оның кері жағында дәнекер толқынымен жүзеге асырылады.

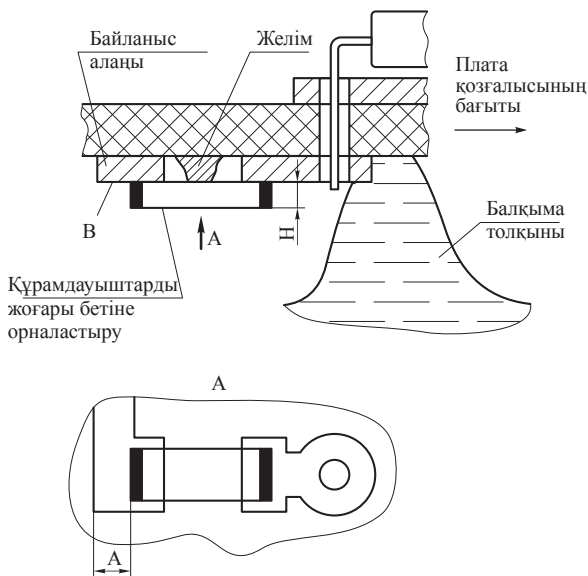
Бірінші, екінші және үшінші тәсілдерде құрамдауыштар жалғасатын БП өткізгіштеріне құрамдауыштарды орналастыру БП бір жағында орналасқан, төртінші, бесінші және алтыншы тәсілдерде — екі жағынан. Бірінші және екінші тәсілдер — ең кәдімгі, онда БП бір жағында орналасатын бір түрдегі құрамдауыштар қолданылады. ТҚҚ дәнекерлеу дәнекер толқынымен орындалады, ал ҮМҚ — бұрын жазылған дәнекерлеу пастасын балқыту тәсілімен. Бұл тәсілдерде құрамдауыштар кез-келген БП түріндегі ОБП, ДБП немесе МБП бір жағында орналасқан өткізгіштерге дәнекерленеді. Екінші тәсілдегі байланыс аумақтарына дәнекерлеу пастасын жағу трафаретті баспа немесе тамшы өлшеумен жүзеге асырылуы мүмкін.

Үшінші тәсілде әртүрлі жақтарда орналасқан құрамдауыштардың ТҚҚ және ҮМҚ екі түрі де пайдаланады. ТПБП-ға толқынмен дәнекерлеу кезінде құрамдауышты ұстап тұратын желімді жағудан басталады.

| Құрамдауыштарды<br>БП орналастыру<br>тәсілдері | Модуль құрылысы                                                                     | Монтаждың технологиялық процессі                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                              |    | ТҚҚ тесіктерге шығарумен орналастыру → ТҚҚ дәнекер толқынымен дәнекерлеу                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 2                                              |    | Платаның байланыс аумақтарына дәнекерлеу пастасын жағу → → ҮМҚ орналастыру → Пастаны балқыту тәсілімен дәнекерлеу                                                                                                                                                                                                                            |
| 3                                              |    | ҮМҚ орнына желімді жағу → ҮМҚ орналастыру → Желімнің қатуы → ТҚҚ орналастыру → ҮМҚ және ТҚҚ толқынымен дәнекерлеу                                                                                                                                                                                                                            |
| 4                                              |    | БП байланыс аумақтарына дәнекерлеу пастасын жағу → ҮМҚ орналастыру → Пастаны балқыту тәсілімен дәнекерлеу → ТҚҚ орналастыру → ТҚҚ дәнекер толқынымен дәнекерлеу                                                                                                                                                                              |
| 5                                              |   | Екінші жағына ҮМҚ орналастыру орнына желімді жағу → → Екінші жағында ҮМҚ орналастыру → Желімнің қатуы → бірінші жағында ҮМҚ астына байланыс аумақтарына дәнекерлеу пастасын жағу → бірінші жағында ҮМҚ орналастыру → Пастаны балқытумен бірінші жағында ҮМҚ дәнекерлеу → ТҚҚ орналастыру → екінші жағында ҮМҚ және ТҚҚ толқынымен дәнекерлеу |
| 6                                              |  | Бірінші жағына дәнекерлеу пастасын жағу → бірінші жағында ҮМҚ орналастыру орнына желімді жағу → бірінші жағында ҮМҚ орналастыру → Желімнің қатуы → → Пастаны балқыту тәсілімен дәнекерлеу → екінші жағына дәнекерлеу пастасын жағу → екінші жағында ҮМҚ орналастыру → дәнекерді балқыту жолымен дәнекерлеу                                   |

Желім трафаретті баспа немесе тамшы өлшеммен жағылуы мүмкін, ол балқыма дәнекердің температурасына төзіп, құрамдауышты орналастырғаннан кейін тез қатуы қажет. ҰМҚ платаға бекіту үшін эпоксидті шайырлар негізіндегі желімдер кеңінен қолданылады. Мысалы, отандық бір құрамды ТПК-14 эпоксидті желім қолайлы, ол 100...230 °С температурада 6...7 мин ішінде қатады. УҚ сәулелердің әсер етуі кезінде қатып, әрі қарай 120.150 °С температурада 3.5 мин ішінде конвекционды немесе ИҚ пеште термо өндірілетін акрилатты-эпоксидты желімдер перспективалы.

Желімді жағып, ҰМҚ бекіту және желімнің қатуынан кейін БП аударылады және үстіне ТҚҚ бекітіледі, одан кейін БП дәнекер толқынымен дәнекерлеуді бекітуге беріледі, осы уақытта дәнекер толқыны ТҚҚ өткізгіштері ұштарымен ҰМҚ өтеді (13.27сурет). Дәнекер толқынынан өткенде желім ҰМҚ платада «төбе» жағдайында ұстап тұрады. ҰМҚ бойынша дәнекер толқынынан өткенде құрамдауыш артында байланыс аумақтары ҰМҚ өзімен көлеңке әсері байқалуы мүмкін. (13.27суреттегі В нүктесі). Түйіс аумағын дәнекерлеумен кепілді дымқылдануы үшін А байланыс аумағының шығыңқы жерін құрамдауышының биіктігінен асуы қажет. Бұл монтаждың тәсілінде олардың өлшемдерін өзгертпейтін дәнекер толқындары бойынша өтуіне төзетін ҰМҚ орналастарды.



13.27 сур. ҰМҚ балқыланған дәнекер толқынымен дәнекерлеу

Құрамдауыштарды БП орналастырудың төртінші тәсілінде (13.10 кестені қараңыз) әртүрлі құрамдауыштар БП бір жағына орналастырылады және оның екі жағында орналасқан өткізгіштерге жалғасады. Бұл тәсілде екінші және бірінші тәсілдегі әрекеттер ретпен орындалады. БП астыңғы беті бойынша болып жатқан ТҚҚ дәнекер толқынымен дәнекерлеу кезінде оның жоғарғы бетінің температурасы балқу дәнекері температурасынан төмен, және бұрын дәнекерленген ҮМҚ өз орындарынан қозғалмайды, сондықтан ҮМҚ жабыстырылмайды.

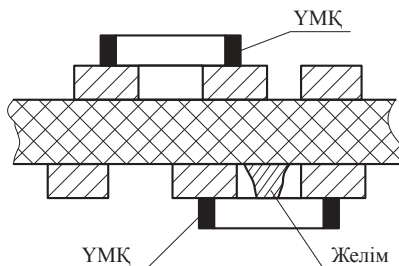
Бесінші тәсіл екінші және үшінші тәсілдердің гибриді болып табылады, ҮМҚ пастаны балқытумен дәнекерлеу ТҚҚ орналастыру және толқынмен дәнекерлеу алдында жүргізіледі.

Алтыншы тәсілде ҮМҚ БП екі жағына да орналастырылады. Үстіңгі құрамдауышты дәнекерлеу кезінде платаның төменгі бетінде құрамдауыштар «төбе» жағдайында ұсталынып тұруы үшін БП бір жағына жабыстырады. (13.28 сурет).

**Құрамдауыштарды монтаждау үшін ТО және жабдықтау.** 13.10 кестенің тәсілдерін талдау корпус құрамдауышы мен өндіріс өлшеміне қарамастан монтажды операцияларды орындау үшін (тәжірибелі, жеке, сериялы, жаппай, жөндеу жұмыстары) келесі технологиялық жабдықтар қажет:

- дәнекерлеу пастасын (байланысты аумақтарға) және желімді (құрамдауыштарды орналастыру орындарына) ұқыпты жағу үшін жабдық;
- БП құрамдауыштарын бекіту үшін жабдық;
- Балқу дәнекерімен дәнекерлеу үшін жабдық;
- ТҚҚ пайдалану кезінде толқынмен дәнекерлеу үшін жабдық.

13.10 кестеде көрсетілген барлық тәсілдерде БП монтаждау кезінде *құрамдауыштарды орнату* (13.21 суретті қараңыз)—технологиялық циклдағы едәуір маңызды және күрделі. Қазіргі заманғы ҮМҚ кішкене өлшемді (0,2 мм дейін), БП мындаған түрлі құрамдауыштар орналастырлуы мүмкін, кейбір құрамдауыштар (BGA,CSP) оранластыруды ондаған микрометрлерге дейінгі дәлділікпен орнатуды талап етеді.



13.28 сур. БП ҮМҚ екі жағынан орналастыру

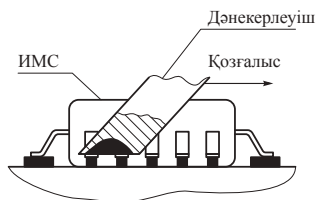
Осының салдарынан БП құрамдауыштарын орналастыру Т өнімділігі барлық модульді жинақтаудың ТП жалпы өнімділігін анықтайды. Құрамдауыштарды орналастыру (кейбір жағдайларда әрі қарай олардың дәнекерлеуі) қол манипуляторлары, жартылай автомат және автоматтар көмегімен қолмен жасайды.

Жеке және тәжірибелі өндірістерде, сонымен қатар жөндеу жұмыстарын өткізу кезінде үлкен құрамдауыштар мен сым өткізгіштері бар құрамдауыштарды қолмен құрастырады. Құрамдауыштарды қолмен орналастыру, оларды дәнекерлеу және экстракциялау үшін арнайы *дәнекерлеу станциялары* (ERSA, Weller, RАСЕфирмалары) шығарылады. Дәнекерлеу станциялары жинағына кіреді: әртүрлі дәнекерлеу жұмыстары үшін ауысымды ұштықтары бар байланысты жылыту дәнекерлегіш, дәнекерлегіш ұшының температурасын реттейтін электронды блок, вакуумды жасау үшін компрессор, вакуумды іскек, түрлі корпусы ИМС дәнекерлеуін жүзеге асыратын ауысымды ұштықтары бар конвекционды дәнекерлеу үшін ыстық ауа микрофені, термоістік, термоэкстрактор, құрамдауышты экстракциялау және жалғастырғышты жою кезінде дәнекерді алу үшін дәнекерлі вакуумды сорғышы бар дәнекерлегіш. Қысқа уақытта бірнеше дәнекерлеуді жасау кезінде ұштық жылудың көп санын беріп, оның температурасы сапалы дәнекерлеу үшін қажеттіден төмен болуы мүмкін. Сондықтан қазіргі заманғы дәнекерлеу станциялар ұштық температурасының берілген мағынадан төмендеуі кезінде белгі беретін дыбыс құрылғысымен жабдықталған.

*Түйіспелі қыздыру дәнекерлегіші* ауысымды ұштықтармен көп дәнекерлеу жұмыстарын жасауға мүмкіндік береді. Кішкене диаметрлі ұштықтар (0,2 мм дейін) БП түйіспелі аумаққа ИМС әрбір өткізгішінің жеке дәнекерлеу үшін пайдаланылады. Пышақ түріндегі ұштықтар (қабырғалы жұмыс бетімен) PLCC, LCCC корпустарында және Н түріндегі ИМС дәнекерлеу үшін қолданылады. SOT, SOP, SSOP корпустарында ИМС дәнекерлеу үшін мини-толқын түріндегі ұштықтар пайдаланылады, олардың жұмыс кеңістігінде дәнекермен толтырылған ойыс бар (13.29 сурет). Мини-толқын ұштығымен ИМС дәнекерлеу кезінде дәнекерлеу жүргізуде әрбір өткізгіштің жылдамдығы бірнеше секундты құрайтындай ИМС өткізгіштері үстінен жүргізеді. Ауысымды ұштықтарды таза темірмен (99,9 %) қапталған мыстан жасайды. Қалайыланған жұмыс шегінен басқа ұштықтың барлық беті коррозиядан қорғау үшін хром қабатымен қапталған. Тұтас құрылысты композитті ауысымды ұштықтар өте қолайлы, оның керамикалық бөлігінде жылытқыш пен температура құрылғысы орналасқан.

БП түйіспелі аумақтарына ИМС қолмен орналастыруды вакуумды істікпен (13.30 сурет) жасайды. ИМС түпқоймасынан *вакуумды істікпен* ұстап, оны қажетті орынға ауыстырып алдын ала дәнекерлеу пастасымен қапталған түйіспелі аумақтарға орналастырады.

13.29 сур. Мини-толқынды  
дәнекерлегішпен ИМС  
дәнекерлеу өткізгіштерінің кестесі

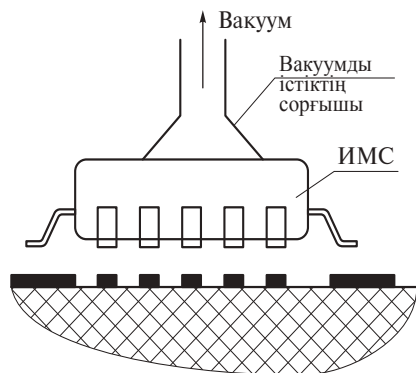


Кейін ИМС өткізгіштеріне көршілес құрамдауыштарға ауа ағынын түсуін шектейтін қажетті саптамасы бар *микрофенді* жақындатады және пастаны дәнекерлейді.

