

**Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi**

**Azərbaycan Texniki Universiteti**

Elektrik təchizatı və İzolyasiyası kafedrası

dosent Həsənov Qara Əbdüləzim oğlu

“Elektrik izolyasiya sistemlərinin hesablanması və layihələndirilməsi”

Fənnindən əlyazma

Mühazirə mətnləri

Təhsil Nazirliyinin 2009 cu il tarixli Nö-li əmri ilə bakalavr dərəcəli mühəndis hazırlığı üçün təsdiq edilmiş tədris proqramı əsasında tərtib edilmişdir

**Bakı – 2011**

## Münədicat

Giriş .....	3
<b>1 ELEKTRİK İZOLYASIYA KONSTRUKSIYALARININ HESABLANMASININ TEXNİKİ-İQTİSADİ ƏSASLARI .....</b>	<b>4</b>
1.1 Orta illik hesabat xərcləri .....	4
1.2 Elektrik şəbəkə qurğularının texniki iqtisadi göstəriciləri .....	7
1.3 Elektrik izolyasiya konstruksiyalarının etibarlılıq xarakteristikaları. .....	10
1.4 Bərk izolyasiyanın «yaşama» prosesi. ....	13
1.5 Xarici izolyasiyanın sınaqları və sınaq usulları. ....	16
1.6 Yüksək gərginlik sınaqları .....	20
<b>2. DAXILI İZOLYASIYA. ....</b>	<b>26</b>
2.1 Bərk və kombinə edilmiş izolyasiya. ....	26
2.2 Bərk izolyasiyanın elektrik, mexaniki və istilik xassələri .....	27
2.3 Daxili izolyasiyanın istilik və nəmlənmə təsirindən köhnəlməsi. Elektrik-kimyəvi deşilmə. ....	30
2.4 Yağ-kağız izolyasiyasında gərginlik paylanması hesabları	32
2.5 Maye izolyasiyada digər elektrik prosesləri. ....	35
2.6 Kağız əsaslı çox qatlı izolyasiyanın elektrik möhkəmliyinin artırılması yolları. ....	37
2.7 Mayelərdə bərk izolyasiyanın səthi boşalmaları. ....	42
<b>3. QURĞU VƏ KONSTRUKSIYALARIN ELEKTRİK SAHƏLƏRİ</b>	
3.1 Bircinsli və qeyri bircinsli elektrik sahələri .....	45

## Giriş

Elektrik enerjisinin tətbiq sahələrinin genişlənməsi, təsərifatların, mexanizmlərin və istehsalın avtomatlaşmasının inkişafı elektrik stansiyalarının güclərinin artmasını tələb edir.

Elektrik enerjisinin istehsalında aşağı kalorili yanacaq ilə yanaşı, hələ uzun müddət mazut, qaz və atom yanacaqlarından istifadə ediləcəkdir. Ona görə yeni tikilən elektrik stansiyaları yanacaq mədənlərinə yaxın və ya ekoloji amillərə görə şəhər və qəsəbələrdən, sənaye mərkəzlərindən çox uzaqlarda yerləşdirilir. Həmin elektrik stansiyalarında hasil edilən elektrik enerjisini isə istehsal sahələrinə, şəhər və kəndlərə nəql etmək üçün yüksək gərginlikli elektrik ötürücü hava və kabel xəttləri istifadə edilir. Enerji ötürülməsində itkiləri azaltmaq məqsədi ilə gərginliyin yüksəldilməsi, cərəyanın isə azaldılması tələb olunur. Bunun üçün elektrik stansiyalarında generatorla blok sxemdə işləyən yüksəldici əsas transformatorlar istifadə edilir. Elektrik stansiyalarında əsas yüksəldici transformatorlarla yanaşı xüsusi sərfiyat transformatorları da istifadə edilir. Beləliklə elektrik stansiyalarında lokal olaraq, şəbəkənin bütün elementləri : - paylayıcı qurğular, boşaldıcılar, açar, ayırıcı, reaktorlar, şin sistemləri, gərginlik və cərəyan ölçü transformatorları istifadə edilir.

Hazırda ölkəmizdə gərginliyi 220, 330 və 500 kV-luq yüksək gərginlikli elektrik ötürücü hava xəttləri və 110 kV-a qədər kabel xəttləri istifadə edilir. Yaradılan enerji sistemləri elektrik stansiyalarında qurulan generatorların qoyuluş güclərinin effektiv istifadə əmsalının artırılmasına xidmət edirlər. Elektrik stansiyaların güclərinin artırılması, ölkə daxili çevik əlaqəli, vahid enerji sisteminin yaradılması elektrik avadanlığının etibarlılığı və iqtisadi səmərəliliyinə olan tələbləri artırır. Stansiyaların vahid gücünün artımı, elektrik avadanlığının etibarlılığı və uzunömürlülüüyü xeyli dərəcədə elektrik izolyasiyasının imkanlarından asılıdır. Elektrik izolyasiyasının ölçülərinin kiçildilməsi, keyfiyyətinin və etibarlılığının artırılması enerji sistemlərinin iqtisadi səmərəliliyinin artmasına səbəb olur.

Kimya sənayesi fiziki-mexaniki kompleks xassələrə malik olan, çoxlu sayda yüksək keyfiyyətli, polimer tərkibli elektrik izolyasiya maddələri istehsal edir. Onlar yağ-kağız, yağ-baryer və digər kompleks tərkibli izolyasiya materialları ilə yanaşı tətbiq edilir. İstifadə olunan ənənəvi materiallar çox illik istismar sınaqlarından keçmiş və onlar haqqında kifayət qədər texniki-iqtisadi göstəricilər və statistik məlumatlar toplanmışdır. Təzə polimer materiallar üçün isə belə məlumatlar və təcrübələr olmadığından, layihəçilər onların bütün müsbət və mənfi xassələrini nəzərə almalıdırlar.

Bütün bunlar yeni hesabat və layihə metodlarının işlənməsini tələb edir. Elektrik izolyasiyasının ənənəvi layihə metodları, hesabat gərginliyi və elektrik sahə gərginliyinin –  $E_h$  ESG-nin seçilməsinə əsaslanır. Çox hallarda hesabat gərginlikləri kimi, ən böyük işçi gərginlik və ya şəbəkədə tez-tez rast gəlinən ifrat gərginliklər götürülür. Sonuncu hesabat gərginliyi standart sınaq gərginliyi ilə də əvəz edilə bilər. Elektrik sahəsinin hesabat gərginliyi kimi, materialın elektrik möhkəmliyinin ehtiyat əmsalına -  $K_{eh}$  nisbəti kimi qəbul edilir. Ehtiyat əmsalı, materialın istismar xüsusiyyətlərini və tədricən elektrik möhkəmliyinin azalmasını nəzərə alır. Ehtiyat əmsalı elektrik izolyasiya materialının istismar şəraitinin tam nəzərə alınmasını məhdudlaşdırılır.

Texniki inkişaf, yeni elektrik izolyasiya materiallarının tətbiqi və elektrik avadanlıqlarının etibarlılığına olan tələblərin artırılması, artıq layihə mərhələsində izolyasiyanın xidmət müddəti və sıradan çıxmadan işləmə qabiliyyətini qiymətləndirməyə imkan verir.

# 1 Elektrik izolyasiya konstruksiyalarının hesablanması texniki-iqtisadi əsasları

## 1.1 Orta illik hesabat xərcləri

İxtiyari energetik sistem (aparat, elektrik maşını, transformator, kabel, kondensator, elektrik konstruksiyası) iki əsas elementdən təşkil olunur: - elektrik izolyasiyası və keçirici. Elektrik avadlığının elektrik izolyasiyası, onun ölçülərini, iş qabiliyyətini, qəzasız işini, xidmət müddəti və dəyərini təyin edir. Başqa sözlə elektrik izolyasiyası elektrik avadlığının, mütləq tərkib hissəsi kimi, onun işini təmin edir.

Elektrik izolyasiyasının öz funksiyalarını yerinə yetirməsi üçün onlar verilən kompleks tələbləri ödəməlidirlər: Qoyulan tələblər aşağıdakı geniş spektrlərə malikdir:-

- 1) *yüksək elektrik müqaviməti,*
- 2) *aşağı dielektrik nüfuzluluğu,*
- 3) *kiçik dielektrik itkiləri,*
- 4) *çox böyük elektrik möhkəmliyi,*
- 5) *yüksək mexaniki möhkəmlilik,*
- 6) *asan texnoloji istehsal üsulları,*
- 7) *ucuzluğu,*
- 8) *kiçik ölçü və çəkiyə malik olma,*
- 9) *təmir və dəyişdirilməsinin asanlıığı,*
- 10) *xidmət təhlükəsizliyi,*
- 11) *yaxşı istilikötürmə xassəsinin olması,*
- 12) *yüksək kimyəvi davamlılığa malik olmaları, vəs.*

Eyni zamanda, onların təbiətdə çox yayılmış xammal ehtiyatı olmalı, istehsal texnologiyası asan və ekoloji təhlükəsizliyi olmalıdır. Ölçü və çəkiliəri az olmalıdır, montaj və təmiri asan olmalıdır. Göstərilmiş bir sıra göstəricilər biri-biri ilə ziddiyət təşkil edir. Məsələn, kiçik ölçüsü olan izolyasiya çox da böyük elektrik möhkəmliyinə malik ola bilməz. Bu cəhətdən xüsusi materiallar tələb olunur ki, bu da təbiətdə geniş yayılmış xammallarda az təsadüf edilir. İzolyasiyanın hər hansı bir parametərə görə iqtisadi səmərəliliyini və optimal variantlarını yoxlamaq olar. Elektrik möhkəmliyinə görə, aparılmış aşağıdakı analizlər maraqlıdır: - *İstifadə olunan materialın qalınlığı və keyfiyyətin azaldılması, onun elektrik möhkəmliyinin azalmasına səbəb olur. Bu variantda seçilmiş YG konstruksiyası ilkin kapital qoyuluşu ilə sərfəli olsa da, onlara sonrakı illik ayrılmalara və təmir xərsləri artırılmalıdır. Əksinə, yüksək keyfiyyətli və lazımi qədər izolyasiya qalınlığı olan variantda yaxşı ilkin kapital qoyuluşu və müasir texnoloji emal üsulları tətbiq edilməlidir. Bu da illik xərclərə gətirilmiş maliyyətin artmasına səbəb olur. Hər iki halda yaradılan*

*YG konstruksiyasının maliyyəti artır. Ona görə, hər mənada orta dərəcədə sərfəli olan variantın üzərində dayanmaq lazım gəlir.*

Bu kriteriyalara aid tələblərdən biri də elektrik izolyasiyasının montajı, təmiri və dəyişdirilməsinin asan olması və nəhayət sıradan çıxmış izolyasiyanın ekoloji cəhətdən təhlükəsiz olması və ya onun asanlıqla çıxışa verilməsi və məhv edilməsidir.

Qoyulan bütün tələblərin eyni zamanda yerinə yetirilməsi çox hallarda mümkün olmur. Ona görə, həmişə bu tələblərdən əsaslarını ödəyən konstruksiyanın uyğun variantının tapılmasının mümkünlüyü vacibdir. Bunun üçün hesabatlar aşağıdakı qaydada aparılır:

- 1) yeni izolyasiya konstruksiyasının tətbiqindən alınan illik iqtisadi səmərə təyin edilir;
- 2) keyfiyyət və texniki xarakteristikaları nəzərə alınmaqla yeni məmulatın sonusu dəyəri hesablanır;
- 3) texniki-iqtisadi göstəricilərə görə yeni elektrik izolyasiya məmulatının effektivliyinin yekün analiz cədvəli tutulur.

Hesabatın sonuncu bəndi, fərdi yanaşma ilə, mövcud olan konstruksiya əsasında təklif edilən yeni məmulatın hazırlanmasında ən uyğun üsulun seçilməsidir. Yeni məmulata göstərilən əsas funksiyalarının saxlanması ilə və ona çəkilən xərclərin minimal olduğu ən uyğun variantın tapılması funksional analiz məsələsidir. Bu məsələnin həllində məmulatın əsas və köməkçi funksiyaları nəzərə alınır. Sadə yolla məqsədə çatmaq üçün bəzən bir neçə köməkçi funksiyaları nəzərdən atırlar. Mövcud izolyasiya ilə müqayisədə, yeni layihələndirilən izolyasiya məmulatlarının müxtəlif konkret seriyaları üçün minimal xərclərin hesabatları əldə edilir.

Yeni konstruksiyanın tətbiqinin effektivliyi isə bir çox göstəricilərdən asılı olur:-xüsusi kapital qoyuluşu, yanacaq, enerji və material sərfi, müəssisənin istehsal gücünün artırılması, əmək məhsuldarlığının dəyişməsi və s. buraya aiddir.

Əmək məhsuldarlığının artırılması daha yeni və mükəmməl avadanlıqların qoyulması ilə tələb olunan əlavə xərclərə səbəb olur. Təsərrüfat əhəmiyyətli istismar xarakteristikalarının yüksəldilməsi məmulatın hazırlanması üçün keyfiyyətli materialın seçilməsi və ona çəkilən xərclərdən asılıdır. Bəzən bu məqsədlə nəyin daha səmərəli olduğunu tapmaq üçün seçim aparmaq lazım gəlir:- aşağı keyfiyyətli pis məmulatın istismarına çəkilən illik xərclərin artırılması və ya keyfiyyətli məmulatın alınması üçün ilkin kapital qoyuluşunun artırılması?

İllik xərclər və ya bir dəfəlik kapital qoyuluşunun müqayisəsi üçün hesabatlarda bir ilə götürülmüş xərclər usulundan istifadə edilir [2].

Yeni izolyasiya konstruksiya və ya elementinin hesablanması və layihələndirilməsi zamanı onların texniki-iqtisadi səmərəliliyi və illik xərclərə

gətirilmiş məsrəfləri dəyərləndirilir. Yeni layihələndirilən elementi hesabat elementi, onun mövcud analogunu isə baza elementi kimi qəbul etdikdə, iqtisadi effektivliyi aşağıdakı ifadə ilə yazmaq olar:

$$I_e = M_b \cdot \frac{B_h}{B_b} \cdot \frac{P_b + E_n}{P_h + E_n} + \frac{(A_b - A_h) - E_n \cdot (K_h - K_b)}{P_h + E_n} - M_h \quad (1.1.1)$$

burada  $M_b$ - baza məmulatın xərci,  $\frac{B_h}{B_b}$  - əmək məhsuldarlığının artım əmsali,

$\frac{P_b + E_n}{P_h + E_n}$  -baza və yeni hesablanmış məmulatın xidmət müddəti əmsali,  $(A_b - A_h)$

- baza və yeni hesablanmış məmulat üçün illik ayırmalar,  $E_n \cdot (K_h - K_b)$  - baza və yeni hesablanmış məmulat üçün kapital qoyuluşu,  $M_h$  - yeni hesablanmış məmulate çəkilən xərcdir.

Bu kriteriyalara aid tələbatlardan biri də elektrik izolyasiyasının montajı, təmir və dəyişdirilməsinin asan olmasıdır.

Montaj və nəqliyyat xərcləri izolyasiya konstruksiyasının ölçülərindən asılıdır. Kiçik ölçülü, yüngül konstruksiyalar daha əlverişlidir.

Nəhayət, sıradan çıxmış izolyasiyanın ekoloji cəhətdən təhlükəsiz bir şəkildə məhv edilməsi də nəzərə alınmalı əsas məsələlərdəndir.

## 1.2. Elektrik şəbəkə qurğularının texniki iqtisadi göstəriciləri

Texniki-iqtisadi hesabatların məqsədi, qarşıya qoyulmuş energetik məsələnin həm texniki, həm də iqtisadi cəhətdən optimal həllinin tapılmasıdır. Bu bir sıra variantların həllinin qarşılaşdırılması yolu ilə əldə edilir. Ona görə bütün həllərin nəticələri müqayisə edilən bir şəkildə gətirilməlidir.

Kapital qoyuluşunun müqayisə kriteriyası kimi, hər bir variant üçün gətirilmiş illik xərclər qəbul edilir:

$$M_a = A_a + E_n \cdot K_a \quad (1.1.2)$$

burada  $M_a$  -  $a$  variantına aid bir ilə gətirilmiş xərclər,  $A_a$ -  $a$  variantına aid illik ayırmalar-təmir və amortizasiya xərcləri,  $K_a$  -  $a$  variantı üçün cəmi kapital qoyuluşu,  $E_n$  –normativ əmsal, enerteqtik avadanlığın 7-8 ildə öz xərcini ödəməsini göstərən əmsaldır, 0,12 qəbul edilir.

Hava və kabel xəttlərinin texniki iqtisadi göstəriciləri, onların enerji daşıma qabiliyyətləri, dövrlər sayı, məfillərin en kəsiyi, qızmaya görə buraxıla bilən cərəyanların qiyməti və s. kimi faktorlardan asılıdır. Yüksək

gərginlik izolyasiyası üçün bunlar, izolyasiyanın xidmət müddəti ərzində qurğunun etibarlı işləməsinin göstəriciləridir.

Layihələndirmə mərhələsində, elektrik xətlərinin hesabat yükü təyin edildikdən sonra, nominal gərginlik, dövrlər sayı, xətlərin dayanıqlı şəkildə paralel işləmə şərtləri ödənilməklə texniki iqtisadi əsaslandırma və analizlər aparılır. Hava və ya kabel xəttinin seçilməsinin bir sıra texniki məsələləri, illik xərclərə gətirilmiş məsrəflərin müqayisəsindən təyin edilir. Məfillərin və kabel damarlarının müqayisə olunan ən kəsikləri üçün güclərin iqtisadi intervalları müəyyənləşdirilir. Hər bir müqayisə olunan nümunə üçün minimal xərclərə gətirilən məsrəflər ilkin kapital qoyuluşu, illik istismar xərcləri və ammortizasiya ayrılımları, müxtəlif səbəblərdən dəyən ziyanlıq xərcləri kimi amillərlə ölçülür. Bu amillər optimal parametrlərin seçilməsindən çox asılıdır.

Məlumdur ki, ayrı-ayrılıqda elektrik veriliş hava və kabel xətlərinin müxtəlif variantlarının seçilməsində, hər birinin öz xüsusiyyətləri ilə bağlı amillər rol oynayır. Məsələn, hava xətlərinin nominal gərginlikləri, ötürülən güc- $P$  və məsafə- $L$  arasında optimallaşma şərti kimi, bir asılılıq mövcuddur. Bu asılılıqlar aşağıdakı formulalarda ifadə edilmişdir: - 250 km uzunluqda və

60 MVt-a qəvər gücdə,  $U_{nom} = 4,34 \sqrt{L + 16 \cdot \frac{P}{n}}$  - istifadə edilən dusturu *Ştill* tərəfindən verilmişdir. 60 MVt-dan böyük güc, uzunluğu 500 km-ə qədər

olanda,  $U_{nom} = \sqrt{\frac{P}{n} (100 + 15 \sqrt{L})}$  - *Zalesski* tərəfindən təklif edilir.

Ümumiyyətlə isə, 35-1150 kV arasında mövcud olan bütün nominal gərginliklər şkalası üçün  $U_{nom} = \frac{1000}{\sqrt{500/L + 2500 \cdot n/P}}$  - *İllarionov* düsturları tətbiq edilir. Bu ifadələrdə  $n$  HX- i dövrlərinin sayıdır.

Eləcə də kabel xətlərinin həmin parametrləri arasında başqa bir asılılıq vardır.

Lakin hər iki variantın ümumi xüsusiyyətlərini göstərən amillər də vardır. Bir sıra tədqiqatlar göstərmişdir ki, müxtəlif konstruksiyalarda cərəyanın universal iqtisadi sıxlığını almaq mümkün deyildir. Çünki bu kəmiyyət, 1 km xəttin dəyəri ilə aktiv müqavimət və elektrik enerji itkilərinin verdiyi qiymətlər fərqiindən təyin edilməlidir. Doğrudan da, iki  $S_1$  və  $S_2$  en kəsikləri müqayisə edilərsə, gətirilmiş xərclər müqayisə edilməli və iqtisadi cəhətdən sərfəli olanı seçilməlidir. Elektrik veriliş xətləri üçün kapital qoyuluşu aşağıdakı kimi təyin edilir: -  $K = (K_1 + K_2 S) \ell$ , burada  $K_1$ - xəttin uzunluğu ilə təyin edilən kapital qoyuluşudur, *manat/km*.  $K_1$  - əmsalı məftilin (damarın) en kəsiyindən asılı deyildir;  $K_2$  - 1km xətt məftili və ya kabel



damarının en kəsiyindən asılı olan əmsaldır,  $\text{manat}/\text{mm}^2 \cdot \text{km}$  –lə ölçülür,  $S$  – mətilin en kəsiyi,  $\text{mm}^2$ ,  $l$ -xəttin uzunluğudur,  $\text{km}$ .

İstehsalda keçiricilərin qızması və taclanma itkiləri, ammortizasiya və xidmət sahələrinə olan illik ayrımlar nəzərə alınarsa sərf olunan toplam xərclər:  $- A = A_q + A_{tac} + A_a$  olar. O cümlədən üç fazlı sistemlərdə qızma:

$$A_q = \frac{3I^2 \cdot \rho \ell}{1000S} \cdot \tau C_e \text{ kimi hesablanır. Burada } I\text{-hesabi cərəyan, } \rho\text{-faz}$$

mətilinin xüsusi müyaviməti  $\text{Om}/\text{km} \cdot \text{mm}^2$ ,  $S$ - mətilin en kəsiyi,  $\text{mm}^2$ ,  $l$ -xəttin uzunluğu,  $\text{km}$ ,  $\tau$ -itki müddəti,  $\text{saat/il}$ ,  $C_e$ -1  $\text{kVt} \cdot \text{saat}$  enerji itkisinin dəyəri,  $\text{manatla}$ .

$$\text{Öz növbəsində taclanma itiləri üçün: } - A_{tac} = K_{tac} \cdot \frac{3I^2 \cdot \rho \ell}{1000S} 8760 \cdot C_e$$

,burada  $K_{tac}$  - taclanma itkilərinin, mətilin qızmasına olan nisbəti kimi hesablanan əmsaldır.

Ammortizasiya ayrımları üçün:  $- A_a = (K_1 + K_2 S) \ell \frac{a}{100}$ , burada  $A_a$ - elektrik verilişinin illik ammortizasiya və xidmət xərclərinin illik ayrımlarıdır.

Öz xərcini çıxartmaq şərti ilə, yuxarıdakı bütün məsrəfləri cəmləmək lazımdır. Onda xidmət müddəti ərzində cəmi məsrəflər :

$$\sum M = K + A \cdot T_n \text{ olacaqdır.}$$

Cərəyanın iqtisadi sıxlığını hesablamaq üçün  $\sum M$ - ifadəsini en kəsiyinə görə diferensiallayıb sifirə bərabər olan tənliyi həll edilir və aşağıdakı iqtisadi sıxlıq alınır:

$$I_{iq} = \sqrt{\frac{10k_2 \cdot (100/T_n + a)}{3\rho C_e (K_1 + K_{tac} \cdot 8760)}} \quad (17.1.2)$$

Ona görə, elektrik veriliş hava xətti və ya kabellər layihələndirilərkən müqayisə edilən variantlar üçün, yuxarıdakı formulalar ilə hesablanan gətirilmiş cəm məsrəflər müqayisə edilməlidir. İllik xərclərə gətirilmiş məsrəflər aşağıdakı formula ilə təyin edilir :

$$M_{il} = K (E_a + E_n) + \frac{p^2 \cdot \alpha^2 r}{1000U^2 \cdot \cos^2 \varphi} M_{ue} + \Delta P_{tac} M'_{ue} + K_d p \cdot t_0 \cdot C_{ziy} \quad (17.1.3)$$

burada  $K_d$  –müxtəlif səbəblərdən enerjinin tələbatçılara verilməyən hissəsinə aid əmsaldır.

### 1.3 Elektrik izolyasiya konstruksiyalarının etibarlılıq xarakteristikaları

Etibarlılıq texniki qurğu və ya məmulatın, təyin olunan müddətdə, öz istismar göstəricilərini saxlamaqla verilmiş funksiyaları yerinə yetirmək qabiliyyətidir. Konstruksiyanın etibarlılığı onun elektrik möhkəmliyi, tutumu, izolyasiya müqaviməti və s. kimi fiziki xassələrindən biridir.

QOST 13377 - ə uyğun olaraq "Texnikada etibarlılıq terminləri"-nə sonralar istifadə edəcəyimiz, aşağıdakı təyinatları gətirək.

*İş qabiliyyəti – məmulatın, texniki sənədlərin tələblərinə uyğun parametrlərlə işçi vəziyyətini saxlamasıdır.*

*İmtina etmə - məmulatın iş qabiliyyətinin pozumla hadisəsidir.*

*Nasazlıq – məmulatın, texniki sənədlərin tələblərinin heç olmasa birini ödəyə bilmədiyi halıdır.*

*Uzunömürlülük – məmulata texniki xidmət və təmirlər olmaqla öz iş qabiliyyətini son həddinə qədər saxlamasıdır.*

*Xidmət müddəti – texniki sənədlərdə göstəriləndi qaydada, son vəziyyətə gələndə qədər məmulatın istismarda qalma və işi yerinə yetirmə qabiliyyətidir.*

*İmtina etmədən işləmə - müəyyən işləmə müddəti ərzində, məcburi dayanma olmadan məmulatın iş qabiliyyətini saxlamasıdır.*

*Uzun müddətli iş – məmulatın davamlı işləməsidir.*

Müəyyən şəraitdə işləyən konkret məmulat üçün, davamlı işləmə və xidmət müddəti konkret kəmiyyətə malikdir. Verilmiş elektrik izolyasiya konstruksiyası (məsələn, keçid izolyatorları) əvvəlcədən naməlum olan, lakin bəlli bir xidmət müddətinə malikdir. Xidmət müddəti materialın keyfiyyəti, izolyasiyanın qalınlığı, cərəyan keçiricisi və izolyasiyanın hazırlanma keyfiyyətindən və digər amillərdən asılıdır. Əvvəlcədən yeni izolyasiya konstruksiyasının xidmət müddətinin asılı olduğu bütün amillərin təsirini təyin etmək mümkün deyildir. Yalnız materialın məlum olan xassələri və oxşar məmulatların istismar təcrübələrinə əsasən, müəyyən dəqiqliklə, təxmini dəyərləndirmə aparmaq olar. Eyni materialdan, vahid texnologiya ilə hazırlanmış bir partiya məmulatdan hər birinin xidmət müddəti, digərindən fərqli bəlli bir müddətə malikdir. Lakin bir partiya məmulatın orta statistik xidmət müddəti tamamilə aydın və bəlli bir rəqəmə bərabər olur. Hesabatla çoxsaylı amillərin xidmət müddətinə təsirini nəzərə almaq mümkün olmadığı üçün, etibarlılığın statistik nəzəriyyəsi geniş tətbiq edilir. Belə ki, imtina etmədən işləmə etimalı doğru olduğunda – verilmiş zaman intervalında məmulatın imtina etməsi baş vermir.