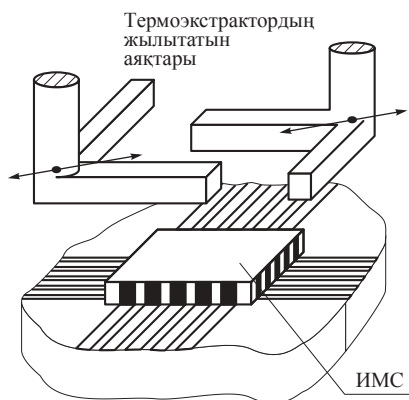
Құрамдауыштарды *демонтаждау термоістікпен* (кішкене чиптер) немесе *термоэкстрактормен* жасайды. Термоэкстрактордың аяқтарымен бір мезетте балқу дәнекерлеуіне дейін ИМС барлық өткізгіштерін жылытады, сосын құрамдауышты БП алады (13.31 сурет).

Қолмен монтаждау және жөндеу жұмыстарын жүргізу кезінде 100... 150 °С температураға дейін платаны астыңғы жылытудың арнайы құрылғыларын пайдаланады. Бұл ТКЛР түрлі мағыналары бар материалдардың қабаттарынан тұратын БП металлды қабатаралық өту және жұқалтырланған мыс жолдары жарықтарын шақыратын термосоққының болу мүмкіндігін азайтуға көмектеседі.

Үстел үстілік құрылғылар тәжірибелі және ұсақ сериялы өндірістерде өткізгіштің кішкене қадамдары және матрицалы орналасқан өткізгіштерде және жөндеу жұмыстарын өткізу кезінде кішкене өлшемдегі құрамдауыштарды құрастыруға жол береді. Осындай құрылғыларда жұмыс жасау кезінде БП жұмыс үстеліне бекітіледі, бүйірінен коректендіргіштер—құрамдауыштар, құрамдауыш түпқоймалары қапталғантаспа орауыштары. Вакуумды



13.30 сур. Вакуумды істікпен  
ИМС орналастыру кестесі



1 3.31. сур. Термоэкстрактормен  
ИМС демонтаждау кестесі

істік қолмен басқарылатын механикалық құрылғының мысалы пантограф көмегімен, екі координата бойынша жеңіл және байсалды ауысуы, құрамдауыштың тұрғылықты орнына нақты отыруы мүмкін. Вакуумды істік көмегімен құрамдауыш коректендіргіштен қажетті орынға ауыстырылады. Қол манипуляторларының кейбір модельдері желім, дәнекерлеу пастаны алдын ала тамшылап жағуға, кейін желімнің термо өндірілуін және пастамен дәнекерлеудің локалды балқуына мүмкіндік беретін саптамамен жабдықталған.

Кішкене қадамдары немесе матрицалы өткізгіштері (BGA, CSP) бар құрамдауыштарды орналастыру үшін едәуір жетілген қол манипуляторлары құрамдауыштарды орнатудың процесін бақылайтын теледидар жүйесімен жабдықталған. Түйіспелі аумаққа түсудің алдында құрамдауыш қатып тұрады. Құрамдауыш пен БП арасында теледидар камерасы орналастырылады, ол экран мониториянда екі бейнені көрсетеді: қызыл құрамдауышты астынан, жасыл — түйіспелі аумақтар платасын үстінен көрсетеді. Құрамдауыштың микро ауысу жүйелерінің көмегімен оператор бұл екі бейнені қосып, кейін теледидар камерасы алынады және құрамдауышты өзінің тұратын орнына қояды.

Құрамдауыштарды орнату үшін қол үстел үстілік манипуляторларды көптеген фирмалар шығарады: DIMASMT Systems (Голландия), PACE (АҚШ), ERSА (Германия), ESSEMTEC (Швейцария). Қол манипуляторларын қолданумен құрамдауыштарды орнату өнімділігі оператордың біліктілігіне байланысты болады және сағатына 200...600 құрамдауыштарды құрайды.

Оператордың барлық әрекеттерін компьютер бақылайтын **жартылай автоматты** жабдықтар ұсақ сериялы өндірісте БП жинақтау және монтаждау үшін қолданылады. Жарық көрсеткіштердің көмегімен (лазерлі таяқша белгісі, жарық сәулесі, жарық диоды) операторға құрамдауышты қай жерден алып оны қоятын БП орнын көрсетеді. Ол монтаждауда қателіктерді мезетте төмендетеді. Осындай құрылғыларда компьютер өз жадысында әрбір құрамдауыштың дәнекерлеу кезіндегі температура өзгеруінің уақытша кестесін сақтайды және көрсетеді. Құрамдауыштарды орнату үшін жартылай автоматтардың кейбір түрлері желім мөлшерлеуші, дәнекерлеу пастасының мөлшерлеуші, конвекционды дәнекерлеу жүйесімен жабдықталған. Осындай жүйелердің өнімділігі сағатына 600...800 құрамдауышты жасайды. Осы жабдықтарды бірнеше фирмалар жасайды: ESSEMTEC (Швейцария), HAROTEC (Швейцария), FRITSCH (Германия).

Толық компьютермен басқарылатын **автоматтандырылған** жабдықтар ірі сериялы және жаппай өндірістерде БП жинақтау және монтаждау үшін қолданылады. Әдетте монтаждың бірыңғай автоматтандырылған сызығына орнатады:

- дәнекерлеу пастасы мен желімді жағатын трафаретті баспа автоматы (немесе тамшы мөлшерлеуші модулі);

- құрамдауыштарды автоматты орнату модулі;
- құрамдауыштарды дұрыс орнатудың визуалды бақылау модулі;
- пастаны балқытудың конвейерлі пеші;
- БП түйінді автоматты электрлі бақылау модулі.

Құрамдауыштарды нақты айқындау үшін автоматтар күрделі және қымбат тұратын координатарларды лазерлі өлшеуіштермен жабдықталған; олардың өнімділігі сағатына 1 500-н 50 мың құрамдауыштарға дейін. Осындай жабдықтарды ESSEMTEC (Швейцария), MYDATA (Жапония), MDC (Жапония), MechatronicSystems (Германия) фирмалары шығарады.

Дәнекерлеуден кейін құрамдауыштарды дұрыс монтаждау оптикалық жабдықтармен бақыланады (бинокулярлы стереомикроскоптар, экранда бейнені ауыспалы үлкейтетін теледидар микроскоптары). BGA және CSP корпус өткізгіштері бақыланатын аумақтың көзбен көрінбейтін жерде орналасқандықтан рентгенді өтпелі бақылау қолданылады. Ол өткізгіш аралық жалғастырғыш және байланыстардың ауытқуын көруге, МБП өткізгіштерінің ішкі жүйелерін бақылауға мүкіндік береді.

БП жинақтау мен монтаждаудың өндірістік учаскесі үшін жабдықтың жиынтықталуы учаскенің қажетті өнімділігі, пайдаланатын құрамдауыштар, БП күрделілігіне байланысты болады. Осындай учаскенің орташаланған өлшемдері 13.11 кестесінде көрсетілген..

**Статистикалық электрден қорғау.** ИМС монтажды операцияларын жасау кезінде статистикалық электрден қорғауды қамтамасыз еткен жөн, ол ТО жасау кезінде адам мен ИМС түрлендіріледі. Мысалы, ауаның біркелкі ылғалдылығы 65...90% болғанда синтетикалық линолеуммен келе жатқан монтаждаушы ~1000 В потенциалына дейін, синтетикалық жабынғысы бар орындықта отырған адам 1500 В дейін, ал үстелден техникалық құжаттама салынған папканы көтеруші 1 200 В дейін зарядталады. Ылғалдылықтың 10.20 % дейін төмендеуі кезінде потенциалдар он рет еселенеді.

13.11 кесте

| Жинақтау-монтаждау учаскесінің өнімділігі, құрамдауыштарды/сағ | Жабдық жиынтығының орташа бағасы, мың. руб. | БП өндірісінің өз-өзін ақтауы БП, руб/дм <sup>2</sup> | Өндірістік аумақ, м <sup>2</sup> |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 500                                                            | 800                                         | 1 800                                                 | 20                               |
| 2 000                                                          | 2 500                                       | 1200                                                  | 30                               |
| 5 000                                                          | 8 000                                       | 1 000                                                 | 50                               |
| 10 000                                                         | 20000                                       | 750                                                   | 65                               |
| 20 000                                                         | 40 000                                      | 480                                                   | 100                              |

Қазіргі заманғы ИМС 1...5 В жуық кернеулерде жұмыс жасайды, сондықтан ондық вольттағы кернеу оларды саптан шығарады. Статикалық зарядтар бара-бара бас тартуға әкеп соғатын деградациялық процессті тудыруы мүмкін. Электростатикалық заряд тууы мүмкін:

Біреуі оң, екіншісі – теріс зарядталған екі түйіспелі беттердеің үйлесуі кезінде (трибоэлектр); мысалы, еденмен жүру, үстел үстінде құрамдауыштары бар пластмассалы кассеталардың орын ауысуы;

Зарядталған заттың зарядталмаған затқа жақындауы кезінде оның үстінде теріс белгідегі статикалық зарядты тудырады, мысалы монтаждаушы саусағының ИМС корпусына жақын БП қозғауы;

Заттар арасында  $Q$  зарядын сақтап  $C$  сыйымдылығының өзгеруі  $U(Q=CU)$  қысымын жоғарылатады; мысалы, үстелдің үстінен құжаттама салынған полиэтиленді папканы көтеру жақын орналасқан микрокестелердің статикалық зарядтарын түрлендіреді.

Статикалық электрден қорғау үшін еден, орындық, үстел бүркемелерінің арнайы антистатикалық материалдар қолданылады; олардан киім мен ақ киімді жасайды. БП монтаждау операциялары кезінде ИМС антистатикалық сауытта орналасуы қажет. Тек қана антистатикалық саймандар қолданылуы қажет, монтаждаушының қолында жерге қосылған клеммасы бар арнайы білезік болуы қажет. Антистатикалық киімсіз кіруге тыйым салынған жұмыс орындарының аумағы еденде орналасқан арнайы сызықпен белгіленуі тиіс. БП әрбір операциясының алдында сайман мен қол білезігін жерге тұйықтау қажет.

Статистикалық электрден қорғау шараларына жұмсалған қаражат өнім сапасының артуы мен кепілді қызмет көрсетуге жұмсалатын шығындардың төмендеуімен қайтарылады. «Клевер» (Ресей), Elme (Италия), Tako (Малайзия) фирмалары антистатикалық материалдар, киім, аяқ киім, сайман және электрлі және радиоөндіріс үшін жабдықтарды жеткізумен айналысады.

### **13.5 Ішкі және блок аралық монтаж**

РЭҚ ішкі және блок аралық монтажы жеке сым, өрілген қос сым, кабель немесе сым сабандары, сонымен қатар таспа, жазық баспа және талшық-оптикалық кабельдармен жасалуы мүмкін. Монтаж жасаудың жалпы талаптары, монтажды құрылыстарға қойылатын техникалық талаптар, ТП монтаж қарталары стандарттарда нақты көрсетілген, мысалы МЕМСТ 23586 — 96 «Радиоэлектронды аппаратура құрылғылардың электрлі монтажы. Сабандар мен олардың бекіткіштерінің техникалық талаптары»; МЕМСТ 23587 — 96 «Радиоэлектронды аппаратура құрылғылардың электрлі монтажы. Монтажды сымдар мен талшықтар бекіткіштерді тарқатуының

техникалық талаптары»; МЕМСТ 23592 — 96 «Радиоэлектронды аппаратура и құрылғылардың электрлі монтажы. Электронды техника мен электротехникалық өнімдердің көлемді монтажының жалпы талаптары».

Монтаждың тәсілі мен әдісін таңдау РЭҚ түріне, құрылыс талаптары, бөгеуіл орнықтылық, монтажды жалғасулардың технологиялылығы мен сенімділігіне байланысты болады. Жалпы жағдайда монтажды жалғасулардың минималды ұзындығы болып, өздері зиянды сәуле шығармау және қабылдамауы қажет, өндүрі және жөндеу жасау кезінде быт технологиялық болу қажет.

**Жеке сым және сым сабандарымен монтаждау.** Монтаждың осы түрлері үшін мыс (бірталшықты және көпталшықты, қалайыланған және қалайыланбаған) оңашаланған (полихлорвинил, фторопласт және т.б.) сымдар пайдаланылады. Дабылдың деңгейі кіші созылыңқы тізбектер үшін экрандалған сымдар пайдаланылады. Жоғары жиілік дабылды беру үшін өрілген қос (10 МГц дейін) немесе нақты толқынды қарсылығы бар коаксиалды кабельдар (әдетте 50 немесе 75 Ом) пайдаланылады.

Монтажды сым кесігінің аумағы жүктелім тоғының тығыздығына сәйкес болып, қажетті механикалық беріктілікті қамтамасыз етуі қажет. Сымдардың оқшаулауын РЭҚ жұмысының шарттары және дабыл кернеуіне байланысты таңдайды.

Монтаждың алдында сымдардың ұштарын оқшаулаудан тазартып қалайылайды. Сабанды монтажда сымдар сабанын алдын ала монтажды жалғасулардың картасы бойынша өндіреді. Жеке сымдар мен сабандар монтажы көп еңбекті, операциялардың көбісі қолмен орындалады. РЭҚ құрылыстарындағы сабан монтажының үлесі тұрақты түрде азаяды.