Etibarlılıq nəzəriyyəsində bəzən imtina etimalı, imtina intensivliyi və imtina etimalının sıxlığı (imtina tezliyi) kimi xarakteristikalar istifadə edilir.

İmtina etimalı–göstərilmiş zaman intervalında imtinanın baş verməsinə deyilir.

İmtina intensivliyi - baxılan ana qədər təmirdə olmamış və imtina etməmiş məmulatın, bu andan sonra vahid zamanda imtina etmə etimalıdır.

İmtina tezliyi və ya imtina etimalının sıxlığı – məmulatın vahid zamandakı imtina etimalıdır.

Məmulatın bütün etibarlılıq xarakteristikaları öz aralarında sadə ifadələrlə əlaqəlidir. Məmulatın işdən imtina etməsi və etməməsi isə tam qrup təşkil edən qarşılıqlı hadisələr olduğuna görə:

$$P(\tau)+Q(\tau)=1 \quad \text{olur.} \quad (1.1.4)$$

Burada  $P(\tau)$  – imtina etmədən işləmə etimalı,  $Q(\tau)$ -imtina etimalıdır.

İmtina etimalının sıxlığı və ya imtina tezliyi aşağıdakı ifadə ilə yazılır:

$$a \llbracket \tau \rrbracket = -\frac{dP \llbracket \tau \rrbracket}{d\tau} = \frac{dQ \llbracket \tau \rrbracket}{d\tau} \quad (1.1.5)$$

Deyilənlərə əsasən, imtina hadisələrinin sıxlığını aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$\lambda \llbracket \tau \rrbracket = \frac{a \llbracket \tau \rrbracket}{P \llbracket \tau \rrbracket} = \frac{-\frac{dP \llbracket \tau \rrbracket}{d\tau}}{P \llbracket \tau \rrbracket} = \frac{dQ \llbracket \tau \rrbracket}{1-Q \llbracket \tau \rrbracket} \quad (1.1.6)$$

İmtina etmə hadisəsinin etimalının sıxlığı məlum olarsa, onda izolyzsiya konstruksiyasının imtina və ya imtina etmədən işləmə etimallarını asanlıqla hesablamaq olar:

$$Q \llbracket \tau \rrbracket = \int_0^{\tau} a \llbracket \tau \rrbracket d\tau \quad (1.1.7)$$

$$P \llbracket \tau \rrbracket = 1 - \int_0^{\tau} a \llbracket \tau \rrbracket d\tau \quad (1.1.8)$$

İmtina etmələrin məlum intensivliyinə əsasən, konstruksiyanın imtina etmədən işləmə etimalını oxşar üsulla hesablamaq olar:

$$P \llbracket \tau \rrbracket = e^{-\int_0^{\tau} \lambda \llbracket \tau \rrbracket d\tau} \quad (1.1.9)$$

Uyğun olaraq işdən imtina etmələrin etimalı üçün yazmaq olar:

$$Q \llbracket \tau \rrbracket = 1 - e^{-\int_0^{\tau} \lambda \llbracket \tau \rrbracket d\tau} \quad (1.1.10)$$

(1.1.6) və (1.1.9)-dan imtina intensivliyindən, imtinaların sıxlığını hesablamaq olar:

$$a \leftarrow \int_0^{\tau} \lambda \leftarrow e^{-\int_0^{\tau} \lambda \leftarrow d\tau} \quad (1.1.11)$$

Konstruksiyaların etibarlılığını hesabladığda, nəticələri sadə alınan xarakteristikalar istifadə edilir.

Elektrik izolyasiya konstruksiyaları bir sıra elementlərdən təşkil olur. Məsələn, hopdurulmuş kağız izolyasiyalı güc kəbelləri, cərəyan keçirici damarlar və sıfır damarından, elektrik izolyasiyasından, qurğuşun və ya aliminum qılafdan, möhkəmləndirici zireh və mühafizə örtüyündən ibarət olur. Bir elementin sıradan çıxması (damar, elektrik izolyasiyası) kabelin işinin dərhal pozulmasına və konstruksiyanın sıradan çıxmasına səbəb olur. Digər elementin, mühafizə örtüyü, qılafın (qurğuşun, Al) sıradan çıxması isə, konstruksiyayı dərhal sıradan çıxarmır. Elektrik izolyasiyasının deşilməsi isə, kabelin funksiyasının dayanmasına və abonentin enerjisinin kəsilməsinə səbəb olur. İzolyasiyası deşilən kabel ya dəyişdirilməli ya da təmir edilməlidir. Mühafizə örtüyü və ya qurğuşun qılafı olan kabel isə, bir müddət istifadə edilə bilər. Qurğuşun (Al) qılafın zədələnməsi tədricən nəmlənmə və izolyasiyanın deşilməsi, konstruksiyanın vaxtından əvvəl sıradan çıxmasına səbəb olur. Bu misal konstruksiyada elementlərin imtina etməsinin asılı və asılı olmayan səbəblərini izah edir. Asılı imtinalar, digər elementlərin imtina etməsi ilə etiməl əlaqəsi olanlardır. Yuxarıda göstərilən misalda elektrik izolyasiyasının işdən imtina etməsi, qurğuşun (Al) qılafın zədələnilib, zədələnmədiyindən asılıdır. Qurğuşun (Al) qılafın zədələnməsi isə, başqa elementin imtina etməsindən asılı olmayan bir hadisədir.

Konstruksiyanın işdən imtina etmə etimalı, onun ardıcıl və ya paralel birləşmiş elementlərinin imtina etmə etimalları ilə təyin edilir.

Elementlər ardıcıl birləşdikdə, hər-hansı bir elementin sıradan çıxması bütün konstruksiyanın imtina etməsinə gətirir. Başqa sözlə konstruksiyanın elementləri sağlam olduqda, onun işi etibarlı şəkildə davam edir. Elementləri ardıcıl birləşmiş konstruksiyanın imtina etmədən işləmə etimalı aşağıdakı kimi yazılır:

$$P(\tau) = P_1(\tau) \cdot P_2(\tau) \dots P_n(\tau) = P P_i(\tau), \quad (1.1.12)$$

Burada  $P_1(\tau)$ ,  $P_2(\tau)$ , ...,  $P_n(\tau)$  - elementlərin imtina etmədən işləmə etimalı;  $n$  - konstruksiyada elementlərin sayıdır.

Konstruksiyanın paralel birləşmiş halında, onun işdən imtina etməsi yalnız bütün elementlərin sıradan çıxması zamanı baş verir. Bu halda konstruksiyanın işdən imtina etmə etimalı aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$Q(\tau) = Q_1(\tau) \cdot Q_2(\tau), \dots, Q_n(\tau) = P Q_i(\tau) \quad (1.1.13)$$

Burada  $Q_1(\tau), Q_2(\tau), \dots, Q_n(\tau)$  – elementlərin imtina etmə etimallarıdır,  $n$  - konstruksiyada iştirak edən elementlərin sayıdır.

### 1.4 Bərk izolyasiyanın «yaşama» prosesi

Bərk izolyasiyada elektrik, mexaniki gərginlik, istilik, kimyəvi aqressiv mühitlərin təsiri ilə baş verən hal dəyişikliyinə «yaşama prosesi» deyilir. Bu proses texniki vəziyyətə uyğun olan «yaşama əyrisi» ilə izah edilir. Yaşama əyrisinin riyazi ifadələri bərk dielektrikin termofluktasiya nəzəriyyəsinə əsasən yazılır. Bu nəzəriyyəyə əsasən, bərk dielektriki bir maddə kimi saxlayan rabitələrin qırılmasına səbəb istilik enerjisidir. Bu enerji atomlar arası cazibə enerjisindən böyük olduqda rabitələr qırılmağa başlayır. Qırılan rabitə son anda yenidən bərpa (*rekombinasiya*) oluna bilər. Ona görə işçi temperatur həddlərində olan istilik enerjisi materialların dağılmasına səbəb olmur və ya nəzərə çarpacaq dərəcədə olmur.

İstiliklə eyni zamanda təsir edən mexaniki enerji isə izolyasiyanın dağılmasını sürətləndirir. Mexaniki qüvvə təsir etdikdə atomlar arası məsafə artdığından, qarşılıqlı rabitə enerjisi azalır. Nəticədə rabitənin qırılması üçün lazım olan potensial baryer və tələb olunan istilik enerjisi də azalmış olur. Bu halda qırılan rabitələrin rekombinasiya ehtimalları da azalmış olur. Termofluktasiya nəzəriyyəsinə əsasən mexaniki qüvvə rabitələrin qırılmasını asanlaşdırsa da, onların dağılması üçün əsas rol oynamır. Bunun üçün hər iki qüvvə eyni zamanda təsir etməlidir. Yaşama prosesinin analizi üçün qarşılıqlı cazibə enerjisinin potensial funksiyası  $W(r)$  olan termofluktasiya ifadəsinə baxaq:

$$W(r) = D \left[ 1 - 2e^{-r/a} \right] \quad (1.1.14)$$

burada  $D$  - rabitənin qırılması üçün sərf olunan dissosiasiya enerjisi,  $r$  - atomlar arası dəyişən məsafə,  $R$  - atomlar arası tarazlıq məsafəsi,  $a$  - atomların rəqsi hərəkətinin qeyri harmoniklik əmsəlidir.

Rabitələrə mexaniki dartı qüvvəsi  $f$  təsir etdikdə, atomlar arası məsafələr artır. Bu zaman onlar arasında qarşılıqlı təsir enerjisi üçün aşağıdakı ifadə yazıla bilər:

$$V(r) = W(r) - f \cdot r \quad (1.1.15)$$

Şək.1.1.1-də (1.1.15) tənliyi əsasında qurulmuş əyrilər göstərilmişdir. Atomlar arası qarşılıqlı təsir enerjisinin  $r$ -dən asılılığı göstərir ki,  $f=0$  olduqda rabitənin qırılması üçün məsafəni sonsuz artırmaq lazım gəlir, - şək.4.1.1,  $r_1$  nöqtəsi.  $f=0$  olduqda rabitənin qırılmasına sərf olunan enerji  $D$ -yə bərabərdir. Əgər atomlar arası məsafə  $r_2$ -dən böyük olarsa, rabitə  $f$  - in kiçik qiymətində

qırılar. Bu nöqtədə rabitənin qırılması üçün sərf olunan potensial enerji  $-\Delta V$  maksimal və minimal enerjilərin fərqinə bərabər olacaqdır:

$$\Delta V = V(r_2) - V(r_1) \quad (1.1.16)$$

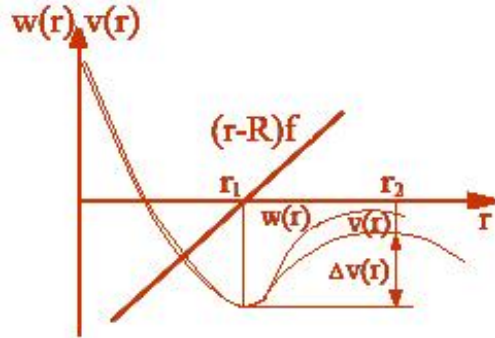
Maksimum və minimum potensial enerjilərə uyğun olan  $r_1$  və  $r_2$  nöqtələrin hesablanması üçün (1.1.15) ifadəsindən  $\Delta V(r)$  funksiyasının ekstremumları təyin edilir:

$$dV(r) = 0 \quad (1.1.17)$$

$$\text{və ya } D \left[ -\frac{2}{a} e^{-2(r-R)/a} + \frac{2}{a} e^{-(r-R)/a} \right] - f = 0 \quad (1.1.18)$$

$y = e^{-(r-R)/a}$  əvəzləməsini (1.1.18)-də nəzərə alsaq, aşağıdakı kvadrat tənliyi yazmaq olar:

$$y^2 - y + \frac{af}{2D} = 0 \quad (1.1.19)$$



Şək. 1.1.1. Atomlar arası qarşılıqlı təsir enerjisinin  $r$ -dən asılılıq əyriləri

Tənliyin həllindən alınmış funksiyalara görə, atomlar arası potensial enerjinin minimal qiymətinə,

$$e^{-(r_1-R)/a} = \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{2af}{D}} \right) \quad (1.1.20)$$

maksimal qiymətinə isə,

$$e^{-(r_2-R)/a} = \frac{1}{2} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2af}{D}} \right) \quad (1.1.21)$$

ifadələri uyğun gəlir.

(1.1.20), (1.1.21) ifadələrindən  $r_1$  və  $r_2$  –yə aid çevirmələr apararaq (1.1.18) nəzərə alsaq  $\Delta V$  üçün aşağıdakı funksional asılıqları yazmaq olar:

$$\Delta V = D \sqrt{1 - \frac{2af}{D}} - af \ln \left( \frac{D}{af} + \frac{D}{af} \sqrt{1 - \frac{2af}{D}} - 1 \right) \quad (1.1.22)$$

$x = af/D$  –əvəzləməsini (1.1.22)-də yazaraq  $\Delta V$  üçün yeni şəkildə ifadə yazılır:

$$\Delta V = D \left[ \sqrt{1 - 2x} - x \ln \left( \frac{1}{x} + \frac{1}{x} \sqrt{1 - 2x} - 1 \right) \right] \quad (1.1.23)$$

buradan isə,  $\Delta V = D \cdot \varphi(x)$  kimi ifadə alınır.

$\varphi(x) = \sqrt{1 - 2x} - x \cdot \ln \left( \frac{1}{x} + \frac{1}{x} \cdot \sqrt{1 - 2x} - 1 \right)$  funksiyası rabitələrə düşən yüklənmələri göstərir. Bu funksiya rabitələr arasındakı cazibələrə dərəcəli təsir etdikdə, potensial baryerin nisbi azalmasını ifadə edir.

Atomların istilik rəqslənmə enerjisi ilə artan yüklənmə fluktasiyası hesabına vahid zamanda rabitənin qırılması ehtimalı aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$q_{qir} = \frac{1}{\tau_0} e^{-\Delta V / 2kT} = \frac{1}{\tau_0} e^{-D\varphi(x) / 2kT} \quad (1.1.24)$$

burada  $1/\tau_0$  –atomların məxsusi rəqslənmə tezliyi,  $k$  –Bolsman sabiti,  $T$  –mütləq temperatur,  $e^{-D\varphi(x)/2kT}$  – bir rəqslənmədə rabitənin qırılması ehtimalıdır. Sonuncu ifadə bərk izolyasiyanın yaşama müddətinə tətbiq edilir. Onun üçün,  $q\tau = 1$  yazılır. Gətirilmiş tənliklərə əsasən bərk izolyasiyanın yaşama müddəti üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$\tau = \tau_0 \cdot e^{D\varphi(x)/2kT} \quad (1.1.25)$$

$x$ -n mexaniki gərginlik əmsali  $\sigma$  ilə ifadə edilməsi üçün :  $-\sigma = f_{or} \cdot N_1$  kimi yazılır. Rabitələrin orta cazibə qüvvəsi qırılan rabitəyə təsir edən qüvvədən  $e$  dəfə kiçikdir  $\therefore f_{or} = f/e$ .

Vahid en kəsiyində polimer dielektrik üçün yüklənmiş rabitələrin sayı aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$N_1 = \frac{N_A \rho \cdot R \cdot n_M}{M \cdot \alpha} \left( 1 - \frac{2m}{m_z} \right) \quad (1.1.26)$$

burada  $N_A = 6,02 \cdot 10^{26} \text{ 1/kmol}$  – Avoqadro ədədi,  $\rho$ - polimerin sıxlığı,  $n_m$ - polimer molekulanın əsas zəncirində olan rabitələrin sayı,  $M$ - polimer molekulanın molekulyar kütləsi,  $\alpha$  – polimer strukturunun düzülüş əmsalı,  $m$ - polimerin yüklənməmiş quyruq hissəsinin molekulyar kütləsi,  $m_z$ - polimer zəncirinin orta asılılıq kütləsidir.

Son ifadələrdən qırılan rabitəyə təsir edən qüvvə üçün yazmaq olar:

$$f = \frac{e\alpha M}{N_A \rho \cdot R \cdot n_M \left(1 - \frac{2m}{m_z}\right)} \cdot \sigma \quad (1.1.27)$$

$f$ - in ifadəsini nəzərə alaraq  $x$  və  $\gamma$  üçün aşağıdakı son ifadəni yazmaq olar:

$$x = \frac{e\alpha \cdot M \cdot a}{D \cdot N_A \rho \cdot R \cdot n_M \left(1 - \frac{2m}{m_z}\right)} \cdot \sigma \quad (1.1.28)$$

$$\gamma = \frac{e\alpha \cdot M \cdot a}{D \cdot N_A \rho \cdot R \cdot n_M \left(1 - \frac{2m}{m_z}\right)} \quad (1.1.29)$$

$\gamma$  – kəmiyyəti quruluş həssaslıq əmsalıdır, polimerin əsas zəncirinin bir yüklənmiş rabitəsinə düşən həcmi göstərir.

Qeyri üzvi kristall quruluşlu maddələr üçün  $\gamma = \frac{eMa}{N_A \cdot \rho R \cdot n_M}$  olar.

Beləliklə mexaniki qüvvə təsir etdikdə  $x$  üçün :  $x = \gamma \sigma / D$  alınır.

Mexaniki dartı qüvvəsi və elektrik sahəsinin birlikdə təsiri dielektrikin sərbəst enerjisini artırır və cismin atom və molekulları arasında olan potensial baryeri azaldır. Onların birlikdə təsiri dielektrik cismin vahid həcmində sərbəst enerjinin  $\Delta W$  artımına səbəb olur:

$$\Delta W = \varepsilon_m \cdot E_m^2 / 2 + \sigma / 2 G_m = \sigma^2_{ekv} / 2 \cdot G_m \quad (1.1.30)$$

Burada  $\varepsilon_m$ -mütləq dielektrik nüfuzluluğu,  $E_m$ -maksimal elektrik sahə gərginliyi  $E_m = \beta \eta \cdot E_{or}$ ,  $\sigma$ - mexaniki möhkəmlilik həddi,  $G_m$ -cismin elastiklik moduludur.

### 1.5 Xarici izolyasiyanın sınaqları və sınaq usulları

Sabit meteoroloji şəraitdə, hava aralıqları və xarici izolyasiyanın boşalma gərginliklərinə, boşalmanın inkişafı ilə əlaqədar olan bir sıra



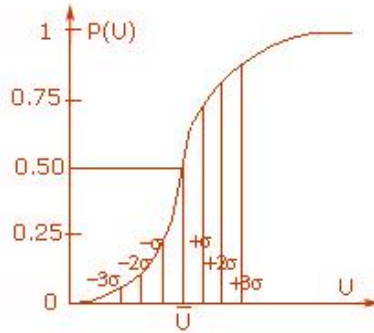
təsadüfi amillər təsir edirlər. Bunlara eyni şərtlər daxilində, müşahidə edilən boşalmaların müxtəlif traektoriyaları misal ola bilər. Ona görə boşalma gərginlikləri statistik qanunlara uyğun olan təsadüfi kəmiyyətdir.

Təcrübələr göstərir ki, xarici izolyasiyanın boşalma gərginliklərinin qiymətlərində olan səpələnmə normal paylanma qanunlarına (Hauss paylanmasına) tabedir. Boşalmalarda qiymət paylanmaları inteqral funksiyasının ehtimalı, ixtiyari  $U$  sınaq gərginlikləri üçün aşağıdakı ifadə və əyrlərlə göstərilir (7.2.3), şək. 7.2.4:

$$P(U) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^U e^{-\frac{(U-u)^2}{2\sigma^2}} du \quad (7.2.3)$$

Burada 
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (U - \bar{U})^2}{N - 1}} \quad (7.2.4)$$

$\bar{U}$  - aparılan təcrübələrdə, boşalma gərginliyinin 50 % -li ehtimalla gözlənilən (riyazi gözləmə) orta qiymətidir.  $\sigma$  - 50 %-li boşalma gərginliyindən orta kvadratik meyl etmə əmsalı,  $N$  - təcrübələrin sayıdır. Orta kvadratik meyl etmə əmsalı verilmiş inteqral əyrisinin dikliyini göstərir.



Şək.7.2.4. Normal paylanma qanununa tabe olan boşalma gərginliklərinin inteqral ehtimal funksiyası  $P(U)$

Aşağıdakı sırada boşalma gərginliklərinin orta qiymətlərdən hər iki tərəfə  $\pm B\sigma$  qədər meyl etmə ehtimalları verilmişdir:

$B\sigma$ . . . . .	$\sigma$	$2\sigma$	$3\sigma$	$4\sigma$
$\bar{U}$ qiymətlərindən $B\sigma$ qədər				
meyləmələrin ehtimalları	0,3174	0,0455	0,0027	0,000064

Buradan görünür ki, boşalmanın  $U \leq \bar{U} - 2\sigma$  gərginlikdə baş verməsi ehtimalı 0,023,  $U \leq \bar{U} - 3\sigma$  gərginlikdə baş verməsi isə 0,00135-ə bərabər olub

daha aşağı qiymətə düşür. Bir sıra hallarda, ən kiçik boşalma gərginliklərinin araşdırılması və tətbiqi tələb olunur. Bu zaman aşağıdakı ifadə istifadə edilir:

$$U_{min} = \bar{U} - 3 \cdot \sigma \quad (7.2.5)$$

Çünki, (7.2.5) ifadəsi ilə verilən gərginliyin boşalma yaratma ehtimalı çox kiçikdir. Belə sınaqlar aparıldıqda, 50%-li boşalma gərginliklərinin ölçülməsi ilə yanaşı, boşalma gərginliklərinin qiymətlərində alınan səpələnmə və orta kvadratik meyletmələr də təyin edilir. Alınan əsas parametrlərdən biri də, boşalma gərginliklərinin orta kvadratik meyletmələrinin nisbi qiymətləri - *paylanma standartıdır*. Bu *variasiya əmsalı* adlanır və  $c$  ilə işarə edilir:

$$c = \frac{\sigma}{\bar{U}} \cdot 100\% \quad (7.2.6)$$

Xarici izolyasiyanın sınaqları  $50 Hs$  dəyişən gərginliklərdə, kommutasiya və ildırım impuls gərginliklərində aparılır. Bütün hallarda xarici izolyasiyanın boşalma gərginlikləri verilmiş normal paylanma qanununa tabe olur.

## 1.6 Yüksək gərginlik sınaqları

*Dəyişən gərginliklərlə aparılan sınaqlar*, daxili ifrat gərginliklər təsir etdikdə, izolyasiyanın etibarlılığını təyin edən təcrüblərə aiddir. Sənaye tezlikli yüksək gərginlik qurğuları sınaq laboratoriyalarının ən vacib qurğularıdır.

Bu qurğuların çıxışından alınan yüksək gərginlik bilavasitə sınaq olunan izolyasiyaya verilməklə yanaşı, sabit gərginlik və impuls gərginlikli sınaq qurğularının da gərginlik mənbəi kimi istifadə edilir.

İzolyatorların sınaqları quru, təmiz şəraitdə və nəmlənmiş, çirkli olan hallarda aparılır. İzolyasiyanın nəmlənmiş və çirklənmiş halda aparılan sınaqları, onların ən ağır şəraitlərdə işçi gərginliklər altında olan, iş qabiliyyəti və etibarlılığını təyin edir.

*Kommutasiya impuls gərginlikləri ilə sınaqlar* müsbət və mənfi qütblü impulslarla aparılır. Aperiodik impuls:- cəbhə müddəti -  $250 \pm 50$  mksan, impuls müddəti -  $2500 \pm 500$  mksan olan gərginlik formasında götürülür. Qısa olaraq belə impuls  $250/2500$  mksan kimi işarə edilir. Xətt izolyasiyası  $4000/7500$  mksan müddətli sönən gərginlik impulsları ilə sınaq edilir. Birinci maksimuma qədər gərginliyin cəbhə hissəsinin artım müddəti  $1000$  mksan və tam impuls müddəti  $2500$  mksan qiymətində ola bilər. Burada da sınaqlar həm quru-təmiz, həm də çirklənmiş-nəmli şəraitlərdə aparılır. Kommutasiya impulsları ilə aparılan sınaqları, dəyişən gərginliklə olan sınaqlarla əvəz etmək olar.

İstismar prosesində elektrik qurğularının izolyasiyası işçi gərginlik, yuxarıda bəhs edilən daxili və atmosfer ifrat gərginliklərin təsirlərinə məruz qalırlar. Bu təsirlərə görə aparılan sınaqlar zamanı, elektrik möhkəmliyi verilən gərginliyin qiyməti və təsir müddətindən asılı olur. DÜİST 1516-1-76 və 1516-2-76 Nö-li Dövlət standartlarında transformatorlar, aparat və ayrılıqda sınaq olunan izolyatorlar üçün gərginliklər cədvəli verilir. Elektrik möhkəmliyinin atmosfer təsirləri və başqa səbəblərdən asılılıqlarını nəzərə alaraq, daxili və atmosfer ifrat gərginliklərinə uyğun olan sınaq gərginliklərini ayrılıqda normalaşdırırlar.