**Таспа және жазық баспа кабельдарымен монтаж жасау.** Монтаждың осы түрлері үшін монтажды сымдар негізіндегі жазық көпсымды жүйелер (таспа кабельдары) немесе баспа жұқалтыр сымдар (жазық баспа кабельдар) пайдаланылады. Оларды қолдану монтаждың көп еңбектілігін төмендетіп, РЭҚ габаритті өлшемдері мен салмағын азайтады.

Таспа кабельдар сымдардың әртүрлі саны, түрлі оқшаулау, түрлі тоқ өткізгіш желілерімен шығарылады.

Икемді полиамидті, лавсан немесе полисмидті таспадағы жазық баспа кабельдарын БП технологиясы бойынша көп жағдайда икемді БП өндірумен бір уақытта жасайды. Бұл кабель жасау мен монтажды орындаудың көп еңбектілігін азайтады.

Монтажды сымдар мен коаксиалды кабельдарды Ресейде «Севкабель», «Камкабель» және т.б. фирмалар шығарады.

**Талиықтық-оптикалық байланыс желілері.** Жеке сымдар, таспа, баспа және коаксиалды кабельдар бойынша жүргізілетін дабылдың максималды жиілігібірнеше ондық мегагерцтен аспайды.

Сол жерде микропроцессор дабылдарының ырғақты жиілігі гигагерц бірліктеріне жетеді. РЭҚ блогы ішінде және РЭҚ блоктары арасында осындай дабылдармен алмасу *талшықтық-оптикалық байланыс желілер* (ТОБЖ) қамтамасыз етеді, онда оптикалық шыны талшықтары мен пластикалық оптикалық талшықтар пайдаланылады. Оптикалық шыныдағы ТОБЖ пластикалық оптикалық талшықтарға қарағанда төмен шығынды, сондықтан оларды созылмалы байланыс желілерінде жиі қолданады (100 м. астам). Пластикалық талшықты ТОБЖ төмен бағамен ерекшеленеді, жалғасуларды ажырату тәлтігіне сыншыл емес, сондықтан оларды монтаждау бағасы түсіріледі.

Оптикалық байланыс желілері үшін жабдықтарды көптеген фирмалар шығарады. Daimler Chrysler фирмасы каналға беру жылдамдығы 10 Гбит/с дейін плата аралық және ішкі блок монтаждау үшін оптикалық жалғауларды жасайды. Agilent Technologies фирмасы 2000 ж. бастап кабель ұзындығы 300 м дейін ақпаратты беру жылдамдығы 40 Гбит/с оптоталшықты кабельдарды РЭҚ блогына қосу үшін оптикалық жалғауларды жасайды. Оптикалық монтажды жалғауларды қалыптастыру үшін құрамдауыштарды Tyco Electronics, Hamamatsu, Analog Devices фирмалары шығарады.

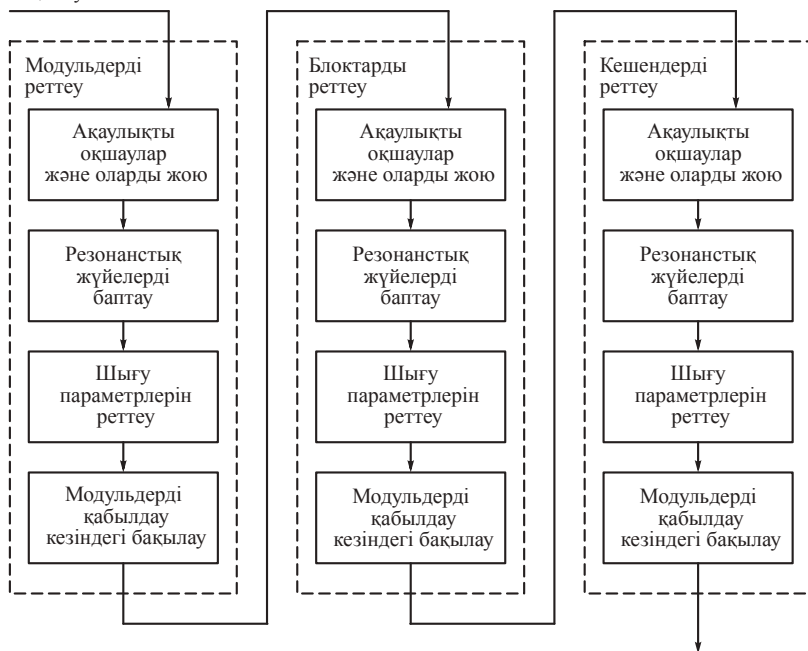
### 13.6. РЭҚ реттеу

РЭҚ өндірудің әрбір деңгейінде (функционалды және конструктивті қиындығы бойынша РЭҚ уақтау деңгейлеріне сәйкес — 1-ші деңгей модульдерін жасау, 2-ші деңгей модульдерін жасау және т.б.) реттеудің ТО келесі тәртіпте қайталанатын (13.32 сурет): ақаулылықтарды іздеу және оқшаулау → ақаулылықтарды → резонансты жүйелерді баптау → шығыс параметрлерін баптау.

*Ақаулықтарды іздеу және оқшаулау.* Алдымен өнімді көрек көзіне қоспастан жинақтау және монтаждың дұрыстығын көзбен бақылайды; кейін шығыс параметрлерін өлшеу үшін жабдықтарды қосады. Өнімді қосып, оның жұмысқа қабілеттілігін тексереді. Жасау, жинақтау және монтаж жасау кезіндегі жіберілген ақаулықтарды тауып жояды: БП көршілес өткізгіштері арасындағы жалғастырғыш, баспа өткізгіштерінің үзіктері, дұрыс емес дәнекерленген сабан сымдары, бүлінген және дұрыс орналастырылмаған құрамдауыштар мен болуы мүмкін басқа дефектілер.

Ақаулықтарды іздеу жұмыскерлердің жоғары біліктілігін, өнім жұмыс жасауының принциптерін жақсы білуді, өлшеу аппаратурасымен жұмыс жасай білуін талап етеді. Ақаулықтарды іздеу және РЭҚ әрі қарай реттеу кезінде тікелей өлшеу және эталонмен салыстыру тәсілдері қолданылады.

Жинақтау мен монтаж  
жасаудың қабылдау  
бақылауынан



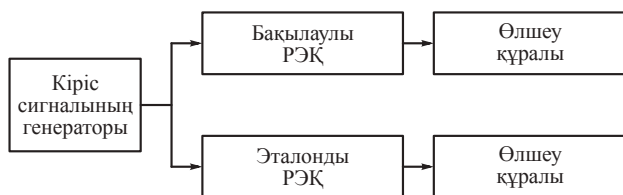
13.32 сур. РЭҚ реттеу операцияларының реттілігі

*Тікелей өлшеу тәсілі.* Ақаулықтарды осы тәсілмен іздеу кезінде құрылғының кірісіне кіріс дыбылын ұқсастыратын генераторды қосады (13.33 сурет). Өлшеу құралын дабылдың өтуін бақылап құрылғының кірісінен шығысына бақылау нүктелеріне реттеп қосады. Бұл бүлінген түйінді тоқтатуға мүмкіндік береді.

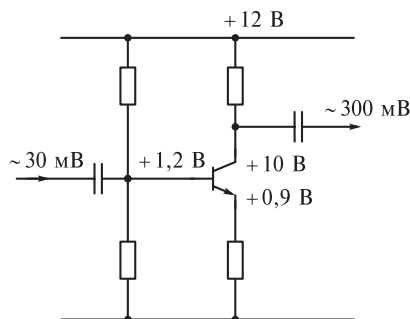
*Эталонмен салыстыру тәсілі.* Ақаулықтарды осы тәсілмен іздеу кезінде өлшенетін параметр эталонды мағынамен салыстырылады (13.34сурет). Мысал болып кеңінен қолданылатын кернеу карталары табылады, олар РЭҚ эталонды нысан кестесінің түрлі нүктелерінде алдын ала құрастырылады. Ұстаным кестелерінің желілерінде барлық кернеулер көрсетілген (13.35 сурет). РЭҚ түрлі нүктелеріндегі кернеулерді өлшеп бүлінген желі тоқтатылады.



13.33 сур. РЭҚ параметрлерін тікелей өлшеу кестесі



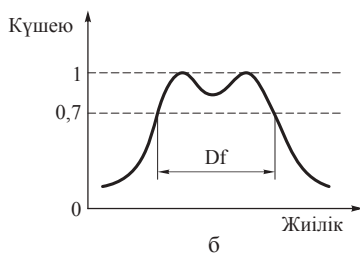
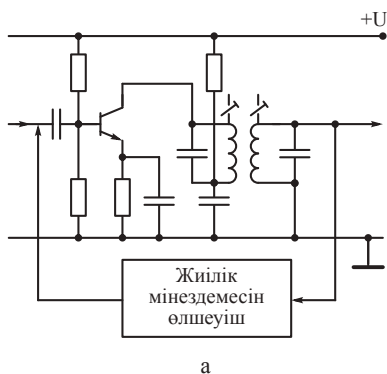
13.34 сурет. Резонансты каскадты реттеу:  
*a* — өлшеу кестесі; *б* — амплитудалы-жиілік мінездемесі



13.35 сурет. Күшейткіш  
 каскады кернеулерінің кестесі

*Резонансты түйіндерді реттеу.* Ол үшін резонансты каскад кірісіне (13.36, *асурет*) өлшеу генераторларынан (жиілік мінездемесін өлшеу, тербелетін жиілік генераторы) дабылдар беріледі.

Өлшеу жабдығының экранында құрылғының жиілік мінездемесін байқап (13.36, *бсурет*), резонансты жүйелердің реттеу элементерімен (индуктивтілік орауыш өзекшелері, нақыштаушы конденсатор) белгіленген электрі параметрлерге (жиілік мінездемесінің нысаны, каскадты нығайту коэффициенті,  $A/$  сызықтарын өткізу және т.б.) қол жеткізеді.



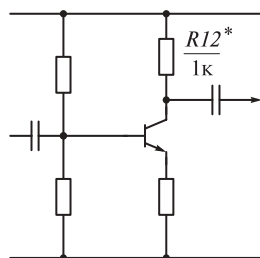
13.36 сур. Резонансты каскадты реттеу:  
*a* — өлшеу кестесі; *б* — амплитудалы-жиілік мінездемесі

*Шығу параметрлерін реттеу.* РЭҚ барлық құрамдауыштарының параметрлері артық немесе кем кемшілікте олардың номиналды мағыналарынан ерекшеленеді, ол РЭҚ шығу параметрлерінің техникалық құжаттамада көрсетілген мағыналардан ауытқуына әкеп соғады. Прецизионды құрамдауыштардан жасау кейде мақсатқа сай емес және экономикалық жағынан тиімсіз.

РЭҚ параметрлерін реттеу үшін нақыштаушы құрамдауыштар қарастырылған, олардың көмегімен шығу параметрлерінің ауытқулары алмастырылады. РЭҚ реттеу үшін әртүрлі құрамдауыштар қолданылады. Нақыштаушы құрамдауыштар түрі РЭҚ өндірудің түрімен айқындалады. Жеке өндірісте реттеу кейбір құрамдауыштарды ауыстыру арқылы жүзеге асырылады. Мысалы, 13.37 суретте  $R12$  резисторында «\*» белгісі тұрған электрлі принципиалды кесте көрсетілген, бұл ретте кесте ескертпесінде (\*) белгісі «Реттеу кезінде іріктеледі» деп белгіленген.

Сериялы және жаппай өнеркәсіптерде реттеу арнайы нақыштауыш құрамдауыштармен - нақыштауыш резисторлар мен конденсаторлар арқылы жүзеге асырылады. РЭҚ реттеу РЭҚ параметрлерін бақылаумен тікелей байланысты.

Қазіргі заманғы РЭҚ шығу параметрлерінің кемшіліктерін қайтару функциясын жалпы кестеге енгізілген шығу параметрлерінің автоматты микропроцессорлы түзеткіштер жасайды. Шығу параметрлерін автоматты реттеудің осындай тәсілі аппаратураны едәуір күрделендіреді және функционалды күрделі РЭҚ қолданылады.



13.37 сурет.  
Құрамдауышты  
ауыстырумен  
күшейткіштің шығу  
параметрін реттеу тәсілі

## Бақылау сұрақтары

РЭҚ элементтерін жалғастырудың негізгі түрлерін атаңыз.

РЭҚ құрамдауыштарын дәнекерлеу үшін дәнекердің қандай түрлері қолданылады?

БП құрамдауыштарды топтық дәнекерлеудің тәсілдерін сипаттаңыз.

Құрамдауыштарды дәнекерлеу пастасымен монтаждау қалай орындалады?

Құрамдауыштарды БП орнатудың тәсілдері туралы айтыңыз.

БП монтаждау кезінде статикалық электрден қорғалудың қандай шарттары қолданылады?

### **14.1. РЭҚ сапасын бақылау**

РЭҚ — сандық параметрлер мен сапалық мінездемелермен сипатталатын техникалық күрделі өнімдер; мысалы, теледидар қабылдаушы үшін — бұл сезімділік, экран өлшемі, дыбыс күштілігі, бейнелеу жиілігінің сызығы, сенімділік, салмағы, сонымен қатар корпус дизайны, әмбебаптылығы, қауіпсіздігі және т.б.