İmpuls sınaq gərginliklərinə, boşaldıcılar və qeri xətti gərginlik məhdudlaşdırıcıları- QXGM ilə azaldılmış ifrat gərginliklərinə düzəlişlər edilir. Sınaqlar, tam standart impuls 1,2/50 mksan və 2-3 mksan-lik kəsilmiş impuls təsirləri ilə aparılır. İzolyasiya səviyyəsinə uyğun seçilən sınaq gərginliklərinə və məhdudlaşdırıcı qurğuların səviyyəsinə göstərilən tələbatlar təyin edilərkən, ifrat gərginliklərin hesabət qiymətləri əsas götürülür:-  $U_{hes imp}$ .

Ona görə bütöv (tam) impuls üçün, ifrat gərginliyin hesabət qiyməti  $U_{hes imp}$ , kV – la ventil boşaldıcılarının qalıq gərginliyindən asılı olur. 3-220 kV qurğu izolyasiyası üçün impuls hesabət gərginlikləri aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir:

$$U_{hes imp} = 1,1 \cdot U_{qal} + 15 \quad (11.1.4)$$

burada  $U_{qal}$  koordinasiya cərəyanına (5-14 kA) uyğun olan gərginlikdir, kV-la §5.1.2.

İmpuls hesabət gərginliyinin, qalıq gərginliyinə nisbətən artımı, elektrik avadanlığında gərginliyin yüksəlməsindən asılıdır. Boşaldıcılardan müəyyən məsafədə quraşdırılmış elektrik avadanlığında, boşaldıcı dövrəsində yaranan gərginliyin qiyməti arta bilər. Bunun səbəbi, avadanlığın izolyasiyası - birləşdirici naqillər - boşaldıcı arasındakı dövrədə olan gərginlik rəqsləridir. Məlumdur ki 330 kV və daha yüksək gərginlikli yarımstansiyalarda boşaldıcıların ölçü transformatorları, aparatlar (açar, ayırıcı) və transformatorlardan olan məsafələri xeyli böyükdür. Ona görə, güc transformatorları üçün impuls hesabət gərginliyi  $U_{hes imp} = 1,1 \cdot U_{qal}$ , aparatlarda isə,  $U_{hes imp} = 1,2 \cdot U_{qal}$  götürülür.

Elektrik izolyasiyasının koordinasiyasında ventil boşaldıcıların xarakteristikalarını nəzərə almaqla, qısa müddətli - kəsilmiş impuls təsirləri üçün gərginliyin qiymətləri də müəyyənləşdirilmişdir. Belə ki, 3-15 kV –duq avadanlıqlarda, tam impulsdan 20%, daha böyük gərginliklərdə isə 25 % artıq qəbul edilmişdir:

$$U_{kəs imp} = (1,2 - 1,25) \cdot U_{hes imp}$$

Daxili izolyasiya üçün seçilən impuls sınaq gərginliyi, ildırım ifrat gərginliyinin bir neçə dəfə təkrar təsir etməsi nəticəsində gizli defektlərin toplanması ehtimalı ilə təyin edilir. Buna defektlərin «kumulyasiya effekti» deyilir və bu səbəbdən impuls hesabat gərginliyinin qiyməti 10% artırılır. Nəticədə, elektrik avdanlığının daxili izolyasiyası üçün sınaq gərginliyi  $1,1 \cdot U_{hes\ imp}$  olur. Təsirlənmə dolağı olmayan transformatorlarda impuls sınaq gərginlikləri  $0,5 \cdot U_{nom}$  qədər artıq götürülür.

Cədvəl 11.1.1-də impuls sınaq gərginliklərinin qiymətləri verilmişdir. Bu qiymətlər normal atmosfer şəraitinə aiddir. Sınaqlar zamanı şərait dəyişərsə, impuls sınaq gərginliyinin qiymətlərində də dəyişiklik edilir.

*Normal izolyasiyalı avadanlıq üçün impuls sınaq gərginlikləri*

*Cədvəl 11.1.1*

Təsir edən nominal gərginliklər, kV		İzolyasiyada impuls sınaq gərginliyin maksimal qiyməti,	
		Daxili izolyasiya	Xarici izolyasiya
Nominal gərginlik	Ən böyük işçi gərginlik	Aparatlar və cərəyan transformatoru	Ayrıca sınaq olunan izolyatorlar
6	7,2	57/70	60/73
10	12	75/90	80/100
20	23	120/150	125/158
35	40,5	180/225	195/240
110	126	425/550	480/600
150	172	585/760	660/825
220	252	835/1090	950/1190
330	363	1100/1300	1200/1400
500	525	1500/1800	1600/1950

*Qeyd: Cədvəl 11.1.1-də verilmiş surətdəki rəqəmlər tam, məxrəcdəki rəqəmlər isə, kəsilməmiş impulsuları göstərir.*

Sənaye tezlikli sınaq gərginlikləri, izolyasiyanın daxili ifrat gərginliklərin təsirinə görə koordinasiyası üçün tətbiq edilir.

Xarici izolyasiya üçün impuls sınaq gərginliyi təyin edildikdə, avadanlığın dəniz səviyyəsindən 1000-2000 m yüksəklikdə və 35-40°C temperaturalarda işləməsi nəzərə alınmalıdır. Belə ki, normal temperaturdan hər 3<sup>0</sup> istilik artımı üçün 1%, 1000 m hündürlükdən hər 100 m yüksəklik üçün də 1% izolyasiya səviyyəsi artırılmalıdır. Başqa sözlə, göstərilən həddlərdə atmosfer və relyef dəyişmələri nəzərə alındıqda, xarici izolyasiyanın sınaq gərginliyi  $U_{hes\ imp}/0,84$  qəbul edilir.

Bu halda sınaq gərginliyinin qiyməti verilmiş gərginlik sinfinə aid olan avadanlığın daxili ifrat gərginliyin hesabət qiymətinə  $-U_{hesdax}$  əsasən seçilir:

$$U_{hesdax} = k_{bb} \cdot U_{impmax} \quad (11.1.5)$$

burada  $k_{bb}$ -daxili ifrat gərginliyin buraxıla bilən qiymətilərinə bərabər götürülür, cədvəl 11.1.2:

*Cədvəl 11.1.2*

<i>Kəmiyyət</i>	<i>Neytral izolə edilmiş şəbəkələr</i>			<i>Neytralı torpaqlanmış şəbəkələr</i>			
	<i>3-6-10</i>	<i>15-20</i>	<i>35</i>	<i>110-220</i>	<i>330</i>	<i>500</i>	<i>750</i>
$U_{nom}$							
$K=U_{ənbış}/U_{no}$ <i>m</i>	1,2	1,2	1,15	1,15	1,1	1,05	1,05
$K=U_{ifrgər}/U_{ənb}$ <i>f</i>	4,5	4,0	3,5	3,0	2,7	2,5	2,1

$U_{impmax}$  –1 dəq müddətində tətbiq olunan gərginlikdir, elektrik avadanlığının daxili izolyasiyasının sınaqları zamanı verilir. Daxili izolyasiyanın bu sınaq gərginlikləri, daxili ifrat gərginliklərdə yaranan impuls kimi nəzərə alınmalıdır. Buraya qısa müddətli təsir zamanı elektrik möhkəmliyinin artması, «kumulyativ effekt» və istismar zamanı izolyasiyanın köhnəlməsi daxildir. Ona görə daxili izolyasiya üçün (transformator, reaktor, açar və s.) sınaq gərginliyi aşağıdakı kimi hesablanır:

$$U_{sin} = U_{hesdax} \cdot K_{kum} / K_{imp} \quad (11.1.6)$$

3-35 kV avadanlıqların izolyasiyası üçün  $K_{imp}=1,3$ , daha yüksək gərginlikli izolyasiya üçün isə 1,35 götürülür. Kumulyativ effekti göstərən əmsal 1,1-1,15 kimi təyin edilir.

Xarici izolyasiya quru və yağışlı şəraitlərdə sınaq edilməlidir. Quru şəraitdə seçilən sınaq gərginlikləri, yalnız atmosfer şəraitinin dəyişməsi hesabına (başqa amillər olmadan), elektrik möhkəmliyinin azalmasını nəzərə alır:

$$U_{qsin} = U_{hesdax} / 0,84 \quad (11.1.7)$$

Xarici izolyasiya üçün yağış altında sınaqlar aparılan zaman seçilən sınaq gərginlikləri aşağıdakı kimi hesablanır:

$$U_{ysin} = U_{hesdax} / (K_{imp} \cdot K_{tez}) \quad (11.1.8)$$

burada  $K_{imp}$ -impuls əmsalı yağış altında 1,1 götürülür,  $K_{tez}$  –təzyiqin dəyişməsinə nəzərə alan düzəliş əmsalıdır. 1000 m yüksəklikdə quraşdırılmış

avadanlıqlar üçün,  $K_{\text{iaz}} = 0,94$  götürülür. 3-220 kV elektrik avadanlığının fazlar arası izolyasiyası üçün impuls sınaq gərginlikləri əsas rol oynayır. Ona görə bunlar üçün daxili ifrat gərginliyin hesabat sınaq qiymətləri müəyyənləşdirilməmişdir. Bu siniflərə aid olan yüksək gərginlikli elektrik avadanlığı üçün, fazlar arası izolyasiyasının daxili ifrat gərginliyə görə sınaqlarında  $3,5 \cdot U_{\text{ənbiş}}$  qiyməti götürülür. Uzun illərin real təcrübi nəticələrinə uyğun olaraq BEK tərəfindən tövsiyə edilən və bütün ölkələrdə keçərliliyi olan standart sınaq gərginlikləri vardır.

(11.1.3-11.1.5) cədvəllərində verilmiş qiymətlərdə impuls və sənaye tezlikli sınaq gərginlikləri təyin edilərkən aparatın eyni qütblü açıq kontaktları arasında ifrat gərginlik yaranması nəzərə alınmışdır. Bu zaman ifrat gərginlik yaranan kontaktın əks tərəfində gərginliyin başqa qütblükdə olması da nəzərə alınmışdır. Ümumiyyətlə fazlar arası izolyasiya, fazla yer arasında olan izolyasiya kimi sınaq edilir. Bir fazaya təsir edən impuls dalğası digər fazlarda da eyni işarəli gərginlik induksiya edir. Ona görə fazlar arası potensiallar çox böyük olur. Bu zaman eyni zamanda ən pis ehtimalda, əks işarə ilə induksiya edilmiş gərginliklə işçi gərginliyin təsirini də nəzərə almaq lazımdır. Təcrübələr göstərir ki, induksiya edilmiş impuls və işçi gərginliklərin təsirləri müəyyən qədər biri-birini kompensasiya edirlər. Ona görə, fazlar arası ildırım ifrat gərginliklərinin hesabat qiymətləri faz izolyasiyasının hesabat gərginliyinə bərabər götürülür.

Məlumdur ki, 3-35 kV şəbəkələrdə hava xəttləri ilə bərabər, kabel xəttləri də çox işlədilir. Onlar atmosfer təsirlərindən mühafizə və təcrid olduqlarından, kabellərin izolyasiyasına qoyulan tələblər tamamilə daxili ifrat gərginliklə təyin olunur. Ona görə belə avadanlıqların izolyasiyası yüngülləşdirilmiş tərzdə hazırlanır. Onlar üçün yalnız sənaye tezlikli sınaq gərginlikləri normalaşdırılır.

3-220 kV –luq elektrik avadanlığı üçün sənaye tezlikli sınaq gərginlikləri

Cədvəl 11.1.3

Gərginlik sinfi, kV	Ən böyük işçi gərginlik kV	Sınaq gərginlikləri					
		Bir dəqiqə saxlanılan sınaq gərginliyi, kV			Xarici izolyasiya üçün tətbiq edilən, Səlis artırılan sınaq gərginliyi, kV		
$U_{nom}$	$U_{ən bö iş} = k \cdot U_{nom}$	Güc, gərginlik transformatorları və reaktorlar	Aparatlar cərəyan transformatorları	Ayrılıqda sınaq olunan izolyator	Quru vəziyyət üçün		Yağış altında
					Aparat transformator, reaktor	Ayrı sınaq edilən izolyator	Aparat transfor. və xarici izolyator
3	3,6	18	24	25	26	27	20
6	7,2	25	32	32	34	36	26
10	12	35	42	42	45	47	34
15	17,5	45	55	57	60	63	45
20	24	55	65	68	70	75	55
35	40,5	85	95	100	105	110	85
110	126	200	250	265	280	295	215
150	172	230(275)	320	340	320(355)	375	290
220	252	325(400)	470	490	465(520)	550	425

Qeyd: möhtəzəsiz rəqəmlər II qrup boşaldıcılar vasitəsi ilə vasitəsi ilə məhdudlaşdırılmış daxili ifrat gərginlik üçün, güc transformatorları və şuntlayıcı reaktorların sınaq gərginliklərinə aid qiymətlərdir.

*330-750 kV –luq elektrik avadanlığı üçün, sənaye tezlikli sınaq gərginlikləri :  
Cədvəl 11.1.4*

<i>Gərginlik sinfi, kV</i>	<i>Ən böyük işçi gərginlik, kV</i>	<i>Sınaq gərginlikləri</i>						
		<i>Bir dəqiqə saxlanılan sınaq Gərginliyi, kV</i>			<i>Xarici izolyasiya üçün tətbiq edilən və Səlis artırılan sınaq gərginliyi, kV</i>			
<i><math>U_{nom}</math></i>	<i><math>U_{ənböi\check{s}} = k \cdot U_{nom}</math></i>	<i>Güc, gərginlik transformatorları və reaktorlar</i>	<i>Aparat, cərəyan transformatorları</i>	<i>Ayrıluqda sınaq olunan izolyator</i>	<i>Quru vəziyyət üçün</i>		<i>Yağış altında</i>	
					<i>Gövdə ilə fazlar arası</i>	<i>Fazlar arası</i>	<i>Aparat transformator, reaktor</i>	
		<i>Gövdə ilə</i>	<i>Faz arası</i>	<i>Gövdə ilə</i>			<i>Faz arası</i>	
330	363	460	575	630	670	875	700	550
500	525	680	830	800	900	1250	900	740
750	787	900	-	950	1050	1700	1050	900

*Yeni standartlara görə 330-500 kV-luq elektrik avadanlıqları kommutasiya sınaq gərginliklərinə görə sınaq edilmədirlər. Şuntlayıcı reaktorların daxili izolyasiyası uzun müddətli təsir edən sənaye tezlikli gərginlik və qismi boşalmaların intensivliyinin ölçülməsi ilə sınaq edirlər. Üzvi quruluşlu dielektriklərin olduğu hallarda sınaq proqramlarına istilik dəşilməsinə aid sınaqlar da daxil edilir.*



Təkliflərə görə aşağıdakı cədvəl verilir.

Cədvəl 11.1.5

Nöminal gərginlik sinfi, kV-la	1 dəqiqə saxlanılan sınaq gərginliyi, kV			Xarici izolyasiya üçün səliss artırılan gərginlik, kV	
	Güc transformatorları	Aparat, reaktor, cərəyan, gərginlik transformatorları	Ayrı sınaq olunan izolyator	Transform.reaktor, aparat və izolyator	
				Quru vəziyyət	Yağış altı
3	10	13	14	15	10
6	16	21	21	23	18
10	24	32	32	35	26
15	37	49	48	53	42
35	95	84	105	95	98

## 2. DAXILI İZOLYASIYA

### 2.1. Bərk və kombinə edilmiş izolyasiya

Yüksək gərginlik aparatlarında izolyasiyanın həm daxili, həm də xarici növlərindən istifadə edilir. Aparatların xaricində metal hissələrin birləşməsi zamanı, mexaniki möhkəmlik yaratmaq üçün bərk izolyasiya tətbiq edilir. Onlar, yüksək elektrik möhkəmliyinə -  $E_{m\delta h}$ , yaxşı istilik ötürmə və nəmliyə qarşı davamlılıq kimi xassələrə malik olmalıdırlar.

Daxili izolyasiya karbohidrogen tərkibli və silisium üzvi sintetik materiallardan, karton, kağız və qeyri üzvi materiallardan: -slyuda, mikanit, mikaleks, farfor, şüşə və s. kimi çox müxtəlif tərkiblərdən ibarət olur. Bir çox daxili izolyasiya konstruksiyalarında bərk dielektriklə qaz (maye) izolyasiyası birlikdə işləyirlər. Yüksək gərginlik aparatlarında fərqli dielektrik nüfuzluluğu -  $\epsilon_n$ , istilik keçiriciliyi -  $\sigma$ , müxtəlif forma və ölçüləri olan bərk izolyasiya konstruksiyaları istifadə edilir.  $\epsilon_n$  - qazın dielektrik nüfuzluluğundan -  $\epsilon_q$  xeyli (3-4 dəfə) böyük olur. Bərk dielektrikin ölçüləri, qeyri müntəzəm və mürəkkəb formaları, elektrik sahəsini təhrif edir. Nəticədə onların səthini bürüyən və daxillərində olan qaz (maye) mühitində elektrik sahə gərginlikləri böyük qiymətlərə çatır. Belə hadisələr, bütün konstruksiyanın elektrik möhkəmliyini azaldır. Ona görə, yüksək gərginlikli aparatların izolyasiya konstruksiyalarının layihələrində, elektrik sahəsinin bərabər

paylanması bərk izolyasiyada və onu bürüyən qazda (mayədə) elektrik sahə gərginliyinin azaldılması tədbirləri yerinə yetirilməlidir.

Qazlarda olduğu kimi bərk dielektrikin bir cinsli sahədə deşilməsi anında tətbiq edilən gərginliyə *deşilmə gərginliyi* və bu halda gərginliyin dielektrikin qalınlığına olan nisbəti kimi ( $E_{m\ddot{o}h}=U/d$ ) təyin edilən elektrik sahə gərginliyi isə, *elektrik möhkəmliyi* adlanır. Elektrik möhkəmliyi  $kV/mm$  və ya  $MV/m$  –lə ölçülür.

## 2.2 Bərk izolyasiyanın elektrik, mexaniki və istilik xassələri

Yüksək gərginlikli avadanlıqların daxili izolyasiyası və onların hazırlanmaları materialların keyfiyyətinə xüsusi tələbatlər qoyulur. Bu zaman elektrik, istilik, mexaniki xassələr əsas olmaqla digər xüsusi tələblər də göstərilir. Məsələn, yüksək gərginlik qurğularında daxili izolyasiyanın elektrik möhkəmliyinin həmin aparatın xarici izolyasiyasının elektrik möhkəmliyindən 1,5-1,6 dəfə böyük olması lazımdır.

Hər şeydən əvvəl, materiallar qısa müddətli impuls gərginliklərinin və uzun müddətli kommutasiya və sənaye tezlikli gərginliklərin təsirlərinə qarşı yüksək elektrik möhkəmliyi göstərməlidirlər. Bunun üçün onların xüsusi kompleks xassələri olmalıdır. Elektrik deşilməsi halında yüksək deşilmə sahə gərginliyi həddinə malik olmalıdırlar. Ən aşağı dielektrik itki bucağının tangensinə, qismi boşalmaların təsirlərinə qarşı davamlılığa malik olmalıdırlar. Tərkiblərində qaz qabarcıqları olmamalı və ya onlar minimal həddə olmalıdır. Deyilənlər ödənilmədikdə izolyasiyanın etibarlılığı kifayət səviyyədə olmaz. Deşilmə prosesində aşağı göstəricilər olması ( $E_{m\ddot{o}h}$ ), dielektrik itkiləri hesabına yaranan istilik, qismi boşalmalar və ionlaşma təsirləri ilə yaranan elektrik-mağnit, elektrik-mexaniki, şualanma, akustika və s. kimi amillər izolyasiyanın «yaşama» prosesinə güclü təsirlər göstərir.

Materialların istilik xassələri temperatur keçirmə, istilik ötürmə, istilik vermə kimi mexanizmlər ilə təyin edilir. İzolyasiyanın istilik köhnəlməsinə qarşı davamlılığı təyin edilərkən, aktiv hissələrin buraxıla bilən temperaturları və izolyasiyada temperatur düşgünlərinin təyin olunması çox vacibdir. İstilik xassələri bütövlükdə avadanlığın buraxıla bilən işçi rejimlərini təyin edir. Bu xassələr buraxıla bilən işçi cərəyanları, artıq yüklənmə cərəyanlarını, materialların yanqına və partlayışa davamlılığı, onlara görə aparılan mühafizə tədbirlərinin həcmi və usullarını aydınlaşdırmağa imkan verir.

Dielektrik materialların mexaniki möhkəmliyinə göstərilən yüksək tələbatlar, yalnız izolyasiyanın istismar prosesinə deyil, həm də onların istehsalı zamanı məruz qaldıqları mexaniki emal şərtlərinə də aiddir. Mexaniki xassələr, təkcə izolyasiya və konstruksiyanın mexaniki bütövlüyünü

deyil, həm də izolyasiyanın elektrik möhkəmliyini azaldan çatlar, laylara, suxurlara ayrılma və digər kiçik defektlərin olmamasını təmin edir.

Dielektrik materiallarının texnologiyı və istehsalın avtomatlaşdırılması da vacib bir məsələdir. Bu tələbatların ödənməsi, materiallar və konstruksiyaların istehsal proseslərində yüksək məhsuldarlığa yol açır.

Daxili izolyasiyada istifadə edilən materiallar ekoloji təmizlik tələbatlarını da ödəməlidir. İstismar zamanı materiallardan toksik maddələr ayrılmamalıdır, iş müddətini başa vurmuş material və konstruksiyalar isə, təhlükəsiz olaraq ətraf mühitə zərər vermədən məhv edilə bilməlidir.

Nəhayət, dielektrik materiallar defisit olmamalı iqtisadi cəhətdən sərfəli qiymətlərdə olmalıdırlar.

Bir sıra hallarda materiallara yuxarıdakı ümumi xassələrlə bərabər, işlədildiyi avadanlıqların özəl xüsusiyyətlərinə uyğun olaraq əlavə tələbatlar da qoyulur. Məsələn, güc kondensatorları üçün materiallar böyük dielektrik nüfuzluluqlarına, yüksək gərginlik açarlarının qövssöndürücü kamerası ətrafındakı izolyasiya materialları, yüksək istilik və güclü elektrik qövslərinin təsirlərinə qarşı davamlılığa malik olmalıdırlar.

Göstərilən tələbatlar əsas kateqoriyalara aiddirlər. Onların hər-hansı birinin nəzərdən atılması yüksək gərginlik konstruksiyasının iş qabiliyyətini pozur, onları texniki-iqtisadi və ekoloji cəhətdən yararsız və ya səmərəsiz edir.

Yüksək gərginlik avadanlığının çox illik işlənmə və istismar təcrübələri göstərmişdir ki, daxili izolyasiyanın ən uyğun və optimal konstruksiyası onların tərkibində müxtəlif materialların kombinasiyasının işlədildiyi variantlarıdır. Belə kombinə edilmiş materiallar müxtəlif izolyasiya funksiyaları göstərərək biri-birini tamamlayırlar. Kombinə edilmiş izolyasiyanın əsas üstünlükləri ilə tanış olaq.

Məlumdur ki, bütün hallarda daxili izolyasiyada mexaniki möhkəmliyi təmin edən əsas tərkib kimi bərk dielektrik işlənilir. Bu materiallar adətən, həm də yüksək elektrik möhkəmliyinə malik olurlar. Lakin, bərk dielektriklər aşağı istilik ötürmə xassələrinə malikdirlər və onların istehsalı, xüsusi ilə də mexaniki emal usulları mürəkkəb və çətindir.

Bərk izolyasiyanın əsas çatışmazlığı biri-biri ilə uyuşmaması, fərqli elektrik xassələrinə malik olmaları və elektrodlarla təmas yerlərində qaz qabarcıqlarının qalmasıdır. Bərk dielektrikin tərkibində qaz qabarcıqları olduqda isə, işçi gərginlik (xüsusi ilə ifrat gərginliklər) altında qismi boşalmalar başlayır və izolyasiyanın köhnəlməsi sürətlənir. Göstərilən bu qusurlar həmin izolyasiyaya təzyiq altında qaz və ya maye vurulmaqla aradan qaldırıla bilər. Qaz və maye maddələr ixtiyari formalı izolyasiya aralıqlarını

asanlıqla doldurur, çox kiçik ölçüdə olan aralıqlar və yarıqları tuturlar. Nəticədə uzun müddətli elektrik möhkəmliyi xeyli artır.

### 2.3 Daxili izolyasiyanın istilik və nəmlənmə təsirindən köhnəlməsi. Elektrik-kimyəvi dəşilmə

Elektrotexniki qurğu və avadanlıqların iqtisadi səmərəsini artırmaq üçün onlarda aktiv elementlərin temperaturunun yüksəlməsi qaçılmaz olur. Məsələn, kabel damarları, transformator və elektrik maşınlarının dolaqları, açarların kontaktları, maqnit içliklər və. s iqtisadi səmərəli qaydada yükləndikdə qızmaya məruz qalırlar. Temperaturun bu şəkildə artırılması imkanları elektrik izolyasiyasının xüsusiyyətləri ilə məhdudlaşır. Çünki temperatur artdıqca, izolyasiyanın köhnəlməsi və dağılma prosesləri sürətlənir. Üzvi quruluşlu izolyasiyanın termiki köhnəlməsi əsasən kimyəvi proseslər nəticəsində meydana çıxır. Baş verən kimyəvi proseslər: - oksidləşmə, polimerlərin destruksiyası, polikondensasiyası ilə müşahidə edilir. Temperaturun artımı kimyəvi prosesləri sürətləndirir. Qismi boşalmalar (QB) isə bu prosesləri daha çox artırır. QB təsiri və istiliyin artması ilə kimyəvi reaksiyalar, mikroradikalların oksigen və digər parçalanmış aktiv maddələrlə (azot və sulfat turşu qalıqları - NO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, CO və s.) gedən reaksiyalar intensivləşir. Bu proseslərin sürəti kimyəvi reaksiyaların kinetikasi ilə təyin edilir. Əgər verilmiş maddənin vahid həcmində ilkin molekulların sayı  $N_0$ ,  $t$  müddətindən sonra isə,  $N_t$  ilə götürülsə, burada gedən kimyəvi reaksiyanın sürəti aşağıdakı kimi ifadə olunur:

$$-\frac{dN_t}{dt} = K_t N_t \quad (4.1.1)$$

burada  $K_t$  - vahid zamanda molekulanın parçalanma ehtimalını və ya kimyəvi reaksiyanın sürətini göstərən əmsaldır. Reaksiyanın sürəti, temperaturdan asılı olaraq *Arrenius* qanunu ilə yazılır:

$$K_t = K_0 e^{-\frac{W_a}{kT}} \quad (4.1.2)$$

burada  $K_0$  –maddənin quruluşu və molekulların ilkin  $N_0$  sayından asılı olan əmsaldır;  $W_a$  – aktivləşmə enerjisi,  $k$ -Bolsman sabiti,  $T$  – mütləq temperaturdur.