*РЭҚ сапасы* — өнімнің белгіленген талаптарға сай болу және қолданушының үмітін ақтау қасиеті. Сапаны жоғарылату міндеті барлық әлемде өнімді өндірушілер үшін аса маңызды болып табылады, өйткені өнімнің сапасына оның бәсекелестігі, сатылым деңгейі, фирманың беделі тәуелді болады. Көптеген сатып алушылар өнімнің бағасынан, неғұрлым оның сапасын аса маңызды деп санайды.

Өнімнің сапасы оның өзіндік құнына байланысты. Жоғары сапалы өнім сенімді құрамдауыштар мен қымбат материалдарды пайдалану, жоғары біліктілігі бар жұмыскерлерді пайдалану және фирмада өндіріс процесінде сапаны бақылау және бақылау жүйесін енгізу есебінен қымбатырақ тұрады.

*Сапаны бақылау* — өнімнің сапа көрсеткіштерінің оның тіршілігінің барлық деңгейлерінде белгіленген талаптарға сай келуін тексеру. Жобалау деңгейлерінде жобалық шешімдердің стандарттар мен нормативтерге сәйкес болуын бақылайды. Өндіріс деңгейінде материалдар, дайындама мен детальдар, жартылай фабрикаттар, жинақтау бірліктері мен дайын өнімдер бақылау объектісі бола алады. Бақыланатын параметрлердің саны бақылау объектісі, өнім параметрлерінің талаптары мен бақылау түрлеріне байланысты болады. Мысалы, детальды бақылауға оны сыртқы қарау, сызбада көрсетілген параметрлерін өлшеу жатады.

РЭҚ өндірісінде сапаны бақылаудың көптеген түрлері бар, олардың кейбір белгілер бойынша жіктелімі 14.1 кестеде көрсетілген.

*Кіріс бақылау* өнім сапасын қамтамасыз ету жүйесінің бөлігі болып табылады, оған сатып алынатын материалдар, құрамдауыштар мен өнімдердің сапасын бақылау жатады. Кіріс бақылау операциясы әрдайым міндетті емес. Мысалы, егер құрамдауыштарды жеткізуші жеткізілген партияда бүлінген өнімдердің санын аз деп кепілдік берсе (және мезгілді аудитпен ол расталса), олардың кіріс бақылауы қажет емес және экономикалық жағынан расталмаған болып табылады.

Өнімді кіріс бақылау жоспары әртүрлі болуы мүмкін — сыртқы қараудан сенімсіз болуы ықтимал өнімдерді анықтау мен алу үшін жоғары электрлі және жылу жүктелімі (электротермошынығу) шарттарында сынақтар өткізуге дейін.

*Операционды бақылауға* ТО аяқталғаннан кейін өнім немесе параметрлер ұшырайды. Операционды бақылауды жұмыскердің өзі (егер ол ТО картасында ескертілсе), бақылау бөлінісінің қызметкері немесе администратор жасауы мүмкін. *Қабылдау бақылауының* нәтижелері бойынша дайын өнімнің тапсырыс берушіге жеткізудің жарамдылығы туралы шешім қабылданады.

Өнімді бақылаудың тұтас және таңдамалы түрлерін ажыратады. Тұтас бақылауда өнімнің әрбір данасын бақылайды. Сериялы және жаппай өндіріс шарттарында өткізілетін таңдамалы бақылауда белгілі бір өлшемдегі өнімді бақылайды. Таңдамаға түскен өнімді бақылау нәтижелері бойынша өнімдердің бүкіл партиясының жарамдылығы туралы қорытынды шығарылады.

Бақылаудың таңдамалы тәсілі өнім сапасының белгіленген кепілдігі жағдайында еңбек күрделілігі мен бақылау операцияның бағасын төмендетуге мүмкіндік береді. Осындай бақылау тәсілдері стандартталған, мысалы МЕМСТ Р 50779.21 — 96 «Таңдамалы деректер бойынша статистикалық сипаттамаларды анықтау және есептеу тәсілдер ережелерінде» өнімнің үлкен партияларын тұтас бақылау жағдайында өнім партиясының жарамдылығы туралы қате қорытындылардың болу мүмкіндігі іс жүзінде одан аспайды.

Таңдаманы қалыптастыру тәсілі мен оның *көлемі* қорытындылардың анықтығына әсер етеді. Осылайша, таңдаманы қалыптастыру кезінде өнім партиясының кез-келген данасы үшін тең таңдау мүмкіндігі қамтамасыз етілуі қажет.

14.1 кесте

| Жіктелім белгісі                | Бақылау түрі                                                               |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Технологиялық тізбекшедегі орны | Кіріс,<br>операционды,<br>қабылдау                                         |
| Өнімді қамту деңгейі            | Тұтас,<br>таңдамалы                                                        |
| Бақылаудың техникалық тәсілі    | Оптикалық,<br>геометрикалық,<br>физико-химиялық,<br>электрлі,<br>рентгенді |
| Автоматизациялау деңгейі        | Қол,<br>автоматты                                                          |

Таңдаманың үлкен көлемі жағдайында өнім партиясын қабылдау бойынша статистикалық өткізгіштер дәлірек, бірақ бақылау операцияларын өткізу үшін материалдық және мезгілдік шығындар үлкен.

Тұтас және таңдамалы бақылау жасау кезінде арнайы бланк түріндегі *бақылау карталарын* пайдаланады. Егер бақыланатын өлшемдер ЭЕМ енгізілсе, онда бақылау картасы монитор экранында бейнеленеді. Әдетте, бақылау картасының көкжиекті шкаласында процессті жүзеге асыру нөмірі (10.7 суретті қараңыз), таңдама нөмірі немесе таңдаманы іріктеу уақыты (10.10 сурет қараңыз) қалдырылады. Вертикаль бойынша өлшенген немесе сапа қасиетінің өлшеніп саналған мағыналар (өлшенген параметрдің жеке мағынасы—10.7 сурет, таңдама кезінде кемшілігі бар өнім саны, таңдамадағы орташа мағына, параметрдің ауытқуының орташа квадраты) немесе сапалық белгісін бақылау нәтижелері (мысалы, нақты кемшіліктер бары немесе жоғы) белгіленеді. Көбінесе бақылау карталарына бақылау шекараларының сызықтары жүргізіледі, олардың орналасуы белгіленген немесе есеп параметрлерімен айқындалады.

Картаға енгізілген нүктелердің реттілігі ТП жағдайы мен қадамын көрсетеді, олардың орналасуы бойынша ТП немесе бақыланатын өнімнің жағдайы туралы шешім қабылдайды. Бақылау карталарын пайдалану Ресей Федерациясының МЕМСТ Р 50779.40 «Статистикалық тәсілдер. Бақылау карталары. Жалпы басқару және жүргізу», МЕМСТ Р 50779.42 «Шухарта бақылау карталары» және т.б. сияқты стандарттарымен реттелген.

## 14.2. РЖД сапа менеджменті

### Сапаны басқару әдістері

РЖД сапасына қойылатын жоғары талаптарды, оларды жобалау және өндірістік үрдістердің қиындығы мен өзгеруін, сондай-ақ материалдық жабдықтаушылардың сапасын қамтамасыз ету үшін келісілген іс-әрекеттердің қажеттілігін, РЖА өндірушілері мен құрастырушылардың сапасын арттыру мақсатында мақсатты жұмысты ұйымдастыруды және барлық қызметкерлер оған жаппай тарту болып табылады.

Адамзат қоғамы мен өндірісінің дамуы ретінде сапаны бағалау және жетілдіру тетіктері үнемі өзгеріп отырады. Бастапқыда өнім сапасы стандарттарға сәйкес келмейтін өнімдерді *қабылдамау* арқылы қол жеткізілді. Өткен ғасырдың екінші жартысынан бастап өнімдердің сапасы продукцияны сертификаттау арқылы жүзеге асырылды. Қазіргі уақытта *сапа басқару* қағидалары өңделді.

Көптеген компаниялар мен халықаралық ұйымдардың (атап айтқанда, Халықаралық стандарттау ұйымы - The International Organization for Standardization — ISO) күш жігерінің арқасында барлық әлемдік ұйымдарда сапа басқаруынан сапа менеджментіне көшуге мүмкіндік беретін «Жалпы сапа басқару» (Total Quality Control — TQC) жүйесі жасалып жүзеге аса бастады [6].

2000 жылдың аяғында халықаралық стандарттарының жаңа нұсқасы ISO (ИСО) сериясы енгізілді. Ресей Федерациясында келесі стандарттар енгізілді: ГОСТ Р ИСО 9000 - 2001 «Сапа менеджменті жүйесі. Негізгі ережелер мен сөздік»; ГОСТ Р ИСО 9001 — 2001 «Сапа менеджменті жүйесі.Талаптар» және ГОСТ Р ИСО 9004— 2001 «Сапа менеджменті жүйесі. Қызметтің сапасын арттыру бойынша ұсыныстар». Осы стандарттардың ерекшелігі, олардағы өнім сапасына қойылатын талаптар өнімнің сапасын болжамды және тұрақты деңгейін қамтамасыз ететін өндірісті басқаруды ұйымдастыру *принциптері* түрінде сипатталады. Басқаша айтқанда, сапа менеджменті жүйесі өнімнің өмірлік циклінің барлық кезеңдерінде оның құрылуының барлық сатыларында жеткізушілерді тексеретін аудиторлық фирмалардың іріктемесінен бастап тапсырыс берушінің өнімді пайдалану (шағымдар мен ақаулар туралы ақпаратты жинау және талдау) кезеңіндегі сапаны бақылау шараларына дейін үнемі бақылануы тиіс.

### **Сапа менеджменті жүйесінің тұжырымдамалары**

Қазіргі заманғы сапа менеджменті жүйесі келесі тұжырымдамаларға негізделген: «тұтынушылық бағдар», «үдеріске басты назар аударылады», «үдерістің үздіксіздігі», «қызметкерлерді осы үдеріске тарту» және «шешім қабылдау үшін дерек негіз болып табылады».

**Тұтынушылық бағдар.** Компанияның барлық қызметі сатып алушының ағымдағы және болашақ сұрауларын зерттеуге және осы сұраныстарды қанағаттандыруға бағытталуы керек. Мысалы, ққарқынды дамып келе жатқан Vishay компаниясы (резисторлардың, конденсаторлар, индукторлар орамаларының, дискретті жартылай өткізгіш құрылғылардың әлемдегі екінші өндірушісі болып табылатын ірі американдық және еуропалық өндіруші) «Клиенттердің үміттерінен асып түсу үшін» корпоративтік ұранымен ерекшеленеді. Бұл жерде сыртқы ғана емес, ішкі тұтынушылар туралы да - өндірілген жартылай фабриканы, бөлшектерді, түйіндерді, әзірленген жобаларды пайдаланатын басқа бөлімшелердің қызметкерлері туралы айтылған. Сапа менеджменті жүйесінің негізгі талаптары - тұтынушы жоғары сапалы өнім жасау процесіне қатысушы болуы керек.

**Үдеріске басты назар аударылады.** Өнімнің жоғары сапасын

камтамасыз ету үшін өндіруші оны құру үдерісінің жоғары сапалы функциясын, оның ішінде заманауи басқару, жоспарлау, жобалау, өндіру, сынау және т.б. қағидағары бойынша кәсіпорынды басқаруды камтамасыз етуі тиіс. Сапа менеджменті жүйесінің негізгі тұжырымдамасы - бұл нәтижеге емес, процесіне басымдық беру. Сондықтан сапаны басқару жүйесіндегі бақылау процестің түпкілікті нәтижесін бақылауға емес, сәйкессіздіктерді болдырмауға бағытталуы керек. Өнім мониторингісінің әрбір қадамы өндіріс жүйесінің жай-күйіне бағдарланған бақылау іс-әрекеттерін (ұсыныстарды) жасауға тиіс.

**Үдерістің үздіксіздігі.** Бұл өнім сапасын жақсартуға ықпал ететін барлық процестердің сапасын үздіксіз және үнемі жетілдіруді, сапа менеджменті жүйесін үнемі жетілдіруді болжайды. Сапа менеджменті жүйесінің қажетті элементі - процестерді, құрылымдарды, жобаларды жетілдіру бойынша ұсыныстар енгізуді ынталандыру.

**Қызметкерлерді осы үдеріске тарту.** Бұл барлық қызметкерлерді (жұмыскерден бастап басшыға дейін) жұмыс сапасына кепілдік беру және сапаны жақсарту үшін тартуды білдіреді. Бұл процеске жеткізушілер мен тапсырыс берушілерді тарту мұның маңызды элементі болып табылады. Сапа менеджменті жүйесі әр қызметкердің сапаны бақылау және жақсарту үшін белгілі бір функцияларымен тағайындалуын білдіреді - сапаны басқару бойынша міндеттер мен міндеттердің бөлінуі, олардың құқықтарын және міндеттемелерін құжаттау және сақтау шартсыз болуы тиіс.

**Шешім қабылдау үшін дерек негіз болып табылады.** Сапаны басқару бойынша барлық шешімдер мамандардың ішкі түйсік пен жеке тәжірибесімен емес, деректерге негізделуі керек. Шешім қабылдау үшін өндірістің барлық сатыларында (өлшеу, зерттеу) және жиналған материалды талдау кезінде өнім сапасына статистикалық материал жиналуы және жиналған деректердің талдауы міндетті түрде болуы тиіс.

Сапа менеджменті жүйесіндегі нәтижелерді жинау, өңдеу және талдау үшін келесі сапаны басқару құралдары қолданылады: бақылау парағы, гистограмма, шашырау диаграммасы, Парето диаграммасы, стратификация (қатпарлану), себеп-схема диаграммасы, бақылау картасы. Сапаны бақылаудың бұл тиімді құралдары басқару құралдары емес, тану құралдары болып табылады. Белгіленген мақсатқа байланысты олардың кез-келгені белгілі бір жүйеде белгілі ретпен қолданылады.