(4.1.1) formulasında başlanğıc şərtləri nəzərə alsaq ( $t=0$ ,  $N_t=N_0$  olduğundan) aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$N_t = N_0 \cdot e^{-K_t t} \quad (4.1.3)$$

Çox hallarda  $N_i/N_0=C_1$  nisbətinin müəyyən bir qiymətində, termik parçalanma və məmulatın sıradan çıxdığını təyin etmək mümkün olur. Bu halda (4.1.2) və (4.1.3) ifadələrinə əsasən  $T_1$  və  $T_2$  temperaturlarında, məmulatın resursları arasında aşağıdakı münasibət doğru olur:

$$\tau_{r1} \cdot e^{-W_a/RT_1} = \tau_{r2} \cdot e^{-W_a/RT_2} \quad (4.1.4)$$

və ya başqa şəkildə:

$$\frac{\tau_{r2}}{\tau_{r1}} = e^{\frac{W_a}{k} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)} \quad (4.1.5)$$

Müəyyən  $T_1$  temperaturası üçün,  $B = \tau_{r1} \cdot e^{-W_a/RT_1}$  qəbul edilərsə, ixtiyari  $T$  temperaturundan asılı olaraq izolyasiyanın resursu aşağıdakı formula ilə yazılır:

$$\tau_r = B \cdot e^{W_a/RT} \quad (4.1.6)$$

Üzvi quruluşlu izolyasiyada kimyəvi parçalanmaların sürəti, temperaturun hər  $10^0$  C artımı halında iki dəfə artır. Bu proses müxtəlif yollarla keçir. Məsələn, selulozanın termik destruksiyası polimerləşmə dərəcəsinin azalması ilə keçir. Seluloza molekullarında struktur zəncirlərinin qırılması mexaniki möhkəmliyin azalması kağız və kartonun elastikliyi (çevikliyi) azalması və kövrəkləşmə ilə müşahidə olunur. Kağız və karton izolyasiyasında istifadə edilən seluloza molekulasının ilkin polimerləşmə dərəcəsi 1300 radikalından  $[C_6O_5H_{10}]$  ibarət olur. Köhnəlmədən sonra isə bu say 100-200 –ə qədər azalır və o asanlıqla oxalanıb tökülür. Kağız və karton təkcə izolyasiya elementi deyil, həm də konstruksiya məmulatları olduqlarından, mexaniki möhkəmliyin bu şəkildə itirilməsi yol verilməzdir. Termik təsirlərdən köhnəlmiş kağızın elektrik xassələri kifayət qədər yüksək qalsa da, mexaniki möhkəmliyin itirilməsi ilə yaranan çatlar deşilməyə və onların sıradan çıxmasına səbəb olur. Maddələrin kimyəvi köhnəlməsi *elektrokimyəvi deşilmə* ilə nəticələnir.

İzolyasiya yağları və digər maye dielektriklərin kimyəvi köhnəlməsi özünü hər şeydən çox oksidləşmədə göstərir. Quru olan oksidləşmiş yağın elektrik möhkəmliyi təzə yağın elektrik möhkəmliyindən çox da fərqlənmir. Lakin birincilərdə  $tg\delta$  və xüsusi keçiricilik -  $\gamma$  daha çox artır.

Havada yüksək nəmlik və temperatur olduqda, elektrokimyəvi deşilmə sürətlənir. Deşilmənin bu növü materialların müqavimətinin və elektrik möhkəmliyinin azalması ilə keçir, sabit və aşağı tezlikli gərginliklərdə daha intensiv olur. Qapalı məsamələrdə qaz qabarcıqlarının ionlaşması, istilik

effekti və bərpa edici kimyəvi reaksiyalara səbəb olan, yüksək tezlikli dəyişən gərginliklərdə də sürətlənir.

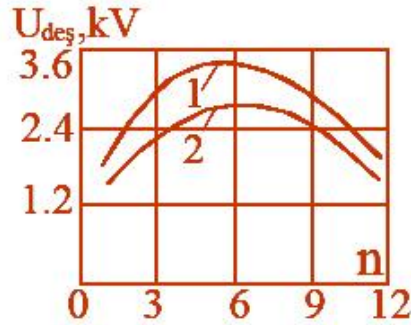
Elektrik-kimyəvi deşilmə uzun müddətli prosesdir. Tərkibində dəyişən valentli metal oksidi olan (məsələn Ti O<sub>2</sub>) aktiv keramikada və bir sıra üzvi polimerlərdə çox müşahidə olunur.

## **2.4 Yağ-kağız izolyasiyasında gərginlik paylanmasının hesablatları**

Elektrik izolyasiya konstruksiyalarında müxtəlif materiallardan ibarət, kombinə edilmiş izolyasiya istifadə edilir. Kombinə edilmiş yağ-kağız izolyasiyası elektrik sahəsinə nəzərən ardıcıl qoşulmuş qatlardan ibarət olur.

Kombinə edilmiş izolyasiya, elektrik izolyasiya materialının ardıcıl qoşulmuş qatlarından ibarətdir. Yağ-kağız izolyasiyası kondensator, kabel, transformator, keçid izolyatorları və başqa konstruksiyalarda geniş tətbiq olunur. Yağ-kağız izolyasiyasının çox yayılmasına səbəb, onun yüksək elektrik möhkəmliyi ( $150-300 \text{ kV/mm}$ ) və istismar zamanı kifayət qədər davamiyyətli olmasıdır. Qısa müddətli deşilmə gərginliyinə göstərdiyi elektrik möhkəmliyi yağ-kağız izolyasiyasının çox qatlılığı ilə izah edilir. Kağızın bir vərəqəsinin deşilməsi zamanı onun ayrı-ayrı sahələrində deşilmə gərginliyinin qiymətləri çox fərqli olur. Bu kağızın qeyri bircinsli tərkibi ilə izah edilir. Kağız vərəqəsinin sahəsi artdıqca, orada zəif yerlərin olması ehtimalı da artır. Bu faktor deşilmə gərginliyinin orta qiymətinin azalmasına səbəb olur. İki vərəqəni üst-üstə qoyduqda, birinin zəif yerlərini o birisi vərəqə örtür. Layların sayı artdıqca, üst-üstə düşən zəif yerlərin olması ehtimalı azalır. Digər tərəfdən layların sayı aptdıqca, izolyasiyanın qalınlığı artır və elektrodların kənarlarında sahənin qeyri bircinsliliyi çox tə'sir göstərir. Bu zaman həm də izolyasiyanın temperaturunun artması elektrik möhkəmliyinin azalmasına səbəb olur. Biri-birini örtən kağız laylarının elə bir optimal sayı mövcuddur ki, burada qeyri bircinsliliyin ləğv edilməsi ilə artan deşilmə gərginliyi maksimal olur (şək.4.1.2). Qrafikdə göstərilmiş 1-əyrisi təcrübi qiymətlər əsasında alınan nəticələri təsdiq edir.

Deşilmə gərginliyinin maksimal qiyməti kağızın qalınlığı və elektrodların səthinin sahəsindən asılıdır.



Şək.4.1.2. Deşilmə gərginliyinin kağız vərəqələrin sayından və elektrodun sahəsindən asılılığı 1-elektrodun sahəsi  $400 \text{ mm}^2$  2 - elektrodun sahəsi  $10^6 \text{ mm}^2$ -dir.

Maksimal elektrik mökəmliyi təxminən 6-10 ədəd üst-üstə qoyulmuş kağız vərəq qatları olduqda alınır. Bir neçə ardıcıl qoşulmuş yağ-kağız laylarından ibarət olan izolyasiyada bir qatın deşilməsi, elektrodlar arası deşilməyə səbəb olur. Məsələn, yağ qatının deşilməsi başqa deşilməmiş laylarda ESG-nin artmasına səbəb olur. Bir layın deşilməsi zamanı başqa qatlarda ESG-nin artmasını öyrənək. Bu məqsədlə çox qatlı izolyasiyanın şəkil 4.1.3-də göstərilmiş əvəz sxeminə baxaq:

İzolyasiyadan keçən cərəyan:

$$I = U_1 Y_1 = U_2 Y_2 \quad (4.1.23)$$

burada  $Y_1$ - bütün kağız qatlarının tam keçiriciliyi,  $Y_2$ - bütün yağ qatlarının keçiriciliyidir. Uyğun olaraq  $U_1$  və  $U_2$  bütün kağız və yağ qatlarında cəmi gərginlik düşkünləridir.

Kağız qatlarının sayı  $n$  olarsa, ardıcıl qoşulmuş qatlı kağız izolyasiyasının keçiriciliyi üçün aşağıdakı düstur alınır:

$$Y_1 = \sqrt{\frac{1}{\rho_k^2} + (\omega \varepsilon_0 \varepsilon_{nk})^2} \frac{S}{\sqrt{1 - i \Delta_k}} = \omega \varepsilon_0 \varepsilon_{nk} \sqrt{1 + tg^2 \delta_k} \frac{S}{\sqrt{1 - i \Delta_k}} \quad (4.1.24)$$

burada  $\rho_k$  - kağız toxumalarının xüsusi həcmi müqaviməti,  $\varepsilon_{nk}$  - toxumaların nisbi dielektrik nüfuzlüğudur,  $\omega$  - dəyişən cərəyanın dairəvi bucaq tezliyidir;  $tg \delta_k$  - kağız toxumalarında dielektrik itkisi bucağının tangensidir;  $i$  - deşilmiş kağız qatlarının sayı;  $\Delta_t$  - bir vərəqdə olan toxumaların qalınlığıdır.

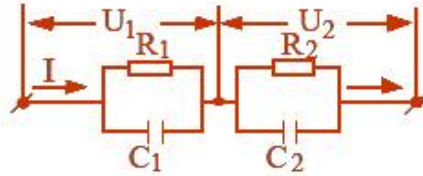
$$\Delta_t = \Delta \cdot \gamma / \gamma_t \quad (4.1.25)$$

burada  $\Delta$  - kağız vərəqənin qalınlığı,  $\gamma$  - kağızın sıxlığı,  $\gamma_t$  - toxumaların sıxlığıdır.

Yağ qatlarının tam keçiriciliyi isə analogi olaraq aşağıdakı kimi hesablanır:

$$Y_2 = \sqrt{\frac{1}{\rho_j^2} + (\omega \varepsilon_0 \varepsilon_{nj})^2} \frac{S}{\left[ -j \Delta_j \right]} = \omega \varepsilon_0 \varepsilon_{nj} \sqrt{1 + tg^2 \delta_j} \frac{S}{\left[ -j \Delta_j \right]} \quad (4.1.26)$$

burada  $\rho_j$ -yağın xüsusi həcmi müqavimətidir;  $\varepsilon_{ny}$ - yağın nisbi dielektrik nüfuzlüğudur;  $tg \delta_j$  -yağın dielektrik itgi bucağının tangensidir;  $j$  - deşilmiş yağ qatının sayı;  $\Delta_j$  - bir yağ qatının qalınlığıdır.



Şəkil 4.1.3. Kombinə edilmiş iki laylı izolyasiyanın əvəz sxemi

Kondensatorların yağ-kağız izolyasiyasını preslənmə yolu ilə sıxlaşdırırlar. Preslənmə, nəticədə sıxlaşdırma əmsali ilə xarakterizə olunur:

$$\kappa_{pres} = \frac{n\Delta}{n\Delta + n\Delta_y} = \frac{\Delta}{\Delta + \Delta_y} \quad (4.1.27)$$

Tədbiq olunan gərginlik aşağıdakı iki toplananla hesablanır:

$$U = U_1 + U_2 \quad (4.1.28)$$

Alınmış ifadələri birlikdə həll edərək kağız qatlarının toxumalarında və yağ qatlarında gərginlik düşkünlərini təyin edirlər: - kağız qatlarındakı gərginlik,

$$U_1 = \frac{U}{1 + \frac{\varepsilon_{nk} \sqrt{1 + tg^2 \delta_k}}{\varepsilon_{ny} \sqrt{1 + tg^2 \delta_y}} \cdot \frac{n-j}{n-i} \cdot \frac{\gamma_k}{\gamma \cdot k_{pres}} \left[ -\kappa_{pres} \right]} \quad (4.1.29)$$

yağ aralığında isə aşağıdakı kimi yazıla bilər:



$$U_2 = \frac{U}{1 + \frac{\varepsilon_{ny} \sqrt{1 + tg^2 \delta_y}}{\varepsilon_{nk} \sqrt{1 + tg^2 \delta_k}} \cdot \frac{n-i}{n-j} \cdot \frac{\gamma \cdot K_{pres}}{\gamma_k \cdot (-K_{pres})}} \quad (4.1.30)$$

Kağız toxumalarında ESG-nin ifadəsi

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{U_1}{\varepsilon_{nk} \sqrt{1 + tg^2 \delta_k}} = \frac{U_1 \gamma_k}{\varepsilon_{nk} \sqrt{1 + tg^2 \delta_k}} = \\ &= \frac{U \gamma_k}{\varepsilon_{nk} \sqrt{1 + tg^2 \delta_k} \left[ 1 + \frac{\varepsilon_{ny} \sqrt{1 + tg^2 \delta_y}}{\varepsilon_{nk} \sqrt{1 + tg^2 \delta_k}} \cdot \frac{n-i}{n-j} \cdot \frac{\gamma \cdot K_{pres}}{\gamma_k \cdot (-K_{pres})} \right]} \end{aligned} \quad (4.1.31)$$

Yağ aralıqlarında ESG-nin ifadəsi

$$\begin{aligned} E_y &= \frac{U_2}{\varepsilon_{ny} \sqrt{1 + tg^2 \delta_y}} = \frac{U \cdot k_{pres}}{\varepsilon_{ny} \sqrt{1 + tg^2 \delta_y} \cdot (-k_{pres})} \quad (4.1.32) \\ E_y &= \frac{U \cdot k_{pres}}{\varepsilon_{ny} \sqrt{1 + tg^2 \delta_y} \left[ 1 + \frac{\varepsilon_{nk} \sqrt{1 + tg^2 \delta_k}}{\varepsilon_{ny} \sqrt{1 + tg^2 \delta_y}} \cdot \frac{n-i}{n-j} \cdot \frac{\gamma \cdot k_{pr}}{\gamma_k \cdot (-k_{pr})} \right]} \end{aligned}$$

$E_K$  və  $E_{yağ}$  - nin ifadələri bir və ya bir neçə kağız və yağ qatının dəşilməsindən sonra, gərginliyin sağlam qatlar arasında paylanması şərtindən alınmışdır. Burada kanalın başlığında yerli ESG-nin artması nəzərə alınmamışdır.

Hesabatlarda parametrlərin aşağıdakı qiymətləri götürülür: -toxumanın sıxlığı -  $\gamma_k = 1550 \text{ kg/m}^3$ ; kağızın sıxlığı-  $\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$ , sıxlaşma əmsali  $K_{pres} = 0,9$  qatların sayı  $n=6$ . Kağız və yağ qatları üçün tam keçiriciliklərin nisbətləri

elektrofiziki parametrlərə görə aşağıdakı kimi qəbul edilir:  $\frac{\varepsilon_{nk} \sqrt{1 + tg^2 \delta_k}}{\varepsilon_{ny} \sqrt{1 + tg^2 \delta_y}} = 3$

Götürülmüş bu qiymətlər real yağ-kağız izolyasiyalı kondensatorun iş şəraitinə uyğun gəlir. Cədvəl 4.1.1-də dəşilmiş yağ və kağız qatlarında elektrik sahə gərginliklərinin qiymətlərinin, sağlam qatlardakı ESG-nin qiymətlərinə nisbəti verilmişdir.

Hesabatlar müxtəlif variantlarda aparılmışdır. Burada  $i=0$  və  $j=0$  variantları bütün kağız qatları və bütün yağ aralıqlarının sağlam olduğu hallardakı hesabatlara uyğundur. Bu hallar üçün elektrik sahə gərginlikləri uyğun olaraq,  $E_{yağ0}$  və  $E_{k0}$ - la işarə ediləcəkdir. Analoji olaraq  $E_{kij}$  və  $E_{yağij}$  -  $i$  sayda kağız və  $j$  sayda yağ qatları dəşildikdət sonra, yerdə qalan kağız və yağ qatlarındakı elektrik sahə gərginlikləridir.

Cədvəl 4.1.1 – də 6 qatlı konstruksiya üçün aparılmış hesabatlar verilmişdir. Alınmış nəticələrdən görüldüyü kimi, kağız toxumalarında ESG yağ qatlarındakı ESG –dən 3 dəfə kiçikdir.

Hesabatlardan görüldüyü kimi dəşilmə kanalının başlığında yerli sahə gərginliklərinin artımı 3-5 dəfəyə qədər artır.

Ona görə, yağ və kağızın elektrik möhkəmlikləri bərabər götürülsə belə, bütün yağ qatlarının dəşilməsi halında da onlarla ardıcıl qoşulmuş kağız qatlarında ESG-nin qiyməti aşağı olur. Yağ və onunla hopdurulmuş kağızın elektrik möhkəmliklərinin nisbəti, kağızda 3-4 dəfə yağdakından böyük olur.

Cədvəl 4.1.1 də verilmiş hesabatlarda yağ-kağız izolyasiyalı konstruksiyalarda, aralıqların dəşilmə kanalının başlığında yerli sahə gərginliyinin artımı nəzərə alınmamışdır.

Cədvəl 4.1.1-də verilmiş nəticələr, yağ-kağız izolyasiyasının dağılma ardıcılığını öyrənməyə imkan verir. Yağ-kağız izolyasiyasının ən zəif mənaqası konstruksiyanın yağ aralığıdır.

Kiçik aralıqlar üçün yağın elektrik möhkəmliyi 40-100 MV/m, seluloza hüceyrələrindən təşkil olunmuş və yağda hopdurulmuş kağızın elektrik möhkəmliyi isə, 300-500 MV/m həddlərindədir.

Cədvəl 4.1.1-dən görünür ki, elektrik möhkəmliyi aşağı olan yağ aralığına daha böyük sahə gərginliyi düşür. Beləliklə, izolyaiyaya nisbətən böyük gərginlik tətbiq edildikdə, birinci olaraq yağ aralığı dəşilir. Bir yağ aralığı dəşildikdə, qalan aralıqlarda elektrik sahə gərginliyi cəmi 6% artır. Dəşilən yağ aralığına bitişik olan kağız qatında yerli elektrik sahə gərginliyi daha çox artacaqdır. Kağız hüceyrəsi yüksək elektrik möhkəmliyinə malik olduğundan, yerli sahə gərginliyinin artması kağız qatının dəşilməsinə kifayət etmir. Dəşilmə kanalı dielektrikin sağlam qatları ilə ardıcıl qoşulduğundan və dəşilmə kanalı qonşu mənaqalardan enerji almadığından boşalma kəsiləcəkdir.

*Cədvəl 4.1.1*

$i$	$j$	$E_{j\text{yağ}}/E_{j0}$	$E_{ijkay}/E_{j0}$	$E_{ijkağ}/E_{k0}$
-----	-----	--------------------------	--------------------	--------------------

0	0	1,000	0,333	1,000
0	1	1,060	0,353	1,060
0	2	1,128	0,378	1,128
0	3	1,205	0,402	1,205
0	4	1,294	0,431	1,294
0	5	1,396	0,436	1,396
0	6	0,000	0,506	1,527
1	0	1,124	0,374	1,124
2	0	1,282	0,427	1,282
3	0	1,492	0,497	1,492
4	0	1,784	0,594	1,784
5	0	2,220	0,740	3,220
6	0	2,986	0,000	2,852
1	1	1,200	0,400	1,200
2	2	1,500	0,500	1,500
3	3	2,000	0,667	2,000
4	4	3,000	1,000	3,000
1	2	1,288	0,429	1,288

Beləliklə, yağ aralığının deşilməsi ilə qismi boşalma meydana çıxar. Qismi boşalma müddəti  $10^{-8}$ - $10^{-9}$  saniyə hududlarında olur. Qismi boşalma baş verən yağ aralığı ilə ardıcıl qoşulmuş ikinci yağ kanalının deşilməsi aşağıdakı səbəblərdən mümkünsüz və ya az ehtimallıdır:

- 1) yüksək elektrik sahə gərginliyi çox qısa müddətdə (ən çox  $10^{-8}$  san) təsir edir. Yağın impuls əmsalı isə böyükdür  $k_{imp} = 2-3$  ;
- 2) yağ qatının ən zəif yerində qismi boşalma baş verir və həmin kiçik nöqtənin bərabərində onunla ardıcıl ikinci bir zəif yerin olma ehtimalı azdır;
- 3) qismi boşalma sonluğunda yerli sahə gərginliyi sağlam kağız qatına təsir edir ki, bu zaman baryer effekti hesabına deşilməmiş yağ aralıqlarında elektrik sahə gərginlikləri bərabərləşir.

*Cədvəl 4.1.1* –dən görüldüyü kimi, iki yağ aralığı və bir kağız qatı deşildikdə elektrik sahə gərginliyinin ən böyük artımı müşahidə edilir. Kağız qatının deşilməsi üçün tətbiq edilən gərginliyin xeyli artırılması lazımdır. Çox qatlı yağ-kağız izolyasiyasının elektrik möhkəmliyinin yüksək olması da bununla izah edilir. Çünki, ayrı-ayrı qatların biri-birinin ardınca deşilməsi üçün təsir edən uzun müddətli gərginlik və ya qısa müddətli impuls gərginliyinin xeyli artırılması lazımdır.

## 2.5 Maye izolyasiyada digər elektrik prosesləri

Məlumdur ki, bir çox yüksək gərginlik qurğularının elektrik izolyasiyalarında neft və ya sintetik maye dielektrləri geniş tətbiq edilir. Onlara transformator, kabel, kondensator, açar və s. kimi qurğular aiddir. Onlarda elektrik sahəsi qeyri bircinsli olur. Bu halda maye izolyasiyanın deşilməsi müəyyən yerlərdə elektrik sahə gərginliyinin yerli artımları hesabına baş verir. Mayenin deşilməsi elektrik sahəsi istiqamətində qeyri bircinsliliyin qiyməti və ölçüsü (əhatə sahəsi) çox olan yerlərdən başlayır. Böyük ölçülü sahələrdə qeyri bircinsliliyə malik olan nümunələrin elektrik möhkəmliyi aşağı olur. Bərk dielektrlərdə qeyri bircinsli sahələrin ölçüləri dəyişmir. Məsələn, farforun tərkibi kristal, şüşə əmələ gətirici və məsaməli tərkiblərdən ibarət olan sabit bir quruluşa malikdir. Maye dielektrlərin molekullarının intensiv istilik hərəkətləri isə, qeyri bircinsli sahələrin forma və ölçülərini dəyişdirirlər. Mayelərin tərkibi də *kaoqulyasiya* edən (toplanan) oblastlar hesabına dəyişir. Bununla yanaşı, istilik hərəkətində olan maye molekulları kaoqulyantlara təsir edərək onları parçalayırlar. Qeyri bircinsli oblastlar elektrik sahəsi təsirindən polyarizasiya olunurlar. Nəticədə, səth istiqamətində onların ölçüləri genişlənir. Sahə istiqamətində artan qeyri bircinslilik isə, maye molekullarının xotik Broun hərəkəti təsirindən dağılır. Beləliklə, kaoqulyasiya etmiş böyük ölçülü qeyri bircinsliliklər molekulların istilik hərəkəti və elektrik sahəsi təsirindən müəyyən «yaşama müddətinə» malik olurlar. Bu proseslərdə temperatur asılılığı əsas əhəmiyyət daşıyır. Sahə istiqamətində yaranan böyük ölçülü qeyri bircinsliliyin kənarlarında isə yerli ESG artır. Bu ESG, verilmiş maye dielektrik üçün deşilmə həddinə yaxınlaşarsa boşalma kanalı inkişaf etməyə başlayır. Kanal elektrodlar arası məsafəni əhatə edərsə, dielektrik tamamilə deşilir. Lakin, qeyri bircinsli elektrik sahəsində inkişaf edən kanalın uclarında ESG-nin təsiri az olduğundan boşalma natamam olur. Qısa müddətli gərginlik təsir etdikdə, gərginliyin qiyməti kifayət olmadıqda, boşalma kanalı yenə də başa çatmır. Qeyri bircinsliliyin yaranması, sahə təsirindən inkişafı və sürətlə dağılması, eyni bir maye nümunəsində, deşilmə gərginliklərinin böyük intervallarda dəyişməsinə səbəb olur. Tətbiq olunan gərginlik istilik hərəkətinin artması və qeyri bircinsliliyin dağılmasına səbəb olmazsa maye və bərk dielektrlərə oxşar (eyni) fiziki model kimi baxırlar şəkl.1.2.2. Qeyri bircinslilik mayədə bir qərarda paylanarsa onun konsentrasiyası aşağıdakı kimi hesablanı bilər:

$$p = \frac{4\pi \cdot r^3}{3 \cdot a^3} \quad (1.2.6)$$

burada  $r$ -qeyri bircinsli oblastda toplanan kürəciklərin orta radiusları,  $a$ -qeyri bircinsli kürələrin mərkəzləri arasında məsafədir.

Qeyri bircinslilik mayelərdə ixtiyari qaydada qarışır və müxtəlif cür paylanırlar. Onun konsentrasiyası tutduğu həcm, maddənin həcminə nisbəti kimi təyin edilir (1.2.6). Maye izolyasiyadan şəkl.1.2.2-də verilmiş  $l$  hündürlüyündə bir silindrik həcm götürək. Oradakı paylanmanı həndəsi ehtimalla aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$p_1 = \frac{4\pi \cdot r^2}{\pi \cdot a^2} = 4 \frac{r^2}{a^2} \quad (1.2.7)$$

Qeyri bircinsliliyin silindrin daxilinə və onun mərkəzinin də silindrin oxuna düşdüyü ehtimalı iki funksiyanın hasili kimi təyin edilir:

$$p_2 = p_1 \cdot p = \frac{4r^2}{a^2} \cdot p \quad (1.2.8)$$

(1.2.6) -dan  $r/a$  nisbətini təyin edib,  $p_2$  -nin ifadəsində yerinə yazaraq aşağıdakı fomulanı almaq olar:

$$p_2 = 1,54 \cdot p^{5/3} \quad (1.2.9)$$

Silindrin oxunda dəqiq,  $z$  sayda qeyri bircinsliliyin olması ehtimalı aşağıdakı kimi yazılır:

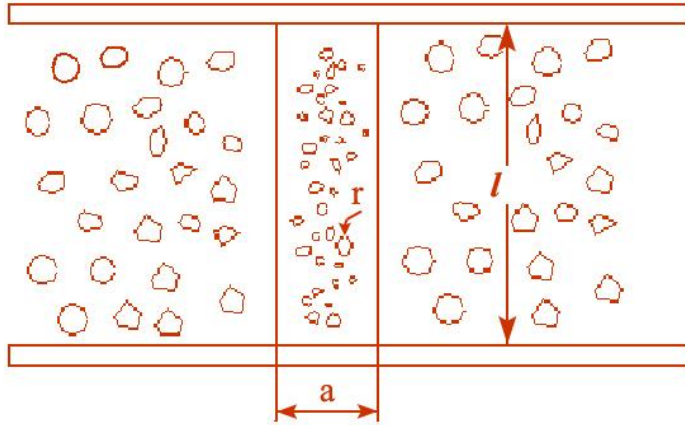
$$q \binom{N}{z} = C_n^z \cdot p^z \cdot (1-p)^{N-z} \quad (1.2.10)$$

burada  $N=l/2r$  –maksimal dərəcədə silindrin oxuna düşən qeyri bircinsliliklərin sayıdır.

Beləliklə (1.2.9) formulasına əsasən verilmiş şərtlərdə qeyri bircinslilik bir qərarla paylanacaqdır (1.2.10).

Mayelərin deşilmə mexanizmləri, elektrik möhkəmliyinin tətbiq olunan gərginliyin təsir müddətindən, qeyri bircinsliliyin konsentrasiyasından, elektrodların səthinin sahəsindən, elektrik sahəsinin qeyri bircinslilik əmsalından asılı olduğunu subut edir. Mayelərin deşilməsinin kəmiyyət məsələləri hələ də öz həllini tapmamışdır. Ona görə, müxtəlif iş şəraitləri üçün maye izolyasiyasının layihələndirilməsi çətindir. Bu səbəbdən, layihələndirilən konstruksiyanın etibarlılığını və xidmət müddətini proqnoz etmək mümkün olmur.

Bu sahədə aparılan elmi araşdırmalar əsasən təbii neft yağlarına aid edilmişdir. Lakin bu sahədə alınan ümumi nəticələr süni sintetik yağlara da tətbiq edilə bilər. Çünki bütün mayelərdə keyfiyyətə eyni proseslər yer alır.



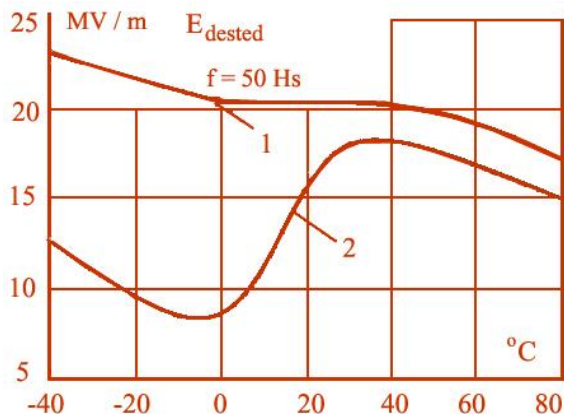
Şək. 1.2.2. Maye dielektrlərdə qeyri bircinslilik modeli

Yağın elektrik möhkəmliyinin aşqarlardan güclü asılı olduğu məlumdur. Yaxşı təmizlənmiş karbohidrogen tərkibli mayələrin, kiçik məsafədə aralığı olan standart elektrodlar arasında elektrik möhkəmliyi 1000 kV/mm qiymətlərə çatır. Real konstruksiyalarda işlədilən yağların elektrik möhkəmlilikləri isə 20-40 kV/mm olur.

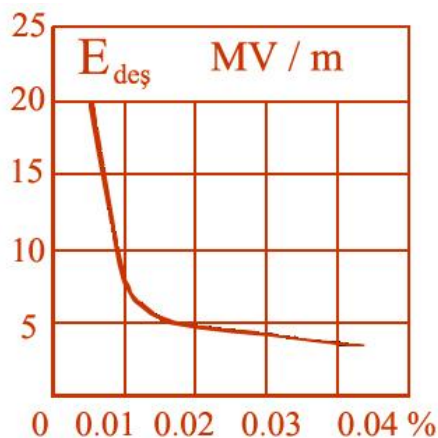
Aşqarlar mayenin tərkibində müxtəlif vəziyyətlərdə olurlar: -tərkibdə bərk maddənin hissəciklərinin asılmış vəziyyəti - *suspensiya* və həll olunmuş polyar mayələrin hissəcikləri : -*emulsiya* şəkilində olurlar. Bunlardan başqa mayələrin tərkibində həll olunmuş qaz qabarcıqları da ola bilər. Bütün bunlar, maye dielektrlərin elektrik möhkəmliliklərini azaldır şək.1.2.3. Şək.1.2.3. və Şək. 1.2.4-də uzun müddət işlənmiş transformator yağının tərkibində olan qarışıqlar və su buxarları kimi aşqarların, təzə yağla müqayisəli elektrik möhkəmliyinin temperatur asılılıqları verilmişdir. Bu zaman elektrik sahəsi, elektrodların forma və ölçüsündən də asılı olur. Zəif qeyri bircinsli sahələrdə transformator yağının elektrik möhkəmliyi, yağın keyfiyyəti artdıqca çoxalır.

Bircinsli sahədə 50 Hs cərəyan təsirindən yaranan deşilmə gərginliyi 30% çox olur. Kəskin qeyri bircinsli elektrik sahəsində impuls və ya dəyişən cərəyan təsiri ilə alınan deşilmə gərginliklərin qiymətlər fərqi 10% təşkil edir. Elektrodların sahəsi, temperatur və aşqarların konsentrasiyası artdıqca boşalma gərginliklərinin qiymətlər fərqi statistik paylanması daha da çoxalır. İmpuls gərginliyi təsir etdikdə bircinsli sahədə yağın boşalma gərginliyi onun keyfiyyəti ilə az dəyişir. Qısa impulslarda boşalma zamanı deşilmə gərginliklərində alınan qiymətlər fərqi azalır. Bu hadisə deşilmənin yağın təmizliyindən az asılı olması və böyük ölçülü elektrodların səth sahəsi hesabına artan qeyri bircinsliliklə izah edilir. Qeyri bircinsli oblastlar təsiri tez

keçən ani müddətli gərginlik tətbiqi ilə orientasiya oluna bilmədiyindən, iri həcmli oblastlarda boşalma kanalı da inkişaf etmir.



Şək.1.2.3. Transformator yağının elektrik möhkəmliyinin temperaturdan asılılığı 1-quru yağ; 2-işlədilmiş, nəmli yağ



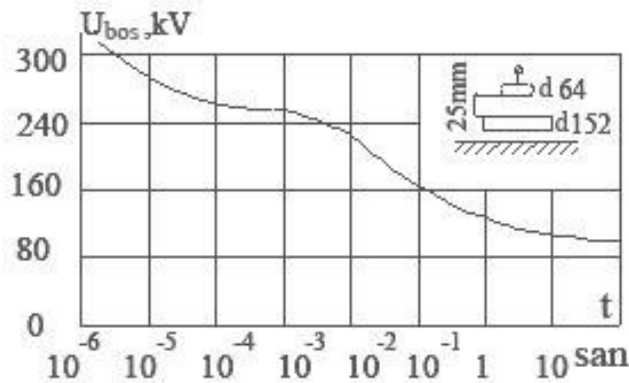
Şək.1.2.4. Yağın elektrik möhkəmliliyinin, onun tərkibindəki suyun faizindən asılılığı

Kəskin qeyri bircinsli sahədə yağın keyfiyyətinin az təsir etməsi, iti uclu elektrodlar yaxınlığında yerli sahə gərginliyinin qeyri bircinsli oblastların kənarlarındakı boşalma gərginliklərindən böyük olması ilə izah edilir. İti uclu elektrod yaxınlığında (bərabərində) qeyri bircinsli oblastlar təşkil edən yağın həcmi də az olur.

Transformator yağının deşilmə gərginliyi tətbiq edilən gərginliyin təsir müddətlərindən (*gərginlik ekspozisiyası*) güclü asılıdır. Şək.1.2.5-də həmin asılılıq verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi  $10^{-4}$  –  $10^{-3}$  san arasında və  $10^{-1}$

san - dən böyük olan təsir müddətlərində boşalma gərginlikləri sabit qiymətlər alır.  $1 \cdot 10^{-3}$  və  $10^{-3} - 10^{-1}$  saniyələr arasında isə, boşalma gərginliklərində azalmalar müşahidə edilir.

Gərginliyin təsir müddəti böyük olduqda ayrılan istilik təsirindən, toplu şəkildə olan qeyri bircinslilik dağılır. Gərginlik təsirinin elə bir müddəti olur ki, burada yaranan və dağılan qeyri bircinslilik sayca tarazlıqda olur. Ona görə, təsir müddəti artdıqca yerli ESG az dəyişir.  $1 \cdot 10^{-3}$  san intervallarında böyük ölçülü qeyri bircinsliliklərin yaranma müddəti, tətbiq olunan gərginliklə ölçülə bilən həddlərdə olur. Bu intervalda boşalma gərginliklərinin qiymətlər fərqi artır. Gərginliyin təsir müddəti azaldıqca, qeyri bircinsliliyin mövcudluğunun həmin müddət intervalına düşmə etimalı azalır.



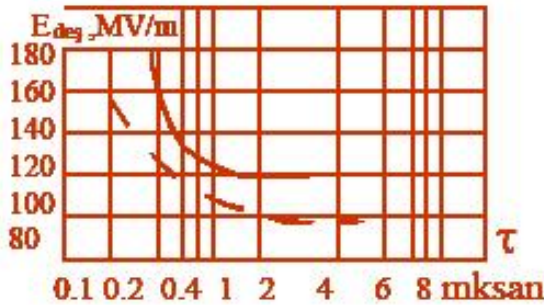
Şək.1.2.5. Boşalma gərginliyinin, gərginliyin təsir müddətindən asılılığı

## 2.6 Kağız əsaslı çox qatlı izolyasiyanın elektrik möhkəmliyinin artırılması yolları

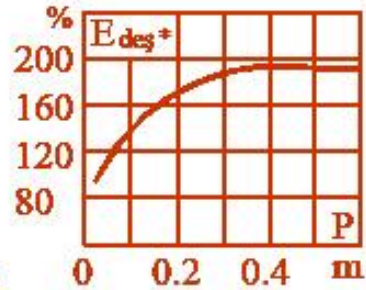
Yüksək gərginlikli elektrik izolyasiya konstruksiyaları ən çox yağ-kağız və yağ-baryer tipli tərkiblərdən təşkil olur. Hər iki konstruksiyanın əsasını elektrotexniki kağız təşkil edir. Vahid həcmdə olan çəkisinə görə fərqlənən  $1000 \text{ kg/m}^3$  sıxlıqlı (qalınlığı 12 mkm) KON-1 və  $1200 \text{ kg/m}^3$  KON-2 (qalınlığı 8mkm) markalı kabel və kondensator kağızları daha geniş yayılmışdır. Transformatorların əsas və uzununa izolyasiyalarında qalınlığı 15 mkm olan kağızlardan da istifadə edilir. Yağ - kağız izolyasiyası daha böyük qısa və uzunmüddətli elektrik möhkəmliyinə malikdir şək.4.1.4. Şəkildə özülün yağla hopdurulmuş yağ-kağız izolyasiyasının elektrik möhkəmliyinin gərginliyin təsir müddətindən asılılığı verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi, gərginliyin kiçik ekspozisiyalarında elektrik möhkəmliyi xeyli artmış olur. Əgər, hopdurucu maye təbəqəsinin elektrik möhkəmliyi artırılarsa, bütövlükdə yağ-kağız izolyasiyasının möhkəmliyi də artacaqdır. Yağın elektrik möhkəmliyinin artırılması usullarından biri, onun təzyiqinin



artırılmasıdır. Şək.4.1.4-də deşilmədə sahə gərginliyinin təzyiq asılılığı verilmişdir.



Şək. 4.1.4. Tək damarlı, özülü yağla hopdurulmuş kabel izolyasiyasının elektrik möhkəmliyinin- $E_{des}$ , gərginliyin təsir müddətindən asılılığı 1-müsbət qütblü impuls, 2- impulsun mənfi qütblüyü



Şək.4.1.5 Yağ-kağız izolyasiyada təzyiqin artması ilə elektrik möhkəmliyinin nisbi artım əyrisi  $E_{des}^*$  %-lə göstərilir

Şək.4.1.5-dən görünür ki, təzyiq 0,1 MPa-dan 0,6 MPa qədər dəyişdikdə elektrik möhkəmliyi iki dəfə artır. Temperatur artdıqca yağ və kağızın elektrik möhkəmlikləri azalır ki, bu da yağ-kağız izolyasiyasının deşilmə gərginliyinin azalmasına səbəb olur.

Kabellərin yağ- kağız izolyasiyasının temperaturu 20-dən 60  $^{\circ}C$  –yə qədər artdıqda, deşilmə gərginliyi xətti olaraq azalır və bu asılılıq aşağıdakı empirik formulə ilə yazılır:

$$U_{dest} = U_{des20^{\circ}} \left[ 1 - \alpha (t - 20) \right] \quad (4.1.29)$$

burada  $U_{des t}$  - izolyasiyanın  $t$   $^{\circ}C$  temperaturunda deşilmə gərginliyi;  $U_{des 20^{\circ} - 20^{\circ}C}$ ;  $\alpha$  - deşilmə gərginliyinin temperatur asılılığı, 0,0054  $^{\circ}C^{-1}$  qiymətində bir əmsaldır.

Yağ-kağız izolyasiyasının uzun ömürlülük xassəsi yüksəkdir. Elektrik sahəsinin təsiri ilə yağ-kağız izolyasiyasının imtina etməsi aşağıdakı hallarda baş verir: 1) qismi boşalma olmadığı halda kağızın deşilməsi nəticəsində; 2) kritik hala (oblasta) keçməyən seyrək qismi boşalmaların, deşilmədən əvvəlki hala qədər davam etməsi; 3) sürətlə kritik hala keçən qismi boşalmalar olduqda.

Birinci imtina halları, elektrik sahə gərginliyinin nisbətən aşağı qiymətləri ilə və yağ aralığında qismi boşalma olmadığı vəziyyətlə xarakterikdir. Yağ, daima hərəkətdə olan molekulları hesabına quruluşunun təzələnməsi səbəbi ilə, elektrik möhkəmliyinin zamandan asılı olmadığından,

izolyasiyanın dağılması kağızın parçalanması ilə baş verir. Kağızın dağılma müddəti isə, (4.1.17) və (4.1.18) formulalarından «yaşama əyrisinə» görə təyin edilir. Lakin, kağızda elektrik sahə gərginliyi nisbətən aşağı olduğundan cədvəl 4.1.1 –dən göründüyü, kimi (yağda ESG xeyli artdığından) belə izolyasiyanın xidmət müddəti kifayət qədər böyük olacaqdır. Bir-iki qat kağız izolyasiyası dəşildikdə, yağ aralıqlarında və yerdə qalan dəşilməmiş kağız qatlarında ESG kəskin olaraq artır. Nəticədə, elektrik sahəsinin sonrakı paylanması dəşilmə kanalının sürətlə inkişaf etməsinə gətirir. İzolyasiyanın «Yaşama əyrisi»-nə görə təyin edilən xidmət müddəti, dağılma prosesi nəzərə alınmadığından kiçik olur. Qızdırıcı kondensatorlarında, aşağı sahə gərginliklərində, lakin yüksək temperaturalarda işləyən yağ-kağız izolyasiyasının imtina etmə mexanizmləri bu qəbildəndir.

İkinci halda tətbiq edilən gərginlik elə həddə çatır ki, ixtiyari yerdə yağ aralığının dəşilməsi mümkün olur. Nəticədə yağ aralığının qismi boşalma intensivliyi artır və QB yağın kiçik molekullu qazlara parçalanmasına səbəb olur. Lakin ayrı-ayrı (vahid) qismi boşalmalarda parçalanma məhsulları olan qazlar az olduğundan, onlar ya yağda həll olur və ya diffuziya yolu ilə izolyasiyadan kənara çıxırlar. Əgər tətbiq edilən gərginlik, qismi boşalma gərginliyini azacıq aşarsa, onda hər dəfə izolyasiyanın yeni yerlərində seyrək qismi boşalmalar baş verəcəkdir. Bu hal izolyasiyanın qızmasına və yerli ESG-nin artmasına səbəb olur. Nəticədə izolyasiya resursu- $R$  sürətlə tükənir. Lakin, bir qismi boşalma müddəti böyük olmadığından və hər yeni qismi boşalma təzə yerdə yarandığından izolyasiya materialının resurs tükənməsi az olacaqdır.

## 2.7 Mayelərdə bərk izolyasiyanın səthi boşalmaları

Maye izolyasiyanın bir sıra əsas xassələri §2.2.3 və 2.2.4-də verilmişdir. Qeyri bircinsli elektrik sahəsində, maye izolyasiya yerli elektrik sahəsinin artması hesabına dəşilir. Bərk izolyasiyada olduğu kimi, mayelərdə də dəşilmə gərginliyi, elektrik sahə gərginliyi istiqamətində böyük həcmli qeyri bircinsli yerlərin olması ilə azalır. İmpuls gərginliklərdə yağın boşalma gərginliyi dəyişən gərginlikdən böyük olur:

$$\chi_{imp} = \frac{U_{imp\ bos}}{U_{50\ Hs\ amp}} \quad (4.1.30)$$

burada  $U_{imp\ bos}$  – impuls boşalma gərginliyi,  $U_{50\ Hs\ amp}$  -dəyişən gərginlikdə boşalma gərginliyinin amplitud qiyməti,  $\chi_{imp}$ .boşalmanın impuls əmsəlidir.

Kürə-müstəvi elektrodlar üçün kürənin diametri 0,5 m, ara məsafəsi 0,1 m olarsa,  $\chi_{imp} = 3$ , iynə müstəvi elektrodlar arasında isə,  $\chi_{imp} = 1,7$  olacaqdır.

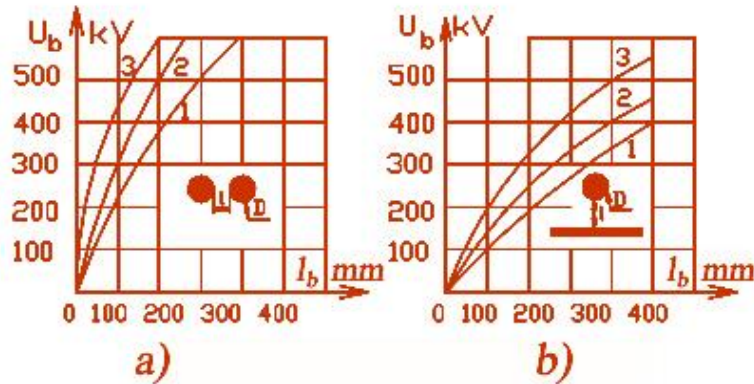
Silindrik elektrodlar üçün mayenin deşilmə gərginliyi və ESG –nin qiymətləri aşağıda verilmişdir:

$$U_{bos} = E_{bos} r \cdot \ln \frac{R}{r} \quad (4.1.31)$$

$E_{bos}$  – yağın elektrik möhkəmliyidir:  $E_{bos} = 1 + \frac{37}{\sqrt{r}}$  kimi, təyin edilir.

Transformator yağının iki paralel müstəvi və silindrlə müstəvi arasında boşalma gərginliklərinin məsafədən asılılıq qrafikləri aşağıdakı şəkillərdə verilmişdir şəkl.4.1.6.

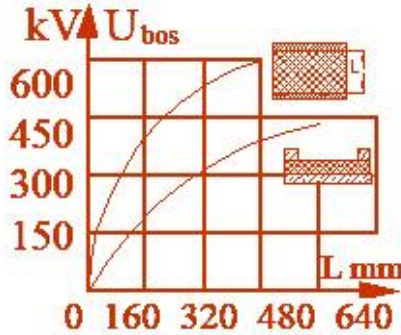
Yağ doldurulmuş aparatlarda bərk izolyasiya ilə mayenin toxunan səthində ESG qeyri bərabər olur. Yağda izolyasiya məqsədi ilə kağız, karton, bakelit və s. kimi üzvi materiallar işlədilir. Şəkl.4.1.7-də elektrotexniki kartonda elektrik sahə gərginliyinin normal istiqamətdə, kiçik və böyük ESG qiymətləri üçün, boşalma gərginliyinin məsafədən asılılıq qrafikləri göstərilir. ESG-nin böyük normal qiymətləri səthi boşalma gərginliyinin qiymətini azaldır. Sahə gərginliyinin kiçik qiymətlərində yağın keyfiyyəti artdıqca səthi boşalma gərginliyi də artır. Gərginliyin böyük normal hallarında, yağın nəmliyi artdıqca səthi boşalma gərginliyinin qiyməti artır. Çünki nəmlik ilk anlarda səth boyu gərginlik paylanmasını bərabərləşdirir.



Şəkl.4.1.6. a)50 Hs tezlikli gərginlik təsir etdikdə a) silindr-silindr və b) silindr müstəvi elektrodlar arası məsafənin deşilmə gərginliklərinin məsafədən asılılıq ayrılıqları, burada 1-  $D=25$ , 2- $D=50$ ,  $D=110$  mm olduğu hallardakı ayrılıqlardır

Sahə gərginliyinin səthə perpendikulyar təsir edən normal qiyməti kifayət qədər olduqda, tətbiq edilən gərginlikdən asılı olaraq, yağda əvvəlcə

taclanma, sonra isə sürüşən boşalma və səthin qövsələ bürünməsi kimi elektrik prosesləri baş verir. Bu proseslər empirik ifadələrlə yazılır.



Şək.4.1.7. Elektrotexniki karton üçün transformator yağında 50 Hs tezlikli gərginlik təsiri ilə boşalma gərginliyinin məsafədən asılılıq qrafikləri

Kağız-bakelit izolyasiyasına dəyişən gərginlik təsir etdikdə yağda taclanma gərginliyi aşağıdakı empirik düsturla ifadə edilir[25]:

$$U_{tac} = 121 \cdot \Delta^{0,45} \quad (4.1.32)$$

Səth üzrə sürüşən boşalma yaradan gərginlik isə,

$$U_{sürboş} = 310 \cdot \Delta^{0,45} \quad (4.1.33)$$

Yağ kağız izolyasiyası üçün, dayanıqlı və dayanıqsız tac boşalma gərginlikləri Q.S. Kuçinski tərəfindən təklif olunan empirik formulalara görə hesablanır [20]:

$$\text{Dayanıqsız} - U_{tac d-sız} = 182 \cdot \Delta^{0,42} \text{ və dayanıqlı tac} - U_{tac d-lı} = 327 \cdot \Delta^{0,42}. \quad (4.1.34)$$

Burada və (4.2.3), (4.2.4) formulalarında  $\Delta$  -izolyasiyanın m-lə götürülmüş qalınlıqlarıdır.

Maraqlıdır ki, elektrodlar arası məsafənin böyük qiymətlərində yağda elektrik boşalma gərginliklərinin qiymətləri, havanın boşalma gərginliyindən də kiçik olur şək.4.1.8. Təcrübələrdə dayanıqsız tac boşalmasının gərginlikləri 40% qiymətlər fərqi verir. Variasiya əmsali isə, 0,1-0,15 arasında dəyişir. Dayanıqlı tac boşalma gərginlikləri 5-10% qiymətlər fərqi verir. Bu halda variasiya əmsali 0,02-0,04 arasında qiymətlər alır.

Trasnformator, reaktor, yüksək gərginlikli girimlər, muftalar və s. kimi konstruksiyaların izolyasiya elementləri yağda işləyən silindrik formalı dielektriklərdir. Onlarda səthi boşalma gərginlikləri aşağıdakı düsturla təyin edilir:

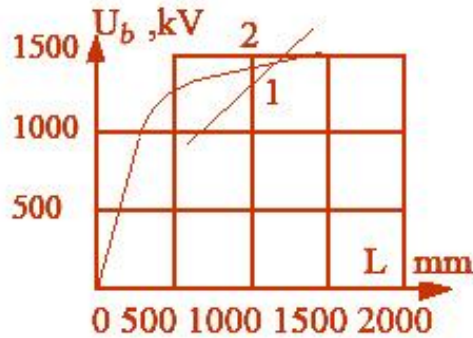
$$U_{sur\ bos} = 740 \sqrt{\frac{r_2}{\epsilon_n} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (4.1.35)$$

Burada  $r_1$  və  $r_2$  uyğun olaraq çilindrik dielektrikin daxili və xarici radiusları,  $\epsilon_n$  – bərk dielektrikin nisbi dielektrik nüfuzluluğudur.

Bütün dielektrlərdə olduğu kimi, yağlarda yerləşdirilmiş dielektrlərin də deşilmə gərginlikləri aşağıdakı empirik ifadə ilə hesablanır:

$$U_{boş} = U_{sür\ boş} + E_{\tau} \cdot l$$

burada  $U_{sür\ boş}$  səthi və ya sürüşən boşalma gərginliyi,  $E_{\tau}$  səthin qövsə bürünməsi zamanı elektrik sahə gərginliyinin qiyməti,  $l$  – qövsə bürünən səthin uzunluğudur.