**Бақылау парағы-** бақылау операциялар туралы деректер жинауға мүмкіндік беретін бақыланатын параметрлердің алдын ала басып шығарылған тізімі бар пішін. Бақылау парағын құрудың негізгі қағидалары - қарапайымдылық, жылдамдық және қатесіз толтыру. Бақылау парағының деректері рет ретімен құрастылырған

статистикалық талдауда қолданылады.

*Гистограмма* - өлшенген параметрдің бөлу заңын көзбен бағалауға мүмкіндік беретін статистикалық материалды графикалық түрде ұсыну. 14.2 кестесінде пленка резисторының ИМС 100 төсеніштеріндегі кедергісін өлшеуге арналған бақылау парағын көрсетеді, 14.3 суретінде бұл деректер аралықпен бөлінген, 14.1 суретінде тиісті гистограмма құрылған. Гистограммада пускқа дейінгі алаңның шекарасы көрсетілген:  $R_{\text{ту}} = 100 \pm 10 \text{ Ом}$ .

Гистограмманы талдау барлық резисторлардың қарсылық мәндерінің алдын-ала белгіленген өріске түсуін және оларды бөлу қалыпты үлестірімге сәйкес келетінін көрсетеді. Гистограмма іске қосу шегінде бақылау деректерінің орналасқан жерін визуалды бағалауға ыңғайлы.

14.2. кесте

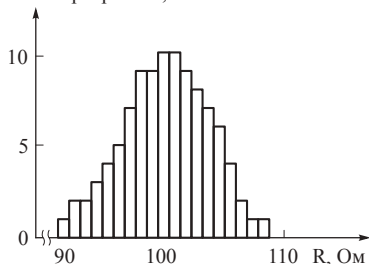
### Бақылау резисторының қарсылығы, Ом

| №  | R     | N  | R     | N  | R     | N  | R     | N   | R     |
|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|-----|-------|
| 1  | 105,3 | 21 | 104,2 | 41 | 100,2 | 61 | 103,9 | 81  | 101,7 |
| 2  | 99,1  | 22 | 100,8 | 42 | 101,1 | 62 | 99,0  | 82  | 99,1  |
| 3  | 94,8  | 23 | 106,4 | 43 | 99,9  | 63 | 101,9 | 83  | 97,9  |
| 4  | 103,5 | 24 | 107,8 | 44 | 102,5 | 64 | 103,7 | 84  | 97,3  |
| 5  | 106,9 | 25 | 96,2  | 45 | 103,5 | 65 | 95,2  | 85  | 102,3 |
| 6  | 99,6  | 26 | 97,4  | 46 | 95,0  | 66 | 101,3 | 86  | 99,1  |
| 7  | 98,3  | 27 | 91,5  | 47 | 98,9  | 67 | 101,6 | 87  | 97,8  |
| 8  | 93,7  | 28 | 94,1  | 48 | 92,3  | 68 | 100,1 | 88  | 95,7  |
| 9  | 101,2 | 29 | 102,2 | 49 | 103,2 | 69 | 97,2  | 89  | 98,8  |
| 10 | 105,2 | 30 | 103,1 | 50 | 93,2  | 70 | 100,3 | 90  | 90,4  |
| 11 | 104,5 | 31 | 105,3 | 51 | 99,4  | 71 | 100,9 | 91  | 97,6  |
| 12 | 97,9  | 32 | 99,3  | 52 | 102,1 | 72 | 96,0  | 92  | 103,2 |
| 13 | 95,2  | 33 | 100,4 | 53 | 100,2 | 73 | 98,2  | 93  | 92,6  |
| 14 | 100,1 | 34 | 98,5  | 54 | 97,6  | 74 | 96,1  | 94  | 105,5 |
| 15 | 104,3 | 35 | 105,7 | 55 | 94,6  | 75 | 102,6 | 95  | 94,7  |
| 16 | 102,8 | 36 | 104,6 | 56 | 98,1  | 76 | 98,4  | 96  | 95,3  |
| 17 | 98    | 37 | 96,4  | 57 | 101,1 | 77 | 102,8 | 97  | 93,5  |
| 18 | 96,5  | 38 | 99,5  | 58 | 100,6 | 78 | 100,7 | 98  | 96,2  |
| 19 | 101,3 | 39 | 101,5 | 59 | 99,7  | 79 | 97,1  | 99  | 104,4 |
| 20 | 108,3 | 40 | 104,8 | 60 | 102,7 | 80 | 98,7  | 100 | 96,8  |

| Ауқым реті | Ауқым,<br>Ом | Резисторлар<br>саны,<br>дана. | Ауқым реті | Ауқым,<br>Ом | Резисторлар<br>саны,<br>дана. |
|------------|--------------|-------------------------------|------------|--------------|-------------------------------|
| 1          | 90...90,9    | 1                             | 11         | 100.100,9    | 10                            |
| 2          | 91... 91,9   | 2                             | 12         | 101 .101,9   | 9                             |
| 3          | 92.92,9      | 2                             | 13         | 102.. 102,9  | 8                             |
| 4          | 93.93,9      | 3                             | 14         | 103..103,9   | 7                             |
| 5          | 94.94,9      | 4                             | 15         | 104.. 104,9  | 6                             |
| 6          | 95.95,9      | 5                             | 16         | 105..105,9   | 4                             |
| 7          | 96.96,9      | 7                             | 17         | 106..106,9   | 2                             |
| 8          | 97.97,9      | 9                             | 18         | 107.107,9    | 1                             |
| 9          | 98.98,9      | 9                             | 19         | 108.108,9    | 1                             |
| 10         | 99.99,9      | 10                            | 20         | 109.110      | 0                             |

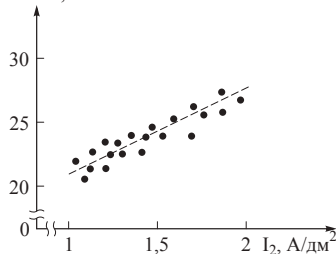
*Шашыра диаграммасы* екі айнымалы арасындағы түр мен байланыс дәрежесін (корреляция) бағалауға арналған және оның басқа параметрін реттеу кезінде ТС бір параметрінің өзгеру бағытын бағалауға мүмкіндік береді. 14.2 суретте гальваникалық ваннадағы тоқтың қалыңды мен ПП тесігі қабырғасында гальваникалық қамалған қабыршақтың дән көлеміндегі оңды сызық корреляциясын көрсететін шашырандылық диаграммада бейнеленген. 14.2 суретте астық мөлшерін азайту үшін (пленканың пластикасын арттыру) ваннаның ағымдық тығыздығын азайту керек екені көрсетілген. Шашырау диаграммаларындағы корреляциялық байланыстың кейбір ықтимал түрлері 14.3 суретінде көрсетілген.

Резисторлар саны, шт.

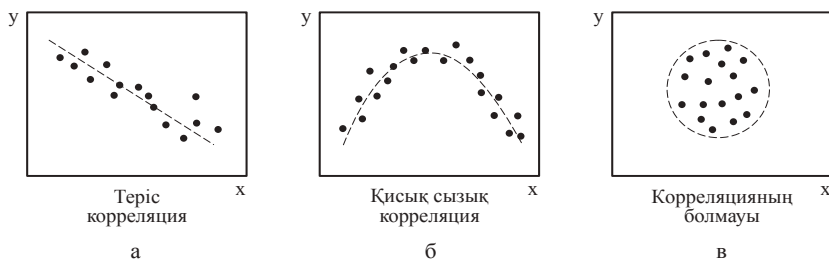


Сурет 14.1. Резисторлардың қарсылық мәндерінің өріске түсуі гистограммасы

Дән көлемі, мкм



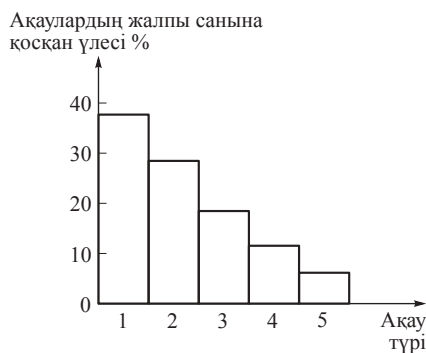
Сурет 14.2. Пленка дәндерінің мөлшері мен ток тығыздығының қарсылық мәндері арасындағы корреляциялық байланыс.



Сурет 14.3. Шашырау диаграммаларындағы корреляциялық байланыстың түрлері:

а - теріс корреляция; б - қысық сызық корреляциясы; корреляцияның болмауы

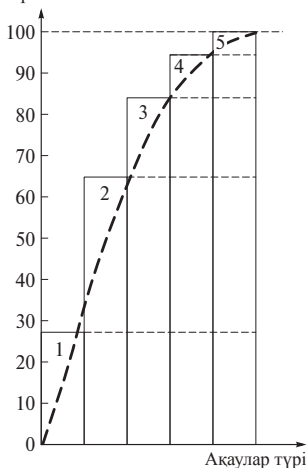
*Парето диаграммасы* атақты итальян экономисімен аталды. Бұл сызбаның құрылысы талданатын параметрге әсер ететін факторларды (мысалы, қабылдамауға әкелетін деградациялық құбылыстардың тізбесін, ақауға және тапсырысты орындаудың кешігуіне себеп болатын себептерді және т.б.) жіктеуден басталады. Содан кейін, осы зерттеу үшін әзірленген бақылау тізімін пайдаланып, статистикалық материал жинақталды, оның негізінде талданатын параметрге әрбір фактордың салыстырмалы қатынасын көрсететін гистограмма құрастырылады. Мысалы, 14.4 суретте көрсетілген гистограмма МРР жасаудағы жеке ТО-ның ақаулардың жалпы санына қосқан үлесін көрсетеді. Бұл гистограмманы пайдалану арқылы Парето диаграммасы құрастырылған - гистограмманың барлық бағандарының биіктігін максималдыдан минималды үлеске дейін үнемдеуге арналған сынған кумулятивті диаграмма (сурет 14.5).



Сурет 14.4. МПП ақауларының бөлу гистограммасы:

1 — тесіктердің қабырғаларын металлдау; 2 — престоу арқылы желімдеу; 3 — тесік жасау; 4 — фотолитография; 5 — дайындықты құрастыру

Ақаулардың жалпы санына  
қосқан үлесі %



Сурет 14.5. 14.4 суретінде  
бейнеленген гистограммаға  
сәйкес келетін Парето  
диаграммасы

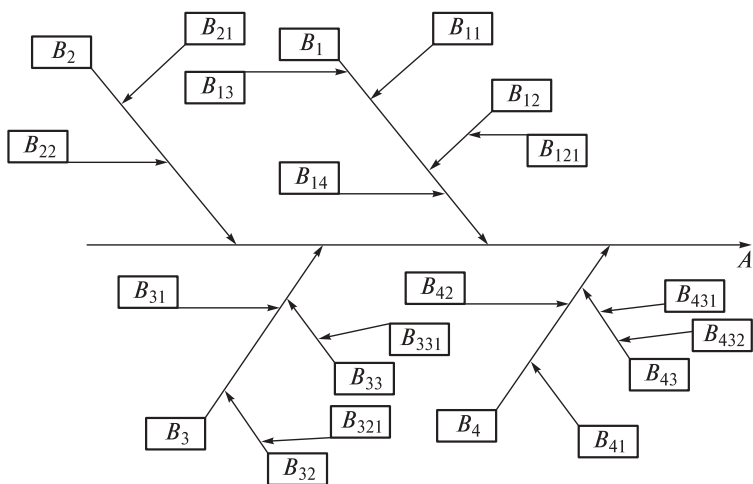
МПП-ны (84%) ақауына қосатын негізгі үлесі үш операциямен жүзеге асырылады: тесіктердің қабырғаларын металлдау, дайындауды пресстеу мен Ақаулардың жалпы санына енгізу, % тесіктерді бұрғылау. Парето диаграммасы өнім сапасына әсер ететін негізгі факторларды анық көрсетеді. Парето диаграммасының көмегімен ақаулық туындаған кезде талдау жасалады, «технологиялық жабдықтардың жөнделмейтін

ақауы, тапсырыс берушіден жарнамалардың түсуі.

*Стратификация әдісі (бөліну)* әрбір топ ішінде кейінгі талдау үшін топтар (топтар, қабаттар - лат. Қабат қабат, қабаттар) бойынша статистикалық деректерді бөлуге топ бойынша бөлуге мүмкіндік береді. Мысалы, өндірістік ортада ақаудың пайда болуының себептерін іздеуде келесі факторлардың әсері қарастырылады: адам(man), механизм (machine), материал (material), әдіс (metod) - 4М әдісі. Бұл әдіс ақаудың себебін көрсетуі тиіс. Белгілі мәселелерді шешу үшін қолданылуы мүмкін стратификацияның көптеген әдістері бар.

*Себеп-сұлба диаграммасы* талданатын параметрге әсер ететін әртүрлі факторлардың байланысын көрсетеді. 14.6 суреттеА талданатын параметрге келесі факторлар себебін тигізеді:  $B_1, B_2, B_3, B_4$ . Бұл факторлардың әр қайсысына сәйкесінше  $B_{11}, \dots, B_{14}; B_{21}, \dots, B_{22}; B_{31}, \dots, B_{33}; B_{41}, \dots, B_{43}$  факторлары себебін тигізеді.  $B_{пт}$  параметрлерінің әр қайсысы  $B_{ннк}$  анықталған параметрлерге тәуелді болады және т.б. Диаграммасындағы көрсеткілер ықпал ету бағытын көрсетеді.