Şək.4.1.8. İmpuls gərginliyinin təsiri ilə bərk dielektrikin səthi üzrə havada -1 və yağda -2 boşalma gərginliklərinin məsafədən asılıqları

Yağ kağız və kağız bakelit izolyasiyaları üçün və elektrodlar arası məsafə 0,15 m-ə qədər olan hallarda,  $E_{\tau}$  – 600-650 kV/mm qiymətlər alır.

### 3. QURĞU VƏ KONSTRUKSIYALARIN ELEKTRİK SAHƏLƏRİ

#### 3.1.1. Bircinsli və qeyri bircinsli elektrik sahələri

Qaz və ya havada, yüksək gərginliklərdə işlədilən YG qurğuları və izolyasiya konstruksiyaları bütövlükdə qeyri bircinsli elektrik sahəsində yerləşirlər. Qeyri bircinslilik izolyasiya konstruksiyalarında, həm xarici elektrodların forma və ölçülərindən, həm də daxili – izolyasiya materialının quruluşundan asılı olan xassələrə malikdir. Qeyri bircinsliliyin əsas xarakteristikası konstruksiyanın qüvvə xəttləri sıx olduğu və ən çox kəşişən nöqtəsindəki -  $E_{max}$  , maksimal ESG-nin, orta hissədəki -  $E_{or}$  ESG-yə

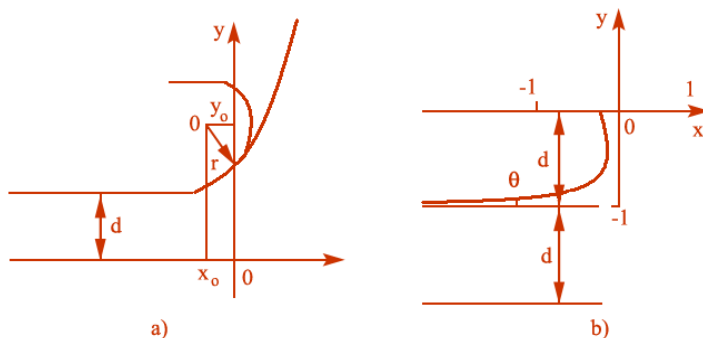
nisbətidir:  $G = E_{\max} / E_{or}$ . Buna sahənin *qeyri bircinslilik* əmsalı deyilir. G əmsalı qeyri bircinslilik dərəcəsini göstərir. Elektrodlarla toxunan izolyasiya materialının həmişə elə bir sahəsi və ya həcmi vardır ki, orada  $E \leq \alpha \cdot E_{\max}$  olur. Bu zaman  $\alpha$  – nın qiyməti 0,8 - 0,9 olarsa, izolyasiyanın bu hissəsinə *yüklənmiş sahə və ya aktiv sahə* deyilir. İzolyasiya və keçirici səthlərinin toxunduğu yerlərdə konstruksiyanın forma və ölçülərini dəyişdirməklə sahənin qeyri bircinsliliyini azaltmaq olar. Lakin bu üsul həmişə tətbiq edilə bilmir. Məsələn, elektrik maşınlarında dolaq sarğılarının alın hissəsinə çıxdığı yerlərdə paz yuvalarının dairələndirilməsi texnoloji çətinliklər yaradır.

Real qurğularda elektrik sahəsinin qeyri bircinslilik dərəcəsi hündürlüyü 35 sm–dən böyük olan məsafələrdən başlayaraq daha çox artır.

Bu fəsilə, əvvəlcə bircinsli sahələr yaradan *sonsuz müstəvi* elektrodlar sisteminə *Roqovski, Felisi* və kürəvi elektrodlar sisteminə baxılır.

### 2.1.2. Bircinsli və qeyri bircinsli elektrik sahələri

Məlumdur ki, ara məsafələri yaxın olan kürəvi elektrodlar- $r \gg s$ , sonsuz müstəvi elektrodlar  $d \ll a$ ,  $d \ll b$ , Roqovski, Felisi elektrodları şəkl.2.1.1, ideal bircinsli və bərabər intensivlikli elektrik sahələri yaradırlar. Lakin təcrübədə belə elektrod sistemlərinə çox az hallarda rast gəlmək olur. Əksər qurğularda elektrik sahələri qeyri bircinsli və qeyri bərabər xarakterdə olurlar. Şəkl 2.1.2. kimi müstəvi və kürəvi elektrodlar arasında da məsafə artıqca qeyri bircinslilik güclənir.



Şəkl.2.1.1. Bircinsli elektrik sahəsi yaradan elektrodların profilləri a) Roqovski, b) Felisi Elektrodları

Bircinsli elektrik sahəsi yaradan Roqovski şəkl.2.1.1 a elektrodları üçün elektrodun əyrilik radiusu aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir:

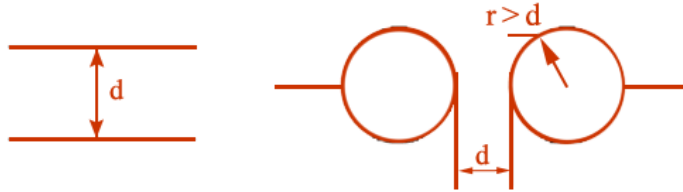
$$y = \frac{d}{2\pi} \left( e^{\frac{2\pi}{d}x} + \frac{\pi}{2} \right) \quad (2.1.1)$$

Felisi elektrodları üçün səthin forması isə:

$$\left. \begin{aligned} y &= \frac{d}{\pi} \left( \ln \cos \frac{\theta}{2} + 1 \right) \\ x &= \frac{d}{\pi} \left( \theta + \sin \theta \right) \end{aligned} \right\} \quad (2.1.2)$$

Əgər elektrodların səthinin əyriliyi  $y$  və  $x$  –la verilmiş formada hazırlanarsa, onda aralığın bütün nöqtələrində elektrik sahə gərginliyi tam bircinsli və bərabər qiymətli olur -  $E_{max} = E_{or}$ .

Elektrodların forma və ölçülərindən asılı olaraq, qeyri bircinsliliyi analitik və ya empirik ifadələrlə yazmaq olur.



Şək.2.1.2. Sonsuz müstəvi elektrodlar və böyük ölçülü kürə elektrodlar arasında maksimal elektrik sahə gərginliyi – hər iki halda;  $E_{max} = U/d$ .

Müstəvi və kürəvi elektrodların yaratdığı sahə nəzəriylərindən məlumdur ki,  $d$  məsafəsi uzaqlaşdıqca  $r/d$  nisbəti kiçilir və sahənin bircinsliliyi pozulur. Aşağıdakı nisbətlərdə kürələr arası məsafə ilə, elektrik sahə gərginliyinin asılıq ifadəsi verilmişdir.

Şək.2.1.3 –də təklənmiş kürəvi elektrod səth sahəsi və iç-içə iki kürəvi elektrodlar arası sahə göstərilmişdir:

Boşalma gərginliyini analitik usulla hesablamaq üçün boşalmanın müstəqillik şərtindən istifadə edirlər. Məsələn, bircinsli sahələr üçün alınmış (1.1.42) ifadəsi kvazi bircinsli sahələr üçün aşağıdakı kimi yazıla bilər:

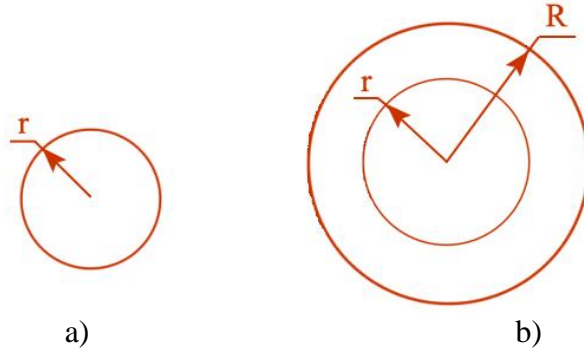
$$U_{bos} = \frac{24,5\delta \cdot \ell}{G} + 6.64 \sqrt{\frac{\delta \cdot \ell}{G}} \quad (2.1.3)$$

burada  $G$ - sahənin qeyri bircinsliliyini xarakterizə edir və aralığın həndəsi ölçüləri ilə təyin edilir:-

radiusları  $R$  və  $r_0$  olan silindrik elektrodlar üçün –

$$G = \left[ \left( \frac{R}{r_0} \right) - 1 \right]^2 / \left( \frac{R}{r_0} \right) \left( \ln \frac{R}{r_0} \right)^2 ;$$

kürəvi elektrodlar üçün -  $G = \frac{\left( \frac{R}{r_0} \right) + 1 + \left( \frac{r_0}{R} \right)}{3}$  olur.



Şək.2.1.3 Tək kürə elektrod -a)  $E_{max}=U/r$ ; və iç-içə iki kürə elektrodlar -b)  $E_{max} = U / \left( R - r \right)$

Digər mürəkkəb formalı elektrodlar üçün  $G$ -nin analitik ifadəsini almaq çətin olduğundan onun əvəzinə empirik ifadələr tətbiq edilir. Zəif qeyri bircinslilik üçün bu əmsal 1.0÷1.2 arasında dəyişir. Bu qiymətlər yüksək gərginliklərdə ideal hala yaxın bir vəziyyət kimi qəbul edilir. Belə hallarda boşalmanın təzyiq və məsafə hasilindən şək. 2.1.9, olan asılılığı üçün Paşen qanunu ilə izah edilir.

Şək.2.1.4 də bircinsli sahəyə daxil edilmiş kürə və silindrik elektrodların, sahəni təhrif etməsi və elektrik sahəsində qüvvə xətlərinin paylanma sxemi verilmişdir.  $E_0$ - qiymətli bircinsli-bərabər sahəyə gətirilmiş kürəvi və silindrik elektrodlar elektrik sahəsini təhrif etdikdə, kürənin səthində maksimal elektrik sahə gərginliyi  $E_{max}=3 E_0$ , silindrin səthində isə,  $E_{max}=2 E_0$  olur. Daha güclü qeyri bircinsliliklər mövcuddur ki, bu zaman  $G>4$  olur.

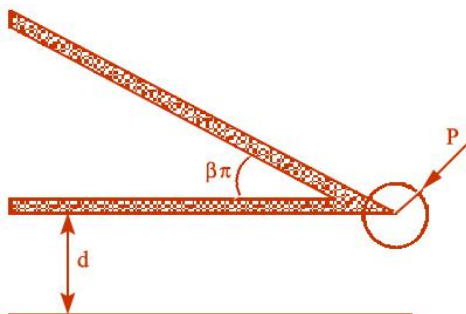
### 2.1.3. İti uclu elektrodlar arasında elektrik sahəsi



İti uclu elektrodların yaratdıqları kəskin qeyri bircinsliliyə aid çoxlu tətqiqatlar aparılmışdır [16-19]. Deyildiyi kimi, bir çox izolyasiya konstruksiyalarında elektrodlar iti uclara malik olurlar. Analitik hesabatlar aparmaq üçün, belə elektrodların hər hansı birinin (şək. 2.1.11 də üst elektrod) səthinin müstəvi ilə yaratdığı bucaq açılışının  $\beta\pi$  ifadəsi ilə yazıldığı qəvul edək. Bu elektrodlar sistemi üçün yerli boşalmaların (qismi boşalma) yaranmasının analizi çox vacibdir. Ona görə yerli ESG –nin dəyişməsinin  $\beta\pi$  və  $\rho$  asılılığını öyrənirlər.

$\beta$  parametri,  $0 < \beta < 1$  intervallarında dəyişdikdə, üst elektrod 0-180 dərəcə bucaq qədər acılaraq, müstəvi ilə müxtəlif dərəcəli iti uclar yaradır. Alınan elektrodlar sisteminin yaxın  $\rho$  ətrafında elektrik sahə gərginliyi, həmin nöqtə ilə təmasda işləyən izolyasiya gövdəsində, təhlükəli qiymətlərə çatan ESG-i aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$E_{\rho} = c \rho^{-\frac{1-\beta}{1-2\beta}} \quad (2.1.15)$$



Şək.2.1.11. Müstəvi üzərində iti uclu elektrodun hesabat sxemi.

$\rho = \rho_0$  ən yaxın nöqtəsi üçün ESG-nin qiyməti -  $E_{\rho_0}$  aşağıdakı kimi ifadə edilir:

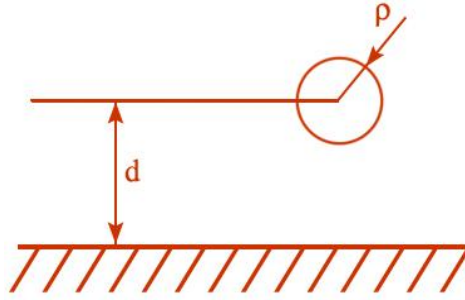
$$E_{\rho_0} = U k \left( \beta, \rho_0 \right) d^{-\frac{1}{2-\beta}} = E_{or} k \left( \beta, \rho_0 \right) d^{\frac{1-\beta}{2-\beta}} \quad (2.1.16)$$

Aşağıdakı şəkil və ifadələrdən istifadə edərək,  $\beta=0$  halı üçün, qismi boşalma gərginliyi və sahə gərginliklərini hesablamaq olar:

İti ucun yaxın  $\rho$  ətrafında ESG-nin ifadəsi aşağıdakı kimi olar:

$$E_{\rho} = E_{or} \sqrt{\frac{d}{2\pi\rho}}, \quad E_{or} = \frac{U}{d}. \text{ Burada } \rho \ll d \text{ qəbul edilir.}$$

$$U_{qbos} = E_0 \cdot \sqrt{2\pi\rho_0} \cdot d^{0.5} = A_0 \cdot d^{0.5} \quad (2.1.17)$$



Şək.2.1.12.  $\beta=0$  halı üçün, iki müstəvi arasında qalan izolyasiya mühitində, elektrodun ucuna yaxın  $\rho$  ətrafında elektrik sahə gərginliyi.

və qismi boşalma yaradan ESG üçün:

$$E_{qbos} = E_0 \cdot \sqrt{2\pi\rho_0} \cdot d^{-0.5} = A_0 \cdot d^{-0.5} \quad (2.1.18)$$

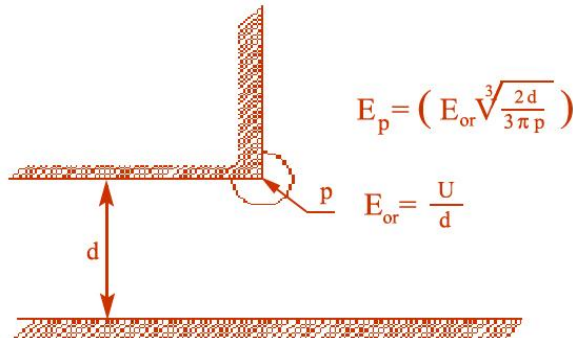
Göründüyü kimi, burada  $A_0$ ,  $\rho$ -dan asılı olaraq, gərginlik və ESG arasında asılılıq yaradan sabit əmsəldir. Bu əmsal elektrodların açılma bucağı  $\beta$  –dan asılı olaraq dəyişir.  $\beta=1/2$  olduqda şək.2.1.13-dən, qismi boşalma gərginlikləri üçün aşağıdakı ifadələr yazılır:

$$U_{qbos} = E_0 \cdot \sqrt[3]{3/2\pi\rho_0} \cdot d^{2/3} \quad (2.1.19)$$

və ya ESG üçün,

$$E_{qbos} = E_0 \sqrt[3]{3/2\pi\rho_0} \cdot d^{-1/3} \quad (2.1.20)$$

Belə elektrodlar sistemi transformatorların dolaqları ilə metal bak arasında qalan aralığa və bir sıra başqa sistemlərə oxşardır.



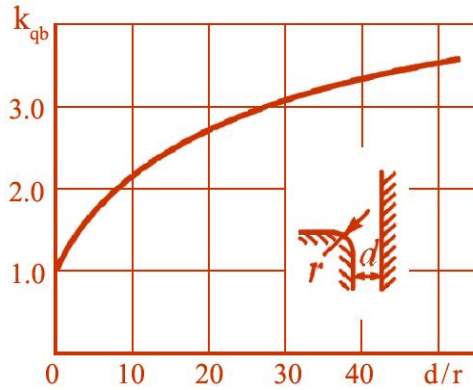
Şək. 2.1.13. Düzbucaqlı ( $\beta=1/2$ )və müstəvi elektrodlar sistemi

Belə sistemlərdə düzbucaqlının küncü müəyyən radiusla dairələndirilməlidir.

Şək. 2.1.14-də dairələndirmə radiusu- $r$  və  $d$  arasındakı nisbətdən asılı olan qeyri bircinslilik əyrisi verilmişdir.

$$E_{\max} = E_{or} \sqrt[3]{\frac{d+r}{r}} \quad (2.1.21)$$

burada,  $E_{or} = \frac{U}{d}$ ,  $r$  – dairəlik radiusu,  $d$  – müstəvi səthə qədər olan məsafədir.



Şək.2.1.14. Dairələndirilmiş düzbucaq formalı elektrod və müstəvi elektrod sistemləri arasında  $k_{qb} = E_{\max}/E_{or}$  qeyri bircinslilik əmsalının  $d/r$ -dən asılılıq əyrisi

Elektrodların dairələndirilməsinin şəkildə göstərilmiş usulu digər bərk dielektrlə bilavasitə təmasda olmayan konstruksiyalar üçün daha effektivdir. Çünki qaz və ya maye mühitində izolyasiya ilə elektrodun toxunan səthi arasında nazik aralıqlar, yarıqlar, oyuqlar və s. qalır ki, bu da elektrik sahəsinin qeyribircinsliliyini daha çox artırır.

#### 4.2.1. Qismi boşalmaların təsiri ilə izolyasiyanın köhnəlməsi

İzolyasiyanın istimar zamanı köhnəlməsinə səbəb olan, kompleks təsirlər mürəkkəb və çox tərəflidir. Lakin əksər hallarda izolyasiyanın köhnəlməsinin əsas səbəbi, yüksək elektrik sahə gərginliyinin təsirindən olur. Aparılan çoxlu sayda təcrübələr göstərmişdir ki, izolyasiyanın köhnəlməsinin əsas səbəbi qismi boşalmalardır. Bu onunla izah edilir ki, izolyasiyanın tərkibində olan qaz qabarcıqlarının elektrik möhkəmliyi maye və bərk dielektrlərin elektrik möhkəmliyindən kiçikdir. Tərkibdəki qaz qabarcığında

isə, yerli sahə gərginliyi maye və qaz hissəsində olan ESG-dən böyük olur. Məsələn, izolyasiyanın tərkibində kürəvi formada olan qaz qabarcığının ESG –yi  $E_q$  aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$E_q = E_D \cdot \frac{3\varepsilon_d}{\varepsilon_q + 2\varepsilon_d} \approx E_D \cdot \frac{3\varepsilon_{dq}}{1 + 2\varepsilon_{dq}} \quad (4.2.1)$$

burada  $E_D$  – qaz qabarcığı olmayan, dielektrik nüfuzluluğu isə  $\varepsilon_d$  olan izolyasiya hissəsinin ESG-yi və  $\varepsilon_q \approx \varepsilon_0$ ,  $\varepsilon_{dq} = \varepsilon_d / \varepsilon_0$ .

Elektrik sahəsinin qüvvə xəttlərinə nəzərən eninə yerləşmiş, nazik yarıq şəkilində olan qabarcıqlar üçün:

$$E_q = E_D \frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_q} \approx E_D \varepsilon_{dq} \cdot \quad (4.2.2)$$

Qaz qabarcıqları olmayan maye və bərk dielektrlərdə qismi boşalmalar mənfi elektrodun səthindən emissiya olunan elektronların hesabına baş verir. Müsbət qütblü elektrodarda isə oxşar proseslər, deşik mexanizmlərinin hesabına meydana çıxır. Bu halda injeksiya edən yüklər dielektrikə toplanaraq, yüksək lokal elektrik sahə gərginliyi yaradır. Elektrik möhkəmliyinin qəflətən izolyasiyanın deşilərək sıradan çıxması səbəbindən deyil, dielektrikdə quruluşun dağılması və QB təsirindən toplanan defektlər hesabına baş verdikə, izolyasiyanın *resurs* ( $R$ ) anlayışı istifadə edilir. QB olduğu hallarda resurs  $R$ , yaşama müddəti –  $\tau_r$  –dan asılı olaraq aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$R = B \int_0^{\tau_r} P_{qb} dt \quad (4.2.3)$$

Burada  $B$ - 1  $Cl$  enerjisi olan qismi boşalma hesabına dağılan izolyasiya maddəsinin miqdarını göstərən əmsaldır.

ESG, böyük tezliklə dəyişən qütblülərdə daha çox olur. Alınan yüksək,  $5 \cdot 10^2 kV/sm$  və daha çox sahə gərginliklərində, dielektrikdə mikrodeşilmələr və izolyasiyada yerli dağılmalar baş verir. Belə proseslər bərk dielektrikin səthində ağac budaqları kimi yayılan cığırılar açır. Bunlara «*dendrit*» deyilir. Sonra dendritlər qazla dolur və qismi boşalmaların daha da intensivləşməsinə səbəb olurlar.

Qismi boşalmalarla maye və bərk dielektrlərin dağılması qaz ayrılması ilə baş verir. Ayrılan qazlar hidrogen və karbohidrogen tərkiblərindən ibarət olur.

#### 4.2.2. Qismi boşalmalar. Xarakteristikaları və hesabları

Qismi boşalmaların izolyasiya materiallarının dağılmasına səbəb olan, bir neçə təsirləri və xarakteristikaları vardır. Hər bir (vahid) qismi boşalma, qaz qabarcığından keçən müəyyən  $q$  yükü və xarici elektrodla buna uyğun  $\Delta U_x$  gərginlik dəyişməsinə səbəb olur. Qismi boşalma üçün ekvivalent sxemə baxıldıqda,  $C_x$  tutumunun üç tutumdan ibarət olduğu görünür, şəkl.4.2.1:  $C_h$ - qismi boşalma yaranan hava qabarcığının tutumu;  $C_d$  –qabarcıqla ardıcıl qoşulmuş dielektrikin tutumu;  $C_a$ - qabarcıq olmayan sağlam dielektrik tutumu. Göstərilmiş hesabat sxeminə əsasən  $C_x$  tutumu üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$C_x = C_a + \frac{C_h \cdot C_d}{C_h + C_d}. \quad (4.2.4)$$

Əgər,  $C_a \gg C_h$  və  $C_a \gg C_d$  olarsa, onda qismi boşalma zamanı qaz qabarcığından keçən  $q$  yükü aşağıdakı kimi təyin ediləcəkdir:

$$q = (C_h + C_d) \cdot (U_{h\text{yan}} - U_{h\text{sön}}) = (C_h + C_d) \cdot \Delta U_h \quad (4.2.5)$$

burada  $U_{h\text{yan}}$  və  $U_{h\text{sön}}$  uyğun olaraq, qabarcıqda qismi boşalmanın yanma və sönmə gərginlikləridir;  $\Delta U_h = U_{h\text{yan}} + U_{h\text{sön}}$  kimi əvəz edilir.



Şəkl.4.2.1. Dielektrikdə qismi boşalmaların hesablarına aid ekvivalent sxem

$q$  yükü praktiki olaraq bilavasitə ölçülə bilmir. Çünki o, sınaq olunan dielektrikin içərisində nisbətən kiçik ölçülü qiymətlərdə olur. Ona görə analizlər üçün, obyektə baş verən qismi boşalmalar zamanı sabit  $C_x$  tutumu olan obyektin elektrodlarında, fiktiv- $q_{qb}$  qismi boşalma yüklərinin yaratdığı gərginlik dəyişməsinə ölçüb qeyd etmək daha doğru olur:-  $\Delta U_x = q_{qb}/C_x$ . Burada  $q_{qb}$ - yükünə qismi boşalmanın gərginliyin dəyişməsinə səbəb olan - zənn edilən yükü deyilir.

Beləliklə QB-nın zənn edilən yükü elə yükə deyilir ki, onlar sınaq olunan obyektin çıxışlarına ani olaraq təsir etdikdə, orada ani olaraq real qismi boşalmada olan gərginlik dəyişməsinə bərabər gərginlik yaratmış olsun.

Zənn edilən  $q_{qb}$  və real  $q$  yükləri arasında aşağıdakı münasibətlər alınmışdır:

$$q_{qb} = \Delta U_x C_x = \Delta U_h \cdot C_d = q \frac{C_d}{C_h + C_d} \quad (4.2.6)$$

Hər bir vahid qismi boşalma, sınaq olunan obyektə  $W_{qb}$  enerji ayrılmasına səbəb olur. Bu enerji isə, qismən dielektrikin dağılmasına sərf olunur. Əksər hallarda olduğu kimi,  $C_a \gg C_d$  halında qismi boşalmada ayrılan enerji aşağıdakı kimi hesablanır:

$$W_{qb} = \frac{C_d + C_h}{2} \left( U_{h\text{yan}}^2 + U_{h\text{son}}^2 \right) \quad (4.2.7)$$

Əgər,  $U_{h\text{yan}} \approx U_{h\text{son}}$  - olduğunu (4.2.6) və (4.2.7) - də nəzərə alsaq,  $W_{qb} \approx q U_{h\text{yan}} = q_{qb} \cdot U_{qb}$  (4.2.8) yazmaq olar, burada  $U_{qb}$  qismi boşalma yaranan obyektə gərginlikdir:

$$U_{qb} = U_{h\text{yan}} \frac{C_d + C_h}{C_d}, \quad (4.2.9)$$

Əgər,  $U_{h\text{son}} \ll U_{h\text{yan}}$  olarsa, enerji üçün yazmaq olar:

$$W_{qb} = q U_{h\text{yan}} / 2 = q_{qb} U_{qb} / 2. \quad (4.2.10)$$

Qismi boşalmaların intensivliyi və yaranma gərginliyini təyin edən kəmiyyət xarakteristikasından başqa, iki qismi boşalma müddətindən çox böyük olan, müəyyən müddət ərzində yaranan orta QB- intensivliyini təyin edən integral kəmiyyət xarakteristikaları da istifadə edilir. Belə xarakteristikalardan qismi boşalmaların yaranma tezliyi-  $n_{qb}$  ; qismi boşalmanın orta cərəyanı  $-I_{qb}$ , və orta gücüdür  $-P_{qb}$ .