Осы құрылыстың нәтижесінде күрделі диаграмма шығады, ол белгілі бір дәрежеде бөлшектелген барлық факторлардың талданатын параметр бойынша әсерін көрсетеді. Себептік –сұлба диаграммалар құрылысы мұқият талдаудың нәтижесі болып табылады, талдау параметрлері туралы білімді жинақтау, ғылыми-техникалық әдебиеттерді зерттеу, білікті сарапшылармен сұхбат. Диаграмманы құрастырғаннан кейін статистикалық әдістерді қолдана отырып бөлініс жасалады және ақаудың нақты анықталады.



Сурет 14.6. Талдау параметріне әртүрлі факторлардың әсері

Басқару картасы ТП-ны статистикалық реттеу, өнім сапасын бақылау үшін қолданылады. Басқару карталарының көптеген түрлері бар (14.1 бөлімшесін қарау).

Жақсы реттелген ТП-да нүктелер басталмас бұрын далада кездейсоқ орналастырылады. Баллдарды топтастыру режимді түзету үшін технологтың араласуын талап ететін белгіленген жұмыс режимін бұзуға мүмкіндік береді. Мысалы, ТР бұзылу үшін сигналдар: орташа сызықтың бір жағындағы нүктелерден кейін, ортаңғы сызықтан бір жаққа кезектескен нүктелер,  $\pm 3\sigma$  аралық аралығындағы нүктелерден кейін екі (немесе үш) кезектескен нүктелер және т.б.

### 14.3. РЭҚ бақылаудың техникалық тәсілдері

Сапа менеджменті жүйесінің жүзеге асырылуы ТП мониторингін— ТП параметрлерін тұрақты өзгерту, процесстер сапасы, өндірістік орта, өнім туралы деректемелерді жинақтау және талдауды талап етеді. РЭҚ өндірісі ТП үшін мониторинг құралы болып өлшеуіш және тестілеу жабдығы табылады.

РЭҚ өнімдерінің конструкторлық-технологиялық түрлілігі, РЭҚ функционалды микроэлектротехника құрылғыларымен байланыста интеграцияның астам дәрежелі микроэлектротехника өнімдерін (акустоэлектронды және акустооптикалық құрылғылар, зарядты байланысты жабдықтар және т.б.) пайдалану, дабылдардың жиілігінің кең диапазоны РЭҚ бақылау амалдарының әр алуандығын көрсетті. Бұл ретте өзгешеленеді: бақылау материалдары мен технологиялық орта, операциялардың технологиялық режим параметрлерін бақылау

және РЭҚ өнімдерінің параметрлерін бақылау[16].

*Материалдар мен технологиялық ортаны* бақылау үшін қатты дене, газ, мұйықтық, вакуумдардың физикалықжәне химиялық параметрлерін өлшеу тәсілдері (оптико-және масс-спектрометрикалық тәсілдер, рентгеноспектралды тәсілдер, Оже-спектроскопия тәсілдері, қысым мен вакуумды өлшеу тәсілдері, рН-метры) пайдаланылады. Операция режимінің технологиялық *параметрлерін* бақылау температура, қысым, тоқ, кернеу, газ ағымының жылдамдығы, газдар құрамын бақылау жабдықтарымен орындалады.

РЭҚөнімдерінің *параметрлерін* бақылау үшін оптикалық, рентгенді және электрлі тәсілдер қолданылады.

*Бақылаудың оптикалық тәсілі* РЭҚ сапасының параметрлерін – БП топологиясының дұрыстығы, ИМС құрылғылары мен сабан сымдарының дәнекерленуін, дәнекерленген жалғастырулардың сапасын, пассивті құрамдауыштар параметрлерінің мағынасын, өнімнің геометрикалық өлшемдерін көзбен бақылауға; БП өткізгіштерінің жарықтарын, қисаю мен жарылуын және т.б. табуға мүмкіндік береді. Интеграцияның жоғары дәрежесі (БП өткізгіштері мен элементтерінің, ИМС шығу қадамдарының кішкене өлшемі), оптикалық бақылаудың жоғары нақтылығының қажеттілігі бейнені әртүрлі дәрежеде үлкейтетін оптикалық жабдықтарды: тіреуіште орналасқан жарық бергіш үлкен мөлшерлі линзалар, ауыспалы үлкейтетін оптикалық микроскоптар, теледидар микроскоптарын пайдалануды талап етеді. Бақыланатын объектінің бейнесін көлемді беретін стереоскопикалық оптикалық микроскоптар кеңінен пайдаланылады. Ол мысалы, байланыс дәнекердің жиегі бойынша дәнекерленген жалғасудың сапасын бақылауға мүмкіндік береді.

Бақыланатын объектілерді көзге көрінетін жарықпен жарықтандыру кезінде (толқын ұзындығы 0,4...0,7 мкм) ең жақсы микроскоптар 0,3 мкм мөлшерлі элементтерді қарауға мүмкіндік береді. Осындай микроскоптардың кенеттілік тереңдігі (рұқсат ететін қасиеттілікке тоңыссыздану әсер етпейтін оптикалық белдік бойынша арақашықтық) максималды ұлғайту кезінде сол сияқты шамамен 0,3 мкм тен болады.

«ЛОМО» АҚ микроскоптар модельдерінің түрлісін шығарады, көптеген шетел фирмалары (Luxe, Vision Engineering, SCIENSCOPE, OrbotechLtd.) оптикалық бақылау жабдықтарын өндіруде маманданады. Эталонды және бақыланатын БП нысандарының бейнелерін салыстыратын бейнебақылау құрылғылар шығарылып кеңінен пайдаланады.

Көзбен бақылау жеңіл және қолайлы, бірақ бақылау операциялары баяу өткізіледі. Статистикалық зерттеулер көрсеткендей, көзбен бақылау жасау кезінде БП құрамдауыштарының көп саны мен

оператордың тез шаршауы салдарынан кемшіліктердің 23 % дейін анықталмаған болып қалатынын көрсетеді. Бақыланатын объектіні сканерлейтін (мысалы, БП дайындалған түйін) және бақыланатын объектінің цифрлық бейнесін жүйе жадысында сақталатын эталонды бейнемен салыстыратын **оптикалық бақылаудың автоматтандырылған жүйелері** едәуір өнімді болып келеді. Осындай жүйелер 100 % жуық құрамдауыштар құрылғыларының, дәнекерлеу кемшіліктерін, БП өткізгіштеріндегі жарылу, БП элементтерінің мөлшеріне рұқсат бұзушылықтарын, БП өткізгіштері арасындағы қысқа тұйықталған бөгетшелерді анықтай алады.

Оптикалық бақылаудың автоматтандырылған жүйелері жоғары өнімді (75 мкм рұқсат ету қасиетімен 25 м2/сағ дейін), бірақ олардың бағасы жоғары және сериялы және жаппай өндірістерде пайдаланады. Осы жүйелерді Projectina AG, Vision Engineering, Mania, Leica Microsystem, Luxo және т.б. фирмалар шығарады.

**Бақылаудың рентгенді тәсілдерінің** (көбінесе бейнені монитор экранында көрсететін рентгенотеледидарлы) жасырын кемшіліктерді — РЭҚ құрылыстарының ішінде компаундпен құйылған сапасыз дәнекерлер, көпқабатты БП ішкі қабаттарын әлсіз үйлестіру, BGA және CSP корпустарының төменгі бетінде өткізгіші бар дәнекерлеу құрамдауыштарының кемшіліктерін анықтау үшін жасалған. Жоғары рұқсатты рентген құрылғыларының үлкен бағасын және белгілі бір объектіге реттеудің еңбек күрделілігін есепке алып, бұл тәсілді ТП реттеу және кемшіліктер мен бас тартулардың себептерін терең талдау кезінде ғаға қолданылады. Рентгенді бақылау құрылғыларын PHOENIX/X-RAY, Macrotron Systems, Operation Technology Inc., Viscom және т.б. фирмалар шығарады.

**Электрлі параметрлерді бақылау.** РЭҚ өндірісінде бақылаудың осы түрі маңызды болып келеді. Өнім түріне байланысты бақылайды:

Жиілік сипаттамалар (тасымалдаушы жиілік, өткізу сызығы, резонансты жиілік, АЧХ и ФЧХ нысаны және т.б.);

Ауысымды сипаттамалар (күшею коэффициенті, модуляция коэффициенті, шу коэффициенті және т.б.);

Импульсті сипаттамалар (импульстар мен фронттар ұзақтығы, амплитуда және импульстардың қайталану жиілігі және т.б.).

Электрлі параметрлерді бақылау үшін бақылау-өлшеу жабдықтарының көп саны шығарылады.

Қазіргі заманғы РЭҚ маңызды жинақтау бірлігі БП дайындалған түйіні болып келеді, оны бақылауға негізгі назар аударылады. Осыған байланысты БП жобалау кезінде оның құрылысына бақылауды жеңілдететін қосымша элементтерді қарастыру қажет:

Дабылдың модель каскады бойынша өтуін бақылау үшін қосымша түйіспелі бақылау аумақтары. Бұл тәсілді СВЧ модульдарды бақылау

жасау кезінде қолдануға болмайды;

Бастырма өткізгіштер, оларды шешіп алу кезінде бақылау үшін кесте бөлігін бөлуге болады.

Оған қоса, модульдің жұмысқа қабілеттілігін нақты бағалау үшін арнайы кіріс дабылдар (тестілер) қажет; жоғары сенімді өнімдер үшін олардың өз өзін тестілеу мүмкіндігін қарастырған жөн. БП түйін құрылысына бақылаудың қосымша элементтерін енгізу оның құрастырылу тығыздығын төмендетеді. Бақылау жасау кезінде БП элементтеріне қосылу мүмкін:

БП штатты ажыратуы арқылы;

Байланысатын зондтары бар *зондты бұршик-адаптер* көмегімен (қадамы 1,25 мм дейін 6 000 зондқа дейін). Осы адаптерларды БП екі жағынан орналастыруға болады, бұл ретте зондтар бақылау түйіспелі аумақтар платалары, БП ауыспалы тесіктеріне немесе құрамдауыштардың өткізгіштеріне қосылады. Адаптерларды пайдалану бақылау операциясын жинақтау-монтаждау өндірісінің ырғағымен келісіп бақылаудың жоғары өнімділігін (12 000 нүкте/сдейін) қамтамасыз етеді. Зонд қырлы адаптерларды пайдалану тәсілінің кемшілігі бар — әрбір плата үшін жеке адаптер жасау қажет, сондықтан бұл тәсіл үлкен көлемді өндірістерде ғана қолданылады;

Дәлдігі 0,01 мм. дейін *ұшатын зондтар* (8 данаға дейін) көмегімен құрамдауышты БП кез-келген түйіспелі аумағына бекіту немесе шығаруға болатын. Әрбір зондтың орнын ауыстыру компьютерарқылы жүзеге асырылады, басқа БП бақылауға қайта орнату қиын емес және аз уақытты жұмсайды. Бұл тәсілдің осының алдындағы тәсілмен салыстырғанда зондтардың орнын ауыстыру уақыты салдарынан өнімділігі төмен (30 нүкте/с дейін). Оны шығудың үлкен емес бағдарламасы және өнімнің кең номенклатурасы жағдайында қолданады.

***Кестеішілік бақылау.*** Статистикалық зерттеулер көрсеткендей БП жинақтаудан кейінгі кемшіліктердердің 80 % дейін өндірістік себептермен қарастырылған — жабдықтың төзуі, персонал қателігі, сапасыз құрамдауыштар мен дәнекерлеуіштер. Осы кемшіліктерді БП жинақтаудан кейін болатын қазіргі заманғы технологиялық желілерде жасалынатын *кестеішілік* бақылаумен анықтауға болады. Кестеішілік – аналогты және сандық — бақылауда онда орналастырылған БП және құрамдауыштар параметрлерін тексереді. *Аналогты* бақылау жасау кезінде тексереді:

құрамдауыштардың бары және орнату дұрыстығы;

құрамдауыштар параметрлерінің номиналды мағынасы (резисторлар, конденсаторлар, индуктивтілік орауыштары, дискретті жартылай өткізгіш жабдықтардың);

тізбек оқшаулауының қарсылығы; бағдарламаның сызықтық

желілерінің толқынды қарсылығы.

*Сандық* бақылау жасау кезінде сандық ИМС жұмысқа қабілеттілігін тексереді.

ИМС кірістерінде бақылау жасау кезінде параллельді желілердің әсерін жою үшін үлкен тоқты күшінің қысқа импульстары беріледі. Ол логикалық кестелерді қарсы логикалық жағдайға еріксіз көшіруге жағдай туғызады. Көршілес каскадтарда оқшаулау кернеулерін орнату, көпсымды өлшеу тәсілін қолдану, тестіленетін дабылдардың кернеулері мен жиілігін дәл таңдау құрамдауыштарға бақылау жасау кезінде параллель желілерінің әсерін жояды.

Кестеішілік бақылау өнім сапасын басқару жүйесінде басқарушыларды анықтау үшін ТП мониторингін жүргізу, персоналдың жұмыс ауысымы, жабдықтың, құрамдауыштардың түрлері бойынша кемшіліктерді жүйелеуге рұқсат береді.

**Функционалды бақылау.** Функционалды бақылау өндірістік процесстің қорытынды кезеңі болып табылады, оны дайын өнімдерді олардың техникалық шарттар талаптарының сәйкестігіне қабылдау және жарамсыздарды ақаулау кезінде жасайды. Әдетте, тестіленетін жүйелер өнімге БП ажырату арқылы қосылады. Қазіргі заманғы құрылғыларда БП функционалды бақылау минималды рұқсат етілген деңгейден максималдыға дейін автоматты түрде өзгере алатын коректейтін кернеумен жүзеге асырылады. Кіріске қажетті кіріс дабылдары беріледі және жүктелім эквивалентінде шығу дабылдарын бақылайды. Бақылаудың барлық түрлері құжатталынады.