Əgər, bütün yüklər eyni qiymətli olarsa,  $|q_{qb}|$  onda

$$I_{qb} = n_{qb} \cdot q_{qb} \quad (4.2.11)$$

Əgər, yüklər biri birindən çox fərqlənərsə, onda QB cərəyanı aşağıdakı integral ifadə ilə təyin edilir:

$$I_{qb} = \sum_{i=0}^k \frac{|q_{qb(i+1)}| + |q_{qbi}|}{2} \cdot (n_{i+1} - n_i) \quad (4.2.12)$$

burada  $q_{qbi}$   $i$ -ci qismi boşalmanın zənn edilən yükünün səviyyəsi;  $n_i$  – zənn edilən yükü,  $i$  səviyyəsini aşan qismi boşalmaların yaranma tezliyidir ( $i=0$  qiymətinə  $n=0$  uyğun olur).

Eyni ilə, əgər bütün yüklər bərabər enerji -  $W_{qb}$  və gücə- $P_{qb}$  –ya malik olarsa, onda aşağıdakı ifadə istifadə edilir:

$$P_{qb} = n_{qb} \cdot W_{qb} \quad (4.2.13)$$

Yüklər müxtəlif olduqda isə, aşağıdakı ifadəni yazırlar:

$$P_{qb} = \sum_{i=1}^k \frac{W_{qb(i+1)} + W_{qbi}}{2} \cdot (n_{i+1} - n_i) \quad (4.2.14)$$

burada  $W_{qbi}$  -  $i$  səviyyəli qismi boşalmanın enerjisi;  $n_i$  – enerji səviyyəsi  $i$  –ni aşan QB-in yaranma tezliyidir.

### 4.2.3. Qismi boşalmaların inkişafı və kritik həddləri

Qismi boşalmalar izolyasiyanın zəif yerlərində, qaz qabarcıqlarında və ya elektrik sahəsinin kəskin artdığı yerlərdə məsələn, iti uclu elektrodlar ətrafında baş verir. Qaz qabarcıqlarında olan qismi boşalmalar daha təhlükəlidir. Çünki, bu zaman qismi boşalma maye və bərk dielektriklərin boşalma gərginliklərindən daha aşağı gərginliklərdə meydana çıxır və onlara mənfi təsir edir.

Yüksək gərginlik avadanlıqlarının izolyasiyası hazırlanarkən, qaz qabarcıqlarının olmaması üçün xüsusi tədbirlər görülür. Buna baxmayaraq, hazırlanma zamanı qaz qabarcıqlarının təsadüfən əmələ gəlmə ehtimalı yüksək olaraq qalır. Məsələn, daxili izolyasiyanın qurudulma və hopdurulma prosesində və ya istismarı zamanı mexaniki yüklərdən çatların əmələ gəlməsi, yerli qızmalardan materialın parçalanması zamanı ayrılan qazlar bunlara misal ola bilər.

Şək.4.2.1 verilmiş sxemə əsasən qismi boşalmaların vacib qanunauyğunluqlarına baxaq. QB baş verən  $U_{qb}$  gərginliyin hesabı izolyasiyaya təsir edən sinusoidal gərginliyə əsasən aparılır. Tutaq ki, izolyasiyaya  $u = U_m \sin \omega t$  şəkilində dəyişən gərginlik tətbiq edilmişdir. Qismi boşalma olmazsa, qaz qabarcığında ( $C_h$  tutumunda)  $u_h = U_{hm} \cdot \sin \omega t$  kimi təyin edilir. Burada  $U_{hm} = U_m C_d / (C_d + C_h) - a$  bərabərdir. Əgər  $U_{hm} \geq U_{h \text{ deş}}$  olarsa, onda

qaz qabarcığında QB baş verəcəkdir. QB-nın yaranma şərti  $U_{hm}=U_{h des}$  o zaman ödənilir ki, izolyasiyaya tətbiq edilən  $U$  gərginliyi aşağıdakı qiymətə çatsın:

$$U = U_{qb} = \frac{U_{h yan}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{C_d + C_h}{C_h} \quad (4.2.15)$$

$C_d$  və  $C_h$  kəmiyyətlərini müstəvi kondensatorların ifadələrindən aşağıdakı kimi təyin edirlər:

$$\left. \begin{aligned} C_d &= \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_{ni} S_h}{d - \delta}, \\ C_h &= \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_{nh} S_h}{\delta}, \end{aligned} \right\} \quad (4.2.16)$$

burada  $\delta$  - elektrik sahəsi istiqamətində olan qaz qabarcığının ölçüsüdür;  $d$ - izolyasiyanın qalınlığı;  $S_h$ - qaz qabarcığının elektrik qüvvə xəttləri istiqamətində en kəsinin sahəsidir;  $\varepsilon_{nh}$  və  $\varepsilon_{nd}$  boşluğu dolduran mühitin və izolyasiyanın nisbi dielektrik nüfuzluluqlarıdır.

$\delta \ll d$  olduğunu və  $C_h$ ,  $C_d$  -nin (4.2.16) ifadələrini (4.2.15)-də nəzərə alsaq, aşağıdakını yazmaq olar:

$$U_{qb} = \frac{U_{h des}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\varepsilon_{nh}}{\varepsilon_{ni}} \frac{d}{\delta}. \quad (4.2.17)$$

Bu ifadə bircinsli elektrik sahəsində olan izolyasiya üçün doğru olur. İzolyasiyada isə, adətən elektrik sahəsi qeyri bircinsli olur. Belə olduqda,  $U_{qb}$  gərginliyi, qaz qabarcığının yerləşmə nöqtəsindən də asılı olacaqdır.  $U_{qb}$  gərginliyinin ən kiçik qiyməti, qaz qabarcığının elektrik sahə gərginliyinin böyük olduğu nöqtəsində yerləşdiyi halda olacaqdır. Bu halda,

$U_{qb} = \frac{U_{h des}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\varepsilon_{nh} d}{\varepsilon_{ni} \delta K_{qb}}$  olar. Burada  $K_{qb}$  izolyasiyada elektrik sahəsinin qeyri

bircinslilik əmsəlidir. Ölçüsü kiçildikcə hava boşluğunun elektrik möhkəmliyi artır. Elektrik möhkəmliyi boşluğun ölçüsündən asılı olaraq aşağıdakı ifadə ilə dəyişir:

$$E_{moh} = 10^5 \exp \frac{46,8}{\ln \frac{d_1}{4 \cdot 10^{-9}}} \quad (4.2.18)$$



$\delta = 0.01 - 0.005$  mm ölçüsündə olan qaz qabarcığının, Paşen qanununa görə, atmosfer təzyiqinə yaxın təzyiqlərdə, 300 V deşilmə gərginliyinə bərabər olmasını bilərək  $U_{qb}$  üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$U_{qb} \approx 0,2 \frac{\varepsilon_{nh} d}{\varepsilon_{ni} \delta K_{qb}}. \quad (4.2.19)$$

Formulada qaz qabarcığının verilmiş  $\delta$  ölçüsü və onların material içərisində elektrodalara nəzərən yerləşmə qaydası da təsadüfi kəmiyyətlərdir. Ona görə, görünüşü eyni olan izolyasiya nümunələrində aparılmış sınaqlar zamanı qismi boşalma gərginlikləri ( $U_{qb}$ ),  $\sigma_{qb} = 10-25\%$  - ə qədər fərqli qiymətlə səpələnir ( $\sigma_{qb}$  - orta kvadratik meyletmədir).

Gərginliyin  $U < U_{qb}$  qiymətlərində qismi boşalma yaranmır və belə gərginlik uzun müddət təsir etdikdə, izolyasiyanın xidmət müddəti dəyişmir (azalmır). Ona görə  $U_{qb}$  böyük olarsa izolyasiya üçün buraxıla bilən, uzun müddət təsir edən işçi gərginlik də o qədər çox olar.

(4.2.19) ifadəsi  $U_{qb}$  gərginliklərinin artırılması üçün müxtəlif usulları izah edir. Məsələn, izolyasiyanı mineral yağla hopdurduqda  $\varepsilon_q = 1$  - qaz qabarcığının yerinə,  $\varepsilon_{yağ} = 2.2$  olan yağ dolursa, bu səbəbdən  $U_{qb}$  gərginliyi də 2,2 dəfə artacaqdır. Bundan başqa, yağla dolmuş qabarcığın boşalma gərginliyi  $U_{hdeş}$  də uyğun olaraq artacaqdır. Beləliklə, yağ dolmuş qabarcığın ölçüləri kiçildiyindən,  $U_{qb}$  gərginliyi 5 dəfədən çox artacaqdır. Ona görə bütün hallarda, qabarcıqların ölçülərinin azaldılmasına aid tədbirlər görülməlidir. Çox qatlı izolyasiya üçün, bu sıx sarğı qoyulması ilə həll edilir. Daxili izolyasiyada  $U_{qb}$  gərginliyinin artırılması yollarından biri də, elektrik sahəsinin tənzimlənməsi, bərabərləşdirilməsi və  $K_{qb}$  qeyri bircinslilik əmsalının azaldılmasıdır.

İndi isə QB-nın zamana görə inkişafını sinusoidal gərginlik təsirində öyrənək.  $t=0$  anında izolyasiyaya  $u = U_m \sin \omega t$  gərginliyi təsir edərsə,  $U_{qm} > U_{hdeş}$ , lakin,  $t_1$  anına qədər  $u_h < U_{hdeş}$  olduğundan, qismi boşalma yaranmaz və qaz qabarcığında gərginlik  $u_h = U_{hm} \sin \omega t$  qanunu ilə dəyişər.  $t_1$  anında  $u_h = U_{hdeş}$  birinci qismi boşalma yaranır. Bu halda  $C_h$  tutumu, boşalma kanalının  $R$  müqaviməti ilə şuntlandığından,  $C_h$  tutumunda gərginlik sürətlə azalır. Gərginlik  $U_{hsön}$  qiymətinə qədər azalarsa, boşalma kəsilir. Qabarcıqda gərginliyin azalması  $10^{-7} - 10^{-8}$  san ərzində, ani müddətdə olur.

$C_h$ -da yaranan birinci QB-nın sönməsindən sonra, qaz qabarcığında gərginlik  $t > t_1$  zamanında aşağıdakı qanunla dəyişəcəkdir:

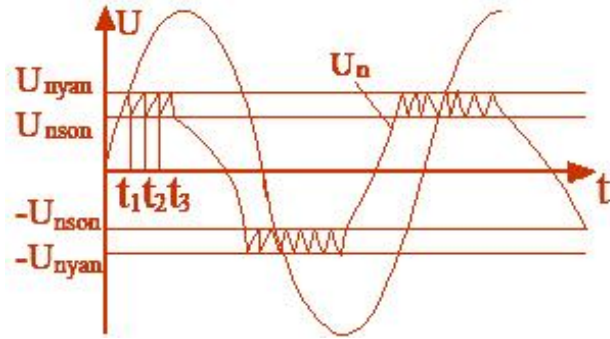
$$u_h = \frac{C_d}{C_d + C_h} U_m \sin \omega t - U_{hyan} - U_{hsön} \quad (4.2.20)$$

$u_h$  -n bu ifadəsi  $t_1 - t_2$  intervalında doğrudur.  $t_2$  anında  $u_h$  yenidən  $u_{hyan}$  qiymətinə çatır və ikinci qismi boşalma yaranır. İkinci qismi boşalma

söndükdən sonra,  $t_3$  anına qədər qaz qabarcığında gərginlik aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$u_h = \frac{C_d}{C_d + C_h} U_m \sin \omega t - 2(U_{hyan} - U_{hsön}) \quad (4.2.21)$$

Analoji olaraq oxşar qismi boşalmalar davam edir. Şək.4.2.2-də qaz qabarcığında qismi boşalma zamanı sinusoidal və təkrarlanan gərginlik dəyişmələri verilmişdir.



Şək.4.2.2. Qaz qabarcığında qismi boşalma zamanı gərginlik dəyişməsinin ayriləri

Göründüyü kimi, dəyişən gərginlikdə qaz qabarcıqlarında qismi boşalmalar, hər yarımperiod üçün müntəzəm olaraq təkrarlanır. Qabarcıda yaranan boşalmalar qütblükdən asılı olmazsa, vahid zamanda,  $u_{hyan}$ ,  $u_{hsön}$  gərginlikləri aşağıdakı sayda təkrarlanacaqdır:

$$n_f = 4f \cdot \frac{U - \eta U_{qb}}{U_{qb} - \eta U} \quad (4.2.22)$$

burada  $U$  - izolyasiyaya tətbiq edilən gərginlik,  $f$  - tezlik,  $\eta = U_{hsön} / U_{hyan}$  nisbətidir. Təcrübələr göstərir ki,  $\eta = 0,5 \div 0,8$ .

Şəkildə hər bir qismi boşalmaya uyğun olan,  $U$  gərginlik ayrillərində  $U_{yan}$  və  $U_{sön}$  kimi meydana çıxan sıçrayışlar görünür.

(4.2.22) formulasına əsasən, vahid zamanda yaranan QB-ın minimal sayı  $U = U_{qb}$ ,  $\eta = 0,5$  və  $f = 50$  Hz olan halda  $n_{fmin} = 4 \cdot f$  olur. Hesabat ilə alınan nəticə  $n_{fmin} = 200 \text{ san}^{-1}$  olacaqdır.

Əgər, izolyasiyada müxtəlif ölçülü və fərqli yerlərdə bir neçə qaz qabarcıqları olarsa, onda  $U > U_{qbi}$  gərginliyinin təsiri ilə, vahid zamanda meydana çıxan QB-ın ümumi sayı aşağıdakı kimi hesablanır:

$$n_f = 4f \cdot \sum_{i=1}^{i=k} \frac{U - \eta U_{qbi}}{U_{qbi} (-\eta)} \quad (4.2.23)$$

burada  $U_{qbi}$   $-i$  qabarcığında QB yaranma gərginliyi,  $k$  - izolyasiyada qabarcıqların sayıdır.

(4.2.22) və (4.2.23) ifadələrindən göründüyü kimi  $f=0$  olduqda (sabit gərginlik), qismi boşalmaların sayı sıfır olur. Lakin, izolyasiyanın elektrik keçiriciliyinin qaz qabarcığında gərginlik paylanmasına təsiri göstərir ki, sabit gərginlikdə də müntəzəm qismi boşalma baş verir. Sabit gərginlikdə olan qismi boşalmalar, 50 Hs-li gəyişən gərginliyin təsiri ilə olan boşalmalardan 10 dəfə az olur.

### 3. ELEKTRİK SAHƏSİNİN TƏNZİMLƏNMƏSİ VƏ İDARƏ OLUNMASI

Yüksək gərginliklərdə elektrik sahəsinin idarə olunması vacib məsələlərdəndir. Burada elektrik şəbəkə, yarımstansiya qurğu və avadanlıqlarının gərginlik tətbiq edilən nöqtələrində ESG-nin qiymətinin azaldılması əsas şərtidir. Çünki, ESG-nin qiyməti həmin ətrafda buraxıla bilən sahə gərginliyindən kiçik olmalıdır. Əks halda izolyasiyanın normal işi pozulur və konstruksiyanın nəzərdə tutulmuş xidmət müddəti azalır. Elektrik sahəsinin tənzimlənməsi və idarə olunmasının iki yolu: – tutum və aktiv keçiriciliyin dəyişdirilməsi ilə tənzimləmə usulları mövcuddur.

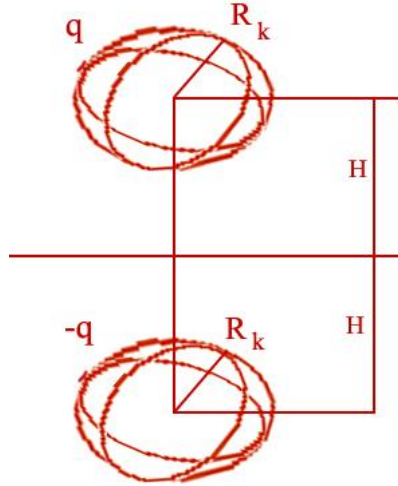
#### 3.1.1. Ekranların tətbiqi və hesabları

110 kV və daha yüksək gərginlikli elektrik avadanlıqlarında nominal gərginliklərdə də taclanma ehtimalları olur. Taclanmalar əsasən yüksək gərginliklərin tətbiq edildiyi nöqtələrə yaxın, izolyasiya ilə metal armaturların toxunan (təmas) yerlərində və şinlərin birləşdirildiyi yerlərdə baş verir.

Çiskinli və nəmli hava şəraitlərində həmin nöqtələrdə nominal gərginliklərdə taclanmalar xeyli intensivləşir. Ona görə taclanmanın ləğv edilməsi və avadanlığın normal işinin təmin edilməsi lazım gəlir. Bu məqsədlə ekranlar istifadə edilir. Ekranlar elektrik sahə gərginliyinin tənzimlənməsinin tutum usuluna aiddir. Onlar quraşdırıldığı yerlərdə tutumun qiymətini artıraraq gərginliyin və elektrik sahə gərginliyinin paylanmasının tənzimlənməsinə səbəb olur. Bu zaman ESG taclanma yarana bilən, qorxulu yerlərdə aşağı düşür nəticədə taclanma baş vermir və ya ləğv edilmiş olur. Quraşdırılmasına görə, ekranlar daxilə quraşdırılmış və xaricə quraşdırılmış növlərə malikdirlər. Konstruksiyalarına, forma və ölçülərinə görə ekranlar

müxtəlif olurlar: - a) kürəvi ekranlar, b) toroidal ekranlar, v) tor şəkilli qəfəs ekranlar, q) buynuz şəkilli və s.

Ekranlaşma effekti, deyildiyi kimi, onların ətrafında yaranan tutumun qiyməti ilə təyin edilir. Bu sarıdan ən üstün effekt kürəvi ekranlara xasdır şək.3.1.1.



Şək.3.1.1. Kürəvi ekran və onun qüzgü əksi

Şəkildə verilmiş sxemə görə, yer səthindən H məsafəsində asılmış kürənin səthində gərginlik üçün ekranın yükləndiyi müsbət  $q$  yükü və onun qüzgü əksinin  $-q$  yükü ilə hesabları aparılır.

Nöqtəvi  $-q$  yükü üçün ara təsir məsafəsi  $2H$  götürülür. Onda ekranın səthində gərginlik aşağıdakı ifadə ilə təyin ediləcəkdir:

$$U = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \cdot R_k} - \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \cdot 2H} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \cdot \left( \frac{1}{R_k} - \frac{1}{2H} \right) \quad (3.1.1)$$

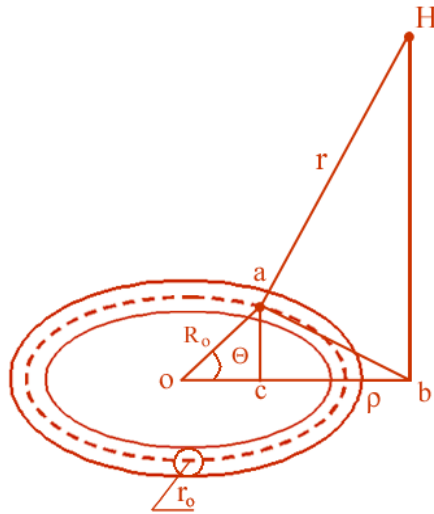
Buradan,  $q=U \cdot C_k$  olduğunu bilərək, kürəvi ekranın tutumu üçün aşağıdakı hesabat aparılır:

$$C_k = \frac{4\pi\epsilon_0 \cdot R_k}{\left( 1 - \frac{R_k}{2H} \right)} \quad (3.1.2)$$

Kürəvi ekranın yaxın ətrafında yaranan maksimal ESG aşağıdakı kimi hesablanır:

$$E = \frac{U}{R_k \left( -R_k/2H \right)} \left[ 1 + 3 \left( \frac{R_k}{2H} \right)^2 \right] \quad (3.1.3)$$

Kürəvi ekranların hazırlanması mürəkkəb və material sərfi çox olduğundan, onlar az tətbiq edirlər. Onların yerinə texnoloji, texniki və iqtisadi cəhətdən daha səmərəli olan toroidal ekranlar istifadə edilir. Toroidal ekran adından məlum olduğu kimi,  $r_0$  radiuslu silindrik formalı keçirici borunun, müəyyən  $R_0$  radiuslu çevrə ətrafında bükülməsindən sadə usulla alınır. Qeyd etmək lazımdır ki,  $R_0 \gg r_0$  olur. Toroidal ekranların hesabları şəkl.3.1.2 sxemi ilə aparılır.



Şəkl. 3.1.2. Toroidal ekran üçün hesabat sxemi

Toroidal ekran müstəvisindən  $Z$  məsafədə olan,  $H$  nöqtəsində yaranan potensialın hesabına baxaq.  $Z$  toroid müstəvisinə perpendikulyar olduğundan, orada çəkilmiş  $ab$  və  $bc$  xəttlərinə də perpendikulyar olacaqdır. Həndəsi qurmadan  $oab$  üçbucağının  $ac$  hündürlüyü  $ac=R_0 \cdot \sin \theta$  və  $bc=\rho - R_0 \cdot \cos \theta$  kimi təyin edilir. Onda  $r$  üçün aşağıdakı bərabərlik yazıla bilər:

$$r = \sqrt{Z^2 + \left( \rho - R_0 \cdot \cos \theta \right)^2 + \left( R_0 \cdot \sin \theta \right)^2} = \sqrt{Z^2 + \rho^2 + R_0^2 - 2R_0 \cdot \rho \cdot \cos \theta} \quad (3.1.4)$$

Toroid, montaj edildiyi nöqtənin faz gərginliyində olur və bu zaman onun səthinə bərabər şəkildə paylanmış yüklər yığılır. Toroidin səthində çevrə üzrə paylanmış yüklərin  $H$  nöqtəsində yaratdığı potensialın hesabı üçün yüklərin

xətti sıxlığı təyin edilir:-  $dq = \tau \cdot dl$  və  $dl = R_0 \cdot d\theta$ -çevrə boyu  $\theta$  bucağına uyğun  $dl$  uzunluğudur. Çevrənin həmin uzunluğuna düşən yük payı  $dq$  üçün aşağıdakı ifadə yazılır:  $dq = q \cdot d\theta / 2 \cdot \pi$ . Elementar  $dq$  yükünün H nöqtəsində yaratdığı potensial isə, aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$d\varphi = \frac{dq}{4\pi\epsilon_0 \cdot r} = \frac{q \cdot d\theta}{8\pi^2\epsilon_0 \cdot r} \quad (3.1.5)$$

Onda toroidin bütün çevrəsi üzrə paylanan yüklərin təsiri ilə, H nöqtəsində yaranan potensialın qiyməti, inteqral ifadə ilə aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\varphi = \frac{q}{8\pi^2\epsilon_0} \int_0^{2\pi} \frac{d\theta}{\sqrt{Z^2 + \rho^2 + R_0^2 - 2\rho \cdot R_0 \cdot \cos\theta}} \quad (3.1.6)$$

$\cos\theta$  – cüt funksiya olduğundan, (3.1.6) inteqralın sərhəddini dəyişib onun iki mislini götürmək olar:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi^2\epsilon_0} \cdot \int_0^{\pi} \frac{d\theta}{\sqrt{Z^2 + \rho^2 + R_0^2 - 2\rho R_0 \cdot \cos\theta}} \quad (3.1.7)$$

Inteqralın həllini  $\beta = (\pi - \theta)/2$  əvəzləməsi ilə yerinə yetirirlər:-  $\theta = \pi - 2\beta$  və ya  $d\theta = -2d\beta$ ,  $\cos\theta = \cos 2\beta$  və  $\cos 2\beta = 2\sin\beta - 1$  olar. Bu çevirmələri nəzərə alsaq, potensial ifadəsi üçün inteqral aşağıdakı şəkildə yazılacaqdır:

$$\varphi = \frac{q}{2\pi^2\epsilon_0} \cdot \int_0^{\pi/2} \frac{d\beta}{\sqrt{Z^2 + \rho^2 + R_0^2 + 2\rho R_0 - 4\rho R_0 \cdot \sin^2\beta}} \quad (3.1.8)$$

(3.1.8) inteqralının sərhədlərinin dəyişdirilməsi, həm də işarənin dəyişdirilməsinə səbəb olur. Bu aşağıdakı kimi ifadə edilmişdir:-  $\theta = 0$  olduqda  $\beta = \pi/2$  və yuxarı sərhəddində  $\theta = \pi$  olduqda,  $\beta = 0$ . Beləliklə (9.8) inteqralı hesabat üçün əlverişli bir şəkildə gətirilir:

$$\varphi = \frac{q}{2\pi^2\epsilon_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{Z^2 + \rho^2 + R_0^2}} \cdot k(k) \quad (3.1.9)$$

Burada  $k(k)$  funksiyası birinci dərəcəli elliptik inteqral adlanır və aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$k(k) = \int_0^{\pi/2} \frac{d\beta}{\sqrt{1-k^2 \cdot \sin^2 \beta}} \quad (3.1.10)$$

K əmsalı isə,  $k = \sqrt{\frac{4\rho R_0}{Z^2 + \rho + R_0}}$  kimi təyin edilir.