Сандық кестелерге бақылау жасау кезінде кірістерге реттеліп кіріс дабылдарының барлық мүмкін комбинациялары беріледі, ал оларға сәйкесті шығыс дабылдары эталондылармен салыстырылады. Эталонды дабылдардан өзгеше шығыс дабылдарының пайда болуы дұрыс емес жұмыс жасаудың белгісі болып табылады.

Ұштық автоматтар теориясы тестілі комбинациялар  $N$  санын ақытауға көмектеседі, оны толық функционалды бақылаудан өткізу қажет:  $N = 2k+n$ , мұнда  $k$  — ИМС логикалық кірістеріні саны;  $n$  — триггер түріндегі жады ұяшықтарының саны. Мысалы,  $k = 16$  болғанда,  $n = 64$  тестілі комбинациялар саны  $N = 264+16 = 280$ . Бір тестілік комбинацияға ұзақ уақыт бойы 1 мкс функционалдық бақылау жасау кезінде бақылаудың жалпы уақыты миллион жылдан асуы мүмкін. Тәжірибе жүзінде өнімнің жұмысқа қабілеттілігін тексеруді кепілдейтін тестілік комбинацияның өте ықтимал дұрыс саны алынады. Сандық құрылғыларды функционалды бақылау тестілерін электронды заттарды автоматты жобалау жүйелерін пайдаланумен құрастырады, оның тестілерді автоматты жобалаудың бағыныңқы жүйесі бар.

БП электрлі бақылау жасау үшін сан түрлі бақылау жабдықтарын

шығарады — технологиялық жүйелерге қосылатын әмбебап зонд адаптері бар кәдімгі тестерлерден бастап ішіне техникалық көру автоматтандырылған жүйесі салынған күрделі кестеішілік және функционалды бақылау автоматтандырылған құрылғыларға дейін (ATGTest System GmbH, Check Sum, Fastek, Geotest Inc., Micro Craft фирмалары). «Совтест» фирмасы БП бақылау жасау үшін жабдықтарын жеткізуге мамандырылған.

Бақылаудың дәстүрлі электрлі әдістермен бірге бақылауды жылдамдатып жеңілдету, оның әрекеттілігін жоғарылатуға мүмкіндік беретін электрлі бақылау тәсілдері өндіріледі. Мысалы, TR-8 өндірістік кемшіліктер анализаторында (Checksum фирмасы) және GRPilot автоматтандырылған тестерінде (GenRad фирмасы) дәстүрлі электрлі кестеішілік тестілеу жүйесінен басқа сыйымдылықты өлшеу принципіне негізделген ИМС дәнекерлеу шығуларын бақылау жүйесі орналастырылған. ИМС шығуларының әрбір тобына зонд пластина қосылады және осы пластина мен ИМС әрбір шығуы арасындағы сыйымдылық өлшенеді. ИМС шығуын сапасыз дәнекеріосы сыйымдылықтың тез төмендеуіне әкеп соғады.

ИМС әрбір шығу дәнекерінің сапасын бақылау үшін Z1800 құрылғыларында (Teradyne фирмасы) индукционды тестілеу қолданылады. Бағдарлама бойынша ауысатын кішігірім индукционды орауыш бақыланатын ИМС қосылады. Орауышқа 200...500 кГц диапазондағы радиожілік дабыл беріледі. ИМС әрбір шығуына айнамаы кернеу жақындатылады. Өлшеу құралы БП өткізгіштеріндегі дабылды өлшейді. ИМС шығу жолында зондқа дейін сапасыз дәнекер немесе ажырау болса қойылған дабыл болмайды.

Бақылау операцияларын жасау өнімнің өзіндік бағасын көтереді. Осының алдында сипатталған бақылау тәсілдерінің әрқайсысы өзінің артықшылықтары мен кемшіліктері бар. Ең жақсы бақылау стратегиясын тестілеу уақытын, оның тиімділігі мен қажетті шығындары есебінен технологиялық желі бойынша түрлі жүйелерді тиімді бөлумен құрамдастырылған амал қамтамасыз етеді.

## **Бақылау сұрақтары**

Тандамалы бақылау жасау кезінде тандау көлемін қалай анықтайды?

РЭҚсапасын бақылауда Парето диаграммасы не үшін және қалай пайдаланылады?

Себеп-салдар диаграммасын қалай құрастырады?

## ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТ:

1. ГРЭҚ заманауи құралдарымен РЭҚ блоктары мен түйінділерін автоматтандырылған жобалау / И. Г. МIRONENKO, В. Ю. Суходейинльский, С. С. Соколов және т.б.; И.Г.МIRONENKO. ред.— М. Жоғ. мектеп., 2002.
2. *Баканов Б. Ф.* 1. Радиоэлектрондық құрылғылардың жобалау және технологиясының негіздері / Г.Ф.Баканов, С.С.Соколов, В.Ю.Суходейинльский; И.Г.МIRONENKO ред. — М. : «Академия» баспа орталығы, 2007.
3. *Баканов Г. Ф.* Фотолитография / Г. Ф. Баканов, Г. В. Петрова. — СПб. : Баспа СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2002.
4. *Барыбин А.А.* Электронды құрылғылардың физикалық-технологиялық құралы/ А.А.Барыбин, В. Г. Сидейнров. — СПб. : Баспа «Лань», 2001.
5. Техникадағы діріл : Анықтама. В 6 т. ред. К. В. Фролова. Т. 6. — М. : Машиножасау, 1995.
6. Сапаны жалпы басқару/ О.П.Глудкин, Н. М.Горбунов, А. И. Гуров, Ю. В. Зорин; ред. О. П. Глудкина. — М. : Радио және байланыс, 1999.
7. *Белль П.П.* Құрастыру және микроминиатюризация РЭА / П. П.Гелль, Н. К. Иванов-Есипович. — Л. : Энергоатомиздат. Ленинград. отд-ние, 1984.
8. *Болубев Б. П.* Дозиметрия және иондық сәуледен қорғану / Б. П. Голубев. — М. : Энергоатомиздат, 1986.
9. *Дульнев Б.Н.* Құрылғылардың жылу режимдерін есептеу әдістері/ Г. Н.Дульнев, В. Г. Парфенов, А. В. Сигалов. — М. : Радио және байланыс, 1990.
10. Радиоэлектрондық, электронды-есептеуіш аппаратуралар және сынау құрылғыларды сынау / О.П.Глудкин, А. Н. Енгальцев, А. И. Коробов, Ю. В. Трегубов; под ред. А. И. Коробова. — М. : Радио және байланыс, 1987.
11. *Калантаров П. Л.* Индуктивті есептеу: Анықтама / П. Л. Калантаров, Л.А. Цейтлин. — Л. : Энергоатомиздат, 1986.
12. *Князев А.Д.* Радиоэлектронды жәнеэлектрмагнитті байланысты есепке ала отырып құрастыру / А. Д. Князев, Л. Н. Кечиев, Б. В. Петров. — М. : Радио және байланыс, 1989.
13. *Козлов Б. А.* Радиоэлектроника және автоматика аппаратурасының сенімділік есептеуіш анықтамасы/ Б.А.Козлов, И.А. Ушаков. — М. : Сов. радио, 1975.
14. *Ляровский В. Ф.* Электрлік байланыстар: Анықтама / В. Ф. Ляровский, О. Б. Мурадян. — М. : Радио және байланыс, 1988.
15. *Маслов Б. Б.* Енетін заттармен дефектоскопия / Б. Г. Маслов. — М. : Жоғ. мектеп, 1991.

16. Бұзбайтын бакылау: Анықтама. В 7 т. Жалпы ред. В. В. Ключева. — М. : Машиножасау, 2003.
17. *Овсищев П. И.* РЭА негізгі құрылымы / П.И.Овсищев. — М.: Радио және байланыс, 1988.
18. *Петров К. С.* Радиоматериалдар, радиоқұрамдауыштары және электроника / К.С.Петров. — СПб. : Питер, 2003.
19. *Петрунин И.Е.* Байлныстыру кезіндегі физико-химиялық процестер/ И.Е.Петрунин. — М. : Жоғ.мектеп, 1972.
20. *Полонский Н.Б.* РЭА-ге электромагниттік экрандарды құрастыру/ Н.Б.Полонский. — М. : Радио және байланыс, 1979.
21. Пьезоэлектрлік резонаторлар : Анықтама / В. Г.Андросова және басқалары; ред. В. Г. Андросова. — М. : Радио және байланыс, 1992.
22. РЭА құрылым анықтамасы: құрастырудың жалпы қағидалары/ ред. Р. Г. Варламова. — М. : Сов. радио, 1980.
23. Өндірісті автоматтандыру және радиоэлектронды құрылғылардың технологиясы /А. П. Достанко, В.Л.Ланин, А.А.Хмыль, Л. П. Ануфриев ; жалпы ред. А. П. Дейінстанко. — Мн. : Жоғ.мек., 2002.
24. *Фридман Е.И.* Радиоэлектронды аппаратураның герметизациясы/ Е. И. Фридман. — М. : Энергия, 1978.

# ТАҚЫРЫПНАМА

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| Алғы сөз.....                   | 3 |
| Негізгі қысқартулар тізімі..... | 4 |

## I БӨЛІМ. РАДИОЭЛЕКТРОНДЫ ҚҰРАЛДАР ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫ

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 тарау. Электрорадиоқұрамдауыштар.....                                    | 5  |
| 1.1 Электрорадиоқұрамдауыштар және радиоэлектронды құралдар .....          | 5  |
| 1.2. Электрорадиоқұрамдауыштардың түрлері және олардың параметрлері.....   | 6  |
| ЭРҚ электр параметрлері.....                                               | 7  |
| ЭРҚ конструктивті және эксплуатационды параметрлері.....                   | 11 |
| 1.3. Резисторлар.....                                                      | 12 |
| 1.4. Конденсаторлар.....                                                   | 17 |
| 1.5. Индуктивтілік орауыштары мен трансформаторлар.....                    | 24 |
| Микроэлектроника құралдарымен индуктивті құрамдауышты жүзеге асыру.....    | 29 |
| Индуктивтілік орауыштардың зиянды параметрлері.....                        | 30 |
| Магнит сымдар.....                                                         | 32 |
| 1.6. Пьезоэлектр элементтер.....                                           | 33 |
| 1.7. Коммутацион құрылғылар.....                                           | 38 |
| 1.8. Жартылай Өткізгіш Диодтар.....                                        | 42 |
| ВАХ тура және қайтарымды бұтақтарда жұмыс істейтін ЖӨД.....                | 43 |
| ВАХ тура бұтағында жұмыс істейтін ЖӨД.....                                 | 45 |
| ВАХ қайтарымды бұтағында жұмыс істейтін ЖӨД.....                           | 47 |
| Z- и N-түріндегі ВАХ ЖӨД.....                                              | 49 |
| Конструкторлық құжаттамада ЖӨД белгіленуі.....                             | 52 |
| 1.9. Транзисторлар.....                                                    | 53 |
| Биполярлы транзисторлар.....                                               | 53 |
| Қыр транзисторлары.....                                                    | 56 |
| РЭҚ құрылыстарында қыр транзисторларды пайдалану тәртібі.....              | 57 |
| Транзисторлардың шартты белгіленуі.....                                    | 57 |
| 1.10. Интегралды микрокестелер.....                                        | 58 |
| Сандық ИМС.....                                                            | 59 |
| Аналогты ИМС.....                                                          | 61 |
| Конструкторлық құжаттамада ИМС шартты белгіленуі.....                      | 63 |
| 1.11. ЭРҚ өте жоғары жиілікті құрылғылар мен функционалды электроника..... | 64 |
| 1.12. Импортты электрорадиоқұрамдауыштар.....                              | 66 |

## 2 тарау. Радиоэлектронды құрылғылардың конструкциялары.....68

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.РЭҚ функционалды және конструктивті белгілер бойынша<br>жіктелімі.....                      | 68 |
| 2.2.РЭҚ жалпы сипаттамасы және олардың құрылыстары мен<br>технологияларының даму кезеңдері..... | 70 |
| 2.3. РЭҚ өмір сүру кезеңі .....                                                                 | 72 |
| 2.4. РЭҚ жобалау, өндіріс және эксплуатациялау объектісі.....                                   | 73 |
| 2.5. РЭҚ салмақ түсетін құрылыстар.....                                                         | 75 |
| 2.6. РЭҚсалмақ түсетін құрылыстарының дамуы.....                                                | 76 |
| 2.7. Құрылыс жүйелерін қалыптастыру принциптері.....                                            | 78 |
| 2.8. Баспа платаларының құрылыстары және коммутация тәсілдері.....                              | 81 |
| 2.9. Конструкторлық құжаттама.....                                                              | 83 |
| Стандарттау негіздері.....                                                                      | 83 |
| Құрылыс құжаттамасының түрлері.....                                                             | 86 |

## 3 тарау. Радиоэлектронды құралдардың жылу режимдерін қамтамасыз ету..... 92

|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| 3.1. Жалпымәліметтер.....                              | 92  |
| 3.2. Жылуды алмастыру механизмдері .....               | 93  |
| Кондуктивті жылу алмастыру.....                        | 94  |
| Конвективті жылу алмастыру.....                        | 95  |
| Сәулелеумен жылу алмастыру .....                       | 97  |
| 3.3. РЭҚжылу режимдерін қамтамасыз ету құралдары ..... | 100 |
| Салқындату құралдары.....                              | 103 |
| Термостаттау құралдары.....                            | 106 |
| 3.4. РЭҚ жылу режимдерінің есебі.....                  | 108 |
| 3.5. РЭҚ стационарлы жылу жазықтарын үлгілеу.....      | 112 |

## 4 тарау. Радиоэлектронды құралдарды ылғалдылықтан қорғау және тұмшалау .....115

|                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1. Ылғалдың өту механизмдері.....                                     | 115 |
| 4.2. РЭҚ ылғалдылықтан қорғау және тұмшалау тәсілдері мен амалдары..... | 119 |
| ЭРҚ корпуссыз ылғалдылықтан қорғау.....                                 | 119 |
| Корпуссыз тұмшалау амалдары .....                                       | 124 |
| Коррозияға қарсы және декоративті жабын.....                            | 127 |
| Ажырайтын және ажырамайтын корпусстарда тұмшалау.....                   | 131 |
| 4.3. РЭҚ ылғалдылығын өлшеу және тұмшалануын бақылау.....               | 132 |
| Ылғалдылықты тікелей өлшеудің амалдары .....                            | 132 |
| Ылғалдылықты жанама өлшеудің амалдары .....                             | 133 |
| Тұмшалауды бақылаудың амалдары .....                                    | 135 |

## 5 тарау. Радиоэлектронды құралдарды механикалық әсер етуден қорғау.....139

|                                                                                        |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1. РЭҚ әсер ететінмеханикалық кернеулер .....                                        | 139 |
| 5.2. РЭҚқұрылыстары мен олардың есеп модельдері .....                                  | 141 |
| 5.3. Құрылыстардың динамикалық жағдайларының түрлері мен оларды<br>талдауамалдары..... | 144 |

|                                                                                      |                |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| 5.4. Пластиналы құрылыстардың динамикалық жағдайларын талдау .....                   | 145            |
| Ерік ауытқылардың режимі.....                                                        | 145            |
| Амалсыз ауытқулардың режимі .....                                                    | 147            |
| 5.5. Салмағы топталған механикалық құрылыстардың динамикалық жағдайларын талдау..... | 149            |
| Механикалық жүйенің кинематикалық қозуы.....                                         | 150            |
| Механикалық жүйеге соққылық әсер ету .....                                           | 151            |
| Қатты сызықсыз элементтері бар құрылыстардың амалсыз ауытқулары.....                 | 153            |
| 5.6. РЭҚвибрация мен соққылардан қорғау амалдары .....                               | 156            |
| Қорғаудың конструктивті амалдары.....                                                | 156            |
| Амортизаторлар көмегімен РЭҚ қорғау.....                                             | 159            |
| Белсенді виброқорғаныс жүйелері .....                                                | 162            |
| 5.7. Бейтарап виброқорғаныс жүйелері параметрлерін есептеу .....                     | 163            |
| Статистикалық режимде виброқорғаныс жүйелері параметрлерін есептеу.....              | 164            |
| Динамикалық режимде виброқорғаныс жүйелері параметрлерін есептеу.....                | 166            |
| <br><b>6 тарау. Радиоэлектронды құралдарды иондаушы сәулеленуден қорғау.....</b>     | <br><b>168</b> |
| 6.1. Жалпы мілеметтер.....                                                           | 168            |
| 6.2. ИС жалпы сипаттамасы, құрамы мен параметрлері.....                              | 169            |
| 6.3. ИС заттармен өзара қатынасу процесстері.....                                    | 171            |
| Зарядталған бөлшектердің заттармен өзара қатынасы.....                               | 171            |
| Нейтронды сәулеленудің заттармен өзара қатынасы.....                                 | 173            |
| Рентген және i-сәулеленудің заттармен өзара қатынасы.....                            | 175            |
| 6.4. Радиотехникалық материалдардың радиационды эффектілері мен зақымданулары.....   | 176            |
| Радиотехникалық материалдардың радиационды тұрақтылығы.....                          | 176            |
| ЭРҚ радиационная тұрақтылығы.....                                                    | 179            |
| 6.5. ИС әсерінен РЭҚ қорғау амалдары.....                                            | 184            |
| Тікелей экрандау.....                                                                | 184            |
| РЭҚ нейтронды және у-сәулеленуден қорғау.....                                        | 185            |
| <br><b>7 тарау. Кедергі қорғаныш пен шу басу негіздері .....</b>                     | <br><b>188</b> |
| 7.1. Жалпы мәліметтер.....                                                           | 188            |
| 7.2. Кедергі мен шу көздері, тапсыру жолдары мен оларды басу амалдары.....           | 188            |
| Кондуктивті зиянды байланыс.....                                                     | 189            |
| Зиянды конструктивті байланыстың пайда болу шарттары .....                           | 189            |
| Кедергі басқыш құрамдауыштар мен фильтрлер.....                                      | 191            |
| Сериялы кедергі басқыш ЭРҚ.....                                                      | 192            |
| Екі сымды сызықта симметриялы емес басу.....                                         | 195            |
| Сандық құрылғыларда коректену тізбегінде кедергіні филтрлеу.....                     | 197            |

|                                                                              |            |
|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Жақын және алыс аумақтарда электромагнитті жазық арқылы зиянды байланыс..... | 198        |
| Зиянды көлемдік байланыс .....                                               | 199        |
| Зиянды индуктивті байланыс .....                                             | 200        |
| Алыс аумақтарда электромагнитті жазық арқылы зиянды байланыс.....            | 203        |
| 7.3. Электрлік және магнитті жазықтарды экрандау.....                        | 203        |
| Төмен жиілікті жазықтарды экрандау.....                                      | 204        |
| Магнитті жазықтың ВЧ экрандау.....                                           | 205        |
| Өтеу механизмі.....                                                          | 205        |
| Сіңіру механизмі.....                                                        | 206        |
| Тойтарыс беру механизмі.....                                                 | 207        |
| 7.4. РЭҚ электромагнитті экрандарының құрылғылары.....                       | 208        |
| Экран құрылғыларының түрлері.....                                            | 208        |
| Экрандарды өндіру үшін материалдар .....                                     | 209        |
| Экрандаудың тиімділігіне түйіс пен тесіктердің әсері.....                    | 212        |
| <b>8 тарау. Радиоэлектронды құралдар сенімділігінің негіздері.....</b>       | <b>214</b> |
| 8.1. Сенімділіктің негізгі мағыналары .....                                  | 214        |
| 8.2. Сенімділікті сапалы құрамалары мен олардың көрсеткіштері.....           | 216        |
| Мүлтіксіздік пен оның көрсеткіштері .....                                    | 216        |
| Қалпына келушілік пен оның көрсеткіштері.....                                | 218        |
| Төзімділік, сақталғыштық пен олардың көрсеткіштері.....                      | 219        |
| 8.3. Бас тарту мен қалпына келушілік ағындарының модельдері.....             | 220        |
| 8.4. РЭҚ сенімділігінің көрсеткіштерін өлшеу .....                           | 223        |
| РЭҚ сенімді модельдері.....                                                  | 224        |
| Бас тарту ағындарының математикалық модельдерін таңдау.....                  | 225        |
| ЭРҚ сенімділігі.....                                                         | 225        |
| Кенет бас тарту жағдайында сенімділік көрсеткіштерінің есебі.....            | 226        |
| 8.5. РЭҚ сенімділігінің белгіленген деңгейін қамтамасыз ету амалдары.....    | 227        |
| Кестелерді жобалау кезеңінде РЭҚ сенімділігін қамтамасыз ету.....            | 228        |
| Құрылыстарды жобалау кезеңінде РЭҚ сенімділігін қамтамасыз ету.....          | 230        |
| Өндеу және эксплуатациялау кезеңінде РЭҚ сенімділігін қамтамасыз ету.....    | 232        |
| <b>9 тарау. Радиоэлектронды құралдар сынау.....</b>                          | <b>234</b> |
| 9.1. Сынау жіктелімі.....                                                    | 234        |
| 9.2. Сынау кезінде әсер ететін факторлардың параметрлері .....               | 235        |
| 9.3. Сынауларды өткізу тәртібі .....                                         | 236        |
| 9.4. Температуралық сынаулар.....                                            | 237        |
| 9.5. Ылғал төзімділігіне сынау .....                                         | 238        |
| 9.6. Механикалық сынаулар.....                                               | 240        |
| Вибрацияның әсер ету төзімділігіне сынау.....                                | 241        |
| Соккының әсер ету төзімділігіне сынау.....                                   | 243        |
| Сызықтық тездеткіштері әсері төзімділігіне сынау.....                        | 244        |
| Акустикалық шудың әсері төзімділігіне сынау.....                             | 244        |
| 9.7. Сенімділікке сынау. Сынаулар түрлері.....                               | 245        |

## II. ТАРАУ РАДИОЭЛЕКТРОНДЫ ҚҰРАЛДАРДЫ ӨНДІРУ

### 10 тарау. Радиоэлектронды құралдарды өндірудің технологиялық

|                                                                                                           |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>жүйелері.....</b>                                                                                      | <b>250</b> |
| 10.1. Өндіру процесінің құрылысы. РЭҚ өндірудің технологиялық операциялар жіктелімі.....                  | 250        |
| 10.2.Технологиялық процесстер мінездемесі.....                                                            | 262        |
| 10.3.Технологиялық құжаттама.....                                                                         | 265        |
| 10.4. РЭҚ құрылыстарының технологиялылығы.....                                                            | 267        |
| <b>11тарау. Электрорadio-құрамдауыштарды өндірудің технологиялық процесстері.....</b>                     | <b>269</b> |
| 11.1.Конструктивті -технологиялық белгілер бойынша интегралды кестелер жіктелімі .....                    | 269        |
| 11.2.Гибридты ИМС өндірудің технологиялық операциялары.....                                               | 271        |
| 11.3.Конфигурацияның беттерін жасаудың технологиялық операциялары.....                                    | 280        |
| 11.4.Жартылай өткізгіш ИМС өндірудің технологиялық процесстері.....                                       | 284        |
| 11.5.Жазықтық транзисторларда ИМС өндірудің технологиялық процесстері.....                                | 292        |
| 11.6.Индиктивтілік, трансформаторлар, кедергіштердің орауыштарын өндірудің технологиялық процесстері..... | 295        |
| <b>12тарау.Баспаплаталары.....</b>                                                                        | <b>302</b> |
| 12.1.БП тағайындалуымен и жіктелімі.....                                                                  | 302        |
| 12.2. БП өндірудің технологиялық процесстері.....                                                         | 307        |
| ОБП өндіру технологиясы.....                                                                              | 307        |
| ДБП өндіру технологиясы.....                                                                              | 309        |
| МБП өндіру технологиясы.....                                                                              | 315        |
| Иілгіш БП өндіру технологиясы.....                                                                        | 316        |
| Металл негіздегі БП.....                                                                                  | 318        |
| Жеке өндірісті БП.....                                                                                    | 319        |
| <b>13тарау. РЭҚ жинақтау, монтаж және реттеу.....</b>                                                     | <b>323</b> |
| 13.1.Жалғасулар жіктелімі мен оларды қолдану салалары.....                                                | 323        |
| 13.2.РЭҚ құрылыстарында механикалық жалғасулар.....                                                       | 324        |
| 13.3.РЭҚ құрылыстарында электрлі жалғасулар.....                                                          | 327        |
| Электрлі жалғасулардың түрлері мен параметрлері .....                                                     | 327        |
| Дәнекерленген электрлі жалғасулар.....                                                                    | 332        |
| 13.4. БП жинақтау және монтаж .....                                                                       | 343        |
| 13.5. Ішкі және блок аралық монтаж.....                                                                   | 356        |
| 13.6. РЭҚ реттеу.....                                                                                     | 358        |
| <b>14 тарау. РЭҚ сапасы.....</b>                                                                          | <b>362</b> |
| 14.1. РЭҚ сапасын бақылау.....                                                                            | 362        |
| 14.2. РЭҚ сапасының менеджменті.....                                                                      | 364        |
| Сапаны басқарудың амалдары.....                                                                           | 364        |
| Сапа менеджменті жүйесінің концепциясы.....                                                               | 365        |
| 14.3. РЭҚ бақылаудың техникалық амалдары.....                                                             | 371        |
| <b>Әдебиеттер тізімі.....</b>                                                                             | <b>377</b> |

*Оқу басылымы*

**Баканов Геннадий Федорович,  
Соколов Сергей Сергеевич**

**Радиоаппаратураны құрастыру  
және өндіру**

**Оқулық**

**3-і басылым, стереотипті**

**Редакторлар *Н. Е. Овчеренко, Т. П. Манухина*  
Техникалық редактор *Н. И. Горбачёва*  
Компьютерлік беттеу: *Л. М. Беляева*  
Корректорлар *В.А.Жилкина, Н.В. Савельева***

Басылым № 103110325. Баспаға 09.07.2015. Формат 60 x 90/16 қол қойылды.  
«Таймс»гарнитурасы. Офсетті баспа. Қағаз офс. № 1. Усл. печ. л. 24,0.  
Тираж 300 дана. Заказ №

«Издательский центр «Академия» ЖШҚ. [www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru)  
129085, Мәскеу, пр-т Мира, 101В, стр. 1.  
Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарлы-эпидемиологиялық қорытынды № РОСС RU. АЕ51. Н16679 25.05.2015.

Басылды: «Т8 Издательские ТехнологИС» ашық акционерлік қоғамы  
109316, Мәскеу, Волгоградский проспектісі, 42 үй, 5 корпус.  
Тел.: (495) 221-89-80.