$Z$ ,  $r_0$  və  $R_0$  qiymətlənə görə ekranların hesabalarını sadələşdirmək məqsədi ilə müəyyən təqribi funksiyalar qəbul edilir. Məsələn,  $Z \gg R_0$  və  $Z \gg \rho_0$  olduqda,  $k(k)$  üçün aşağıdakı təqribi əvəzləmə qəbul edilir:  $k(k) = \ln 4/k'$ , burada  $k' = 1-k^2$ . Bu halda,  $k(k)$ -ni nəzərə aldıqda (3.1.9) ifadəsi aşağıdakı kimi yazılacaqdır:

$$\varphi = \frac{q}{2\pi^2 \varepsilon_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{Z^2 + (\rho + R_0)^2}} \cdot \ln 4 \cdot \sqrt{\frac{Z^2 + \rho + R_0}{Z^2 + (\rho - R_0)^2}} \quad (3.1.11)$$

$Z$  oxu istiqamətində elektrik sahə gərginliyinin qiyməti aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$E = -\frac{d\varphi}{dZ} \quad (3.1.12)$$

(3.1.12) tənliyini həll edərək, təklənmiş toroidal ekranın səthində və yer səviyyəsindən  $H$  hündürlüyündə olan toroidal ekranın yaxınlığında yaranan ESG-lərini tapırlar.

Bütün yüksək gərginlik elektrodlarında olduğu kimi, toroidal ekranların yaxınlığında da ESG-yi maksimal qiymətindən başlayaraq məsafə uzaqlaşdıqca onun kvadrat dərəcəsilə azalır. Lakin hesablar göstərir ki, toroidal ekranın mərkəzi  $Z$ - oxu boyu hər iki istiqamətdə xarakterik maksimal ESG-yi yer alır. Toroidin  $X$ - $Y$  oxu üzrə olan simmetriya müstəvisindən hər iki istiqamətdə  $R_0/\sqrt{2}$  nöqtələrindəki həmin maksimal ESG-i  $R_0$  -la tərs mütənəsb olur və aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$E_{\max} = \frac{0,385 \cdot q}{4\pi \varepsilon_0 \cdot R_0^2} = \frac{1,21U \cdot \left(1 + \frac{r_0}{2R_0}\right)}{R_0 \cdot \ln \left[ \frac{8R_0}{r_0} \left(1 + \frac{r_0}{2R_0}\right) \right]} \quad (3.1.13)$$

Bu nöqtələrdə yaranan maksimal ESG-ri istiqamətcə biri-birinin əksinə yönəlir. Toroidin simmetriya mərkəzində isə, ESG-i sıfır olur. Belliklə,

simmetriya mərkəzindən  $\pm \frac{R_0}{\sqrt{2}}$  məsafəsində ESG-nin qiymətləri  $\Delta E_z$  qədər dəyişir:

$$\Delta E_z = \frac{0,770 \cdot q}{4\pi\epsilon_0 \cdot R_0^2} \quad (3.1.14)$$

Bu nəticə toroidal ekranların montajı zamanı nəzərə alınmalıdır. Məsələn toroidal ekranın yüksək gərginlik açarlarının kürəvi gövdəsi (bakı) altında montajı zamanı gövdə ilə toroid arasındakı məsafə  $R_0/\sqrt{2}$ -a bərabər olarsa bərk yaxınlığında elektrik sahəsinin paylanması xeyli dərəcədə bərabərləşmiş olur. Bu halda, açarın gövdəsi yaxınlığında ESG-nin artması, toroidin yaxınlığında azalan ESG ilə kompensasiya olunur. Nəticədə açarın gövdəsi üzrə ESG-nin kəskin artımı xeyli məhdudlaşır.

Toroidal ekranlar bir neçə toroidin kombinasiyası şəklində istifadə edildikdə, taclanmanın başlanğıc gərginliyini azaltmaq mümkündür. Bu zaman toroidlərin bərabərləşdirici təsir zonası da genişlənmiş olur.

$U_{baş}$  -əsasən iki parametrlə, ekranın toroid çevrəsinin  $R_0$  radiusunun ekran borusunun  $r_0$  radiusuna olan nisbəti ( $R_0/r_0$ ) ilə təyin edilir. Yer səthinə qədər olan  $H$  məsafəsi və  $R_0/H$  nisbəti taclanmanın başlanğıc gərginliyinə az təsir edir.

Yer səthindən  $H$  məsafəsində montaj edilmiş toroidin səth taclanmasının başlanğıc gərginliyi aşağıdakı kimi hesablanır [21]:

$$U_{bas} = \frac{E_{bas} r_0 \left(1 + \frac{r_0}{2R_0}\right) \cdot \left[ \ln \frac{8R_0}{r_0} \left(1 + \frac{r_0}{2R_0}\right) - \frac{\pi R_0}{2H} \right]}{1 + \frac{r_0}{2R_0} \ln \frac{8R_0}{r_0} \left(1 + \frac{r_0}{2R_0}\right)} \quad (3.1.15)$$

burada 
$$E_{bas} = 16,8 m_{qh} \delta \left[ 1 + \frac{a_h}{r_0^{0,38}} \right] \quad (3.1.16)$$

havada taclanma sahə gərginliyinin başlanğıc təsiredici qiyməti,  $m_{qh}$  –ekranın səthinin qeyri hamarlıq dərəcəsi,  $\delta$ -havanın nisbi sıxlığı,  $r_0$  –ekranın borusunun əyrilik radiusu,  $a_h$  – elektrodun konfigurasiyasından asılı olan əmcəldir (silindrik elektrod üçün 0,62 və kürəvi elektrod üçün 0,76) qəbul edilir.

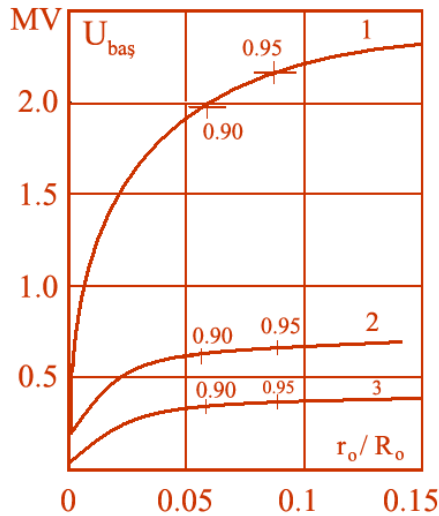
Borunun  $r_0$  radiusunun artması,  $R_0/r_0$  nisbətini azaltsa da,  $r_0$ -m bu artımı başlanğıc gərginliyin mütənasib olaraq artımına səbəb olur. Ona görə,



yüksək gərginlik aparatları üçün ekranların layihələndirilməsində  $R_0/r_0$  nisbətinin optimal variantının həlli axtarılır. Bu zaman optimallaşma kriteriyası kimi, ekranın səthinin minimal qiymətində,  $U_{baş}$  başlanğıc gərginlik şərtinin ödənməsi qəbul edilir. Çünki, toroidin radiusu və səth sahəsi böyüdükcə, ona göstərilən külək və buzlaşma təsirləri sütun üçün əlavə qorxulu mexaniki yüklər yaradırlar. Bu kriteriya ekranın verilmiş səth sahəsi üçün, başlanğıc maksimal gərginliyin alınması kimi təyin edilir. Ona görə (3.1.15) formulasında ekranın səthini  $S_s=4\pi^2 \cdot r_0 \cdot R_0$  və toroid çevrəsinin radiusunu  $R_0=S_s/(4\pi^2 \cdot r_0)$  ilə əvəz etdikdə, aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$U_{baş} = \frac{E_{bas} r_0 \left(1 + \frac{2\pi^2 r_0^2}{S_s}\right) \cdot \left[ \ln \frac{2S_s}{\pi^2 r^2} \left(1 + \frac{2\pi^2 r_0^2}{S_s}\right) - \frac{S_s}{8\pi r_0 H} \right]}{1 + \frac{2\pi^2 r_0^2}{S_s} \ln \frac{2S}{\pi^2 r_0^2} \left(1 + \frac{2\pi^2 r_0^2}{S_s}\right)} \quad (3.1.17)$$

burada  $U_{baş}$  yalnız bir dəyişənin -  $r_0$ -ın funksiyasıdır. Bu halda verilmiş səth sahəsində  $R_0/r_0 = S_s/(4\pi^2 \cdot r_0^2)$  **olur**. (3.1.17) formulası və  $R_0/r_0$  -in sonuncu ifadəsi ilə aparılmış hesabatlardan  $U_{baş}=f(r_0/R_0)$  asılılığına aid funksional əyrilər qurulmuşdur. Hesabatlarda toroidin səthinin qeyri hamarlıq dərəcəsi  $m_{qh}=0,9$  götürülmüş və yerin təsiri nəzərdən atılmışdır. Göründüyü kimi bütün hallarda  $U_{baş}$ ,  $r_0/R_0$  nisbətinin son həddinə qədər artır. Radiusların  $R_0/r_0 \geq 7$ -ə uyğun nisbətinin son həddi (3.1.14) tənliyinin ödəndiyi oblastdır. Ona görə verilmiş  $U_{baş}$  və toroidin minimal səthi üçün,  $R_0/r_0$  nisbətinin də minimal qiyməti olur.



Şək.3.1.3. Taclanmanın başlanğıc gərginliyinin toroidal ekranın verilmiş  $S_s$  səthi və  $r_0/R_0$  nisbətindən asılılıq əyriyələri:- 1-əyrisi  $S_s=4\pi^2 m^2$ , 2-əyrisi  $S_s=4\pi^2 \cdot 0,1m^2$  və 3-əyrisi  $S_s=4\pi^2 \cdot 0,01m^2$

Kiçik  $R_0/r_0$  nisbətində, toroidin hazırlanmasında olan texnoloji çətinliklər səbəbi ilə  $R_0/r_0=7$  optimal variant kimi qəbul edilir.  $r_0/R_0 \approx 0,15$  nisbətində  $U_{baş}=f(r_0/R_0)$  funksiyasının səlis dəyişməsi həmin zonada başlanğıc gərginliyin qiymətinə az təsir edir. Bu  $r_0/R_0$  üçün bir neçə optimal qiymətlər (oblastın) alınmasına səbəb olur. Məsələn, taclanmanın başlanğıc gərginliyini optimaldan 5% az götürsək,  $r_0/R_0$  nisbəti 0,1-ə qədər azalar, və ya  $R_0/r_0$  nisbəti 10 –a qədər artar.  $R_0/r_0=15$  olduqda isə,  $U_{baş}$  maksimaldan 10 % aşağı olur.  $R_0/r_0$  nisbətinin 15-dən böyük qiymətlərində  $U_{baş}$  kəskin olaraq azalır. Ona görə bu nisbət üçün 15-dən böyük qiymətlərin olması məqsədə uyğun deyildir.

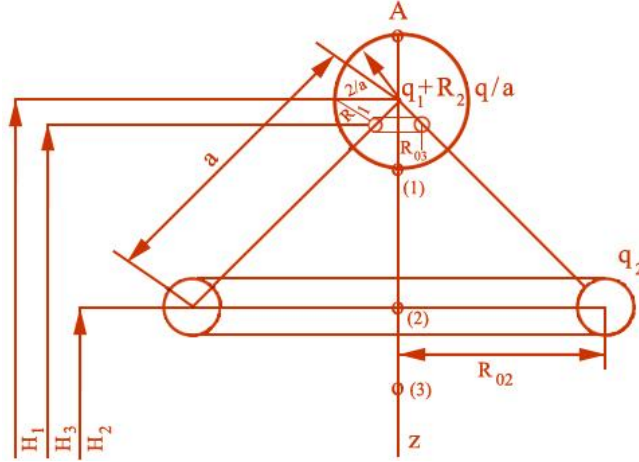
Toroidin borusu, böyük radiusu və yer səthindən olan yüksəkliyi düzgün seçilmədikdə ümumi boşalma gərginliyinin qiymətləri azalır. Ona görə çox yüksək nominal gərginliklərdə (330-750 kV) işlədilən ekranlarda hesabata yanaşma başqa cür olmalıdır.

### 3.1.2. İzolyasiya konstruksiyaları boyu gərginlik və ESG paylanmasının iki və çox saylı ekranlarla bərabərləşdirilməsi

Yüksək gərginliklərin aparatların girişinə və elektrik avadanlıqlarına tətbiq edildiyi nöqtələrində və birləşdirici qovşaqlarda sahə gərginliyinin tənzimlənməsinə ehtiyac vardır. Əks halda, onların normal işini təmin etmək bir çox problemlə qarşılaşır. Xüsusi ilə, müasir aparatlarda istifadə edilən üzvi tərkibli izolyasiya gövdələri üçün, həmin birləşmə yerlərində yaranan taclanmalar çox təhlükəli olur. Ona görə, aparat izolyasiyasının layihələndirilməsi zamanı, izolyasiya konstruksiyalarının hündürlüyü boyu elektrik sahə gərginliyinin paylanması analiz edilməlidir. Bu araşdırmaların məqsədi, ekranların minimal səth sahəsi üçün, polimer izolyasiyanın etibarlı işinin təmin edilməsi və əsas texniki tələbatların ödənməsidir. Əvvəlki paragrafda göstərilirdiyi kimi, toroidal ekranlar simmetriya oxu boyu elektrik sahə gərginliyinin paylanmasını bərabərləşdirən zonaya malikdir. Xüsusi hallarda izolyasiyanın hündürlüyü boyu ESG-nin tənzimlənməsi üçün iki və çox saylı ekranlar sistemindən istifadə edilir. Yüksək gərginlikli kürəvi elektrodun ətrafında ESG-nin toroidal ekran vasitəsi ilə bərabərləşdirilməsi məsələsinin effektivliyinə baxaq, şəkl. 3.1.4.

Toroid olmadıqda, kürənin səthindən uzaqlaşdıqca ESG sürətlə azalır: ona görə (3.1.5) formulasını istifadə edərək aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$E = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 \cdot z^2} = \frac{C_k \cdot U}{4\pi\epsilon_0 \cdot z^2} \approx \frac{R_1 \cdot U}{z^2} \quad (3.1.18)$$



Şək.3.1.4. Yüksək gərginlikli elektrod və toroidal ekranın qarşılıqlı yerləşmə sxemi. Bir ədəd toroidal ekran olduğu hal

Digər tərəfdən kürə olmadıqda toroidin  $z$  koordinatının,  $H_1-H_2-\frac{R_0}{\sqrt{2}}$ ;  $H_1-H_2+\frac{R_0}{\sqrt{2}}$  məsafələr intervalının dəyişmə diapazonunda sahə gərginliyi artır şək.3.1.4.

Toroidin  $z$  oxu boyu elektrik sahə gərginliyinin dəyişməsi aşağıdakı formula ilə təyin edilir:

$$E_z = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{z}{\sqrt{z^2 + R_{02}^2}} \quad (3.1.19)$$

Digər tərəfdən (3.1.14) formulasına görə, toroidin  $R_0$  – radiusu kiçildikcə, hündürlük boyu sahə gərginliyinin düşgüsü artır. Bu  $z$  koordinatının göstərilmiş həddlərdə dəyişdirilməsi ilə, elektrik sahə gərginliyinin tənzimlənməsinə imkan verir. Baxılan hal üçün, yüklərin hesabat sistemi, şəkil 3.1.6 –da verilmişdir. Son iki ifadədən, kürə və toroidin oxu boyu və kənarında olan ixtiyari  $z$  məsafəsində ESG aşağıdakı kimi hesablanır:

$$E_z = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 z^2} + \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{z - \sqrt{H_1 - H_2}}{\sqrt{(H_1 - H_2) + R_{02}^2}}^{3/2} + \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{R_1}{\sqrt{(H_1 - H_2) + R_{02}^2}} \left\{ \frac{1}{z^2} - \frac{z - \sqrt{H_1 - H_3}}{\sqrt{(H_1 - H_3) + R_{03}^2}}^{3/2} \right\} \quad (3.1.20)$$

burada  $q_1$  və  $q_2$  yükləri eyni gərginlikdə olan kürə və toroid üçün potensial tənliliklərindən aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$\left. \begin{aligned} U &= \alpha_{11}q_1 + \alpha_{21}q_2 \\ U &= \alpha_{12}q_1 + \alpha_{22}q_2 \end{aligned} \right\} \quad (3.1.21)$$

$$q_1 = \frac{U}{\alpha_{11}} \frac{1 - \frac{\alpha_{12}}{\alpha_{22}}}{1 - \frac{\alpha_{12}^2}{\alpha_{11}\alpha_{22}}} ; q_2 = \frac{U}{\alpha_{22}} \frac{1 - \frac{\alpha_{12}}{\alpha_{11}}}{1 - \frac{\alpha_{12}^2}{\alpha_{11}\alpha_{22}}} \quad (3.1.22)$$

(3.1.20) ifadəsində olan ölçülər isə aşağıdakı qiymətlərlə ifadə edilir:

$$H_1 - H_3 = \frac{R_1^2}{a} \cdot \frac{H_1 - H_2}{a} = \frac{R_1^2 \sqrt{H_1 - H_2}}{(H_1 - H_2)^2 + R_{02}^2};$$

$$R_{03} = R_{02} \frac{R_1^2}{a^2} = \frac{R_{02} R_1^2}{\sqrt{(H_1 - H_2) + R_{02}^2}};$$

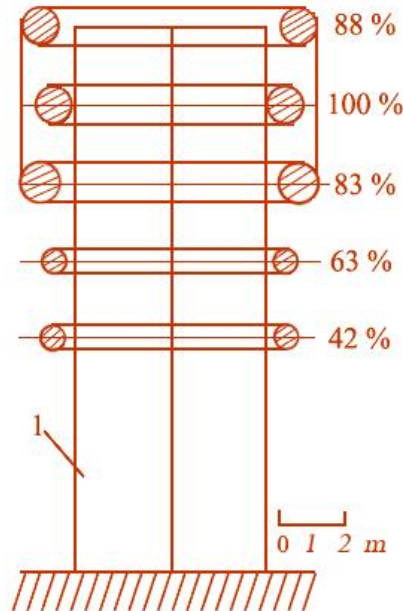
Toroidin bütün bərabərləşdirici zonasını səmərəli istifadə etmək üçün, onu kürədən  $R_{02}/\sqrt{2}$  məsafədə montaj etmək lazımdır. Bu halda toroidin əks istiqamətdə yönələn maksimal sahə gərginliyi, kürənin maksimal gərginliyi ilə qovuşur. Nəticədə kürənin səthində ESG-nin qiyməti daha çox azalmış olur.

### 3.1.3. İzolyasiya konstruksiyalarında məcburi gərginlik paylanması

2-3 MV-dan böyük gərginlikli sınaq qurğularında ekranların tələb olunan real ölçülərini almaq çətin olur. Məsələn, 4,3 MV –lıq generatorlarda öz-özünə boşalmalar olmaması üçün, diametri 5 m-lik borudan hazırlanmış toroidal ekranlar tələb edilir. Belə hallarda qurğunun düzgün işləməsi üçün toroidal ekran sistemi tətbiq edilir. Bu sistemə isə, ekranlaşdırılan qurğunun özündən gərginlik verilir. Şək.3.1.6-də gərginliyi 7 MV olan (“TUR” zavodu,

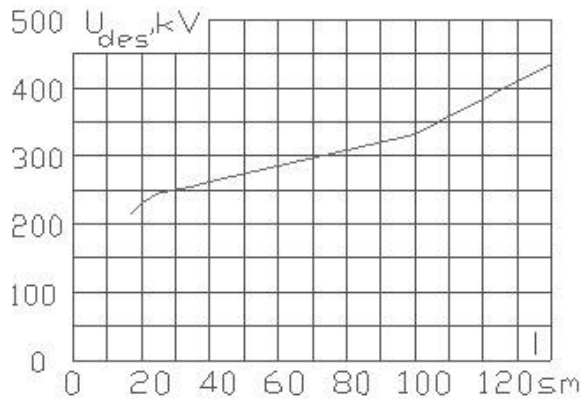
Almaniya , Drezden) kommutasiya və atmosfer sınaqlar üçün impuls gərginliklər generatoru göstərilmişdir. Bu generatorların xaricində diametri 1 m olan toroidal ekranlar sistemi quraşdırılmışdır. Bu məsələnin tətbiqi yüksək gərginlikli izolyator sütununda yer almışdır.

İzolyator sütununda sahə gərginliyinin bərabərləşdirilməsi zamanı ekranın ölçüləri düzgün seçilmədikdə (kiçik olduqda) boşalma ekrandan üst izolyatorun aşağı oturacağına vurur. (3.1.17) ifadəsinə görə gərginlik tətbiq edilən üst elektrodun aşağı metal elementindən başlayan bu boşalma sonra izolyator sütunun hündürlüyü boyu davam edərək bütün səthi bürüyür. Bunun səbəbi çox yüksək izolyator boyu elektrik sahəsinin kəskin qeyri bircinsli qaydada paylanmasıdır. Məsələn, 8 ədəd 35 kV-luq taxma dayaq izolyatorlarından (ONŞ-35) yığılmış sütunun hündürlüyü 3,4 m dir. İzolyator sütunu altında qoyulan beton altlıq nəzərə alındıqda isə, yer səthindən olan toplam yüksəklik 6m-ə çatır. [7] –ə görə ən üst səkkizinci izolyatora bütün gərginliyin 50-60 %-düşür. Ona görə bu halda ekranın diametri ilə yanaşı, diqqət ediləsi əsas ölçü ekranla üst izolyatorun aşağı flanesi arasındakı məsafədir. Əgər bu məsafədə deşilmə gərginliyi məlum olarsa, onda üst izolyatora düşən gərginlik payına görə bütöv sütunun deşilmə gərginliyini hesablamaq olar. Belə aralıqlar üçün deşilmə gərginliyinin əyrisi şəkl. 3.1.7 –də göstərilmişdir.



*Şək.3.1.6. 7MV-lıq impuls gərginliklər generatoru üçün toridal ekranlar sistemi(zavod “TUR”, Drezden); 1-generator divarı, %-lə ekranlarda potensial verilmişdir.*

Sütunda dayaq izolyatorlarının ölçülərinə (məsələn, XTD-35 xarici tip taxma dayaq izolyator və 110 kV ÇDİ-çubuqşəkilli dayaq izolyator sütunlarında) uyğun olan hər bir izolyatorun yüksəkliyi 45-48 və 94-98 sm-dir. Sütunda quraşdırılmış izolyatorlara uyğun olaraq ekranla birinci izolyatorun oturacaq flanesi arasında məsafə isə 50-100 sm olur. Ona görə şək.3.1.7-də göstərilmiş asılıq real izolyatorlar sütununa tətbiq edilə bilər.



*Şək.3.1.7. Toroidal ekranla birinci izolyatorun aşağı flanesi arasında boşalma gərginliyinin məsafədən asılıq qrafiki*

Çox hündür izolyasiya sütunu üçün üst izolyatorun gərginlik payına görə hesablanmış ümumi sütunun deşilmə gərginliyi, ekranla sütunaltı müstəvi arasında olan havanın deşilmə gərginliyindən böyük ola bilər. Bu halda hesabatlara düzəlişlər etmək lazım gəlir. Həmin məsələnin həllinə ayırıcıların izolyasiya hesabatlarında (bax fəsil 7.3) baxılacaqdır.

### **3.2. Ayırıcıların izolyasiya hesabatları**

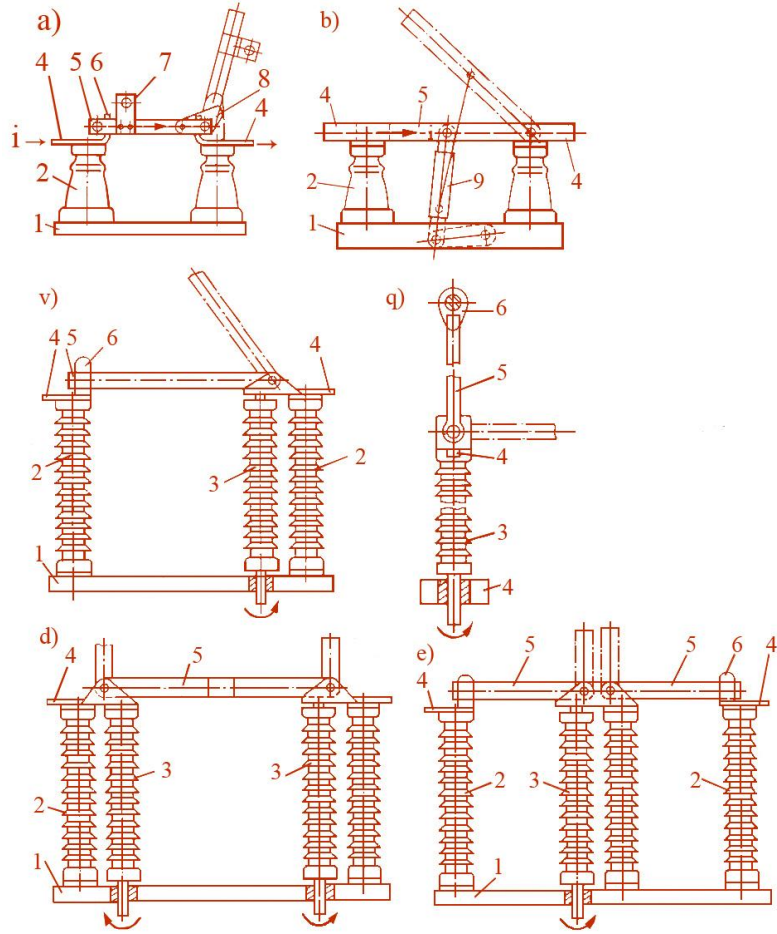
Ayırıcılar gözlə görünən açıq kontaktlar arasında və izolyasiya məsafələrində yaxşı elektrik izolyasiya səviyyəsinə malik olmalıdırlar. Buraya əsasən aşağıdakı hissələrin izolyasiya səviyyələri aiddirlər: a) gərginlik altında və torpaqlanan hissələr arasında izolyasiya; b) gərginlik altında olan qonşu fazlar arası izolyasiya; v) bir qütbün açıq kontaktları arasında izolyasiya.

Göstərilmiş bu elementlər arasında elə izolyasiya yaradılır ki, ayırıcı İEC 62271 və DÜİST 1516.1-76 standartlarına uyğun gəlsin.

Ayırıcıların yuxarıda göstərilmiş əsas izolyasiya məsafələrinin minimal qiymətlərini təyin etmək üçün, təcrübələrdən alınmış asılılıq əyriləri şəkl.7.3.4 – 7.3.6 və ya təcrübi yolla alınmış empirik ifadələrdən istifadə edirlər.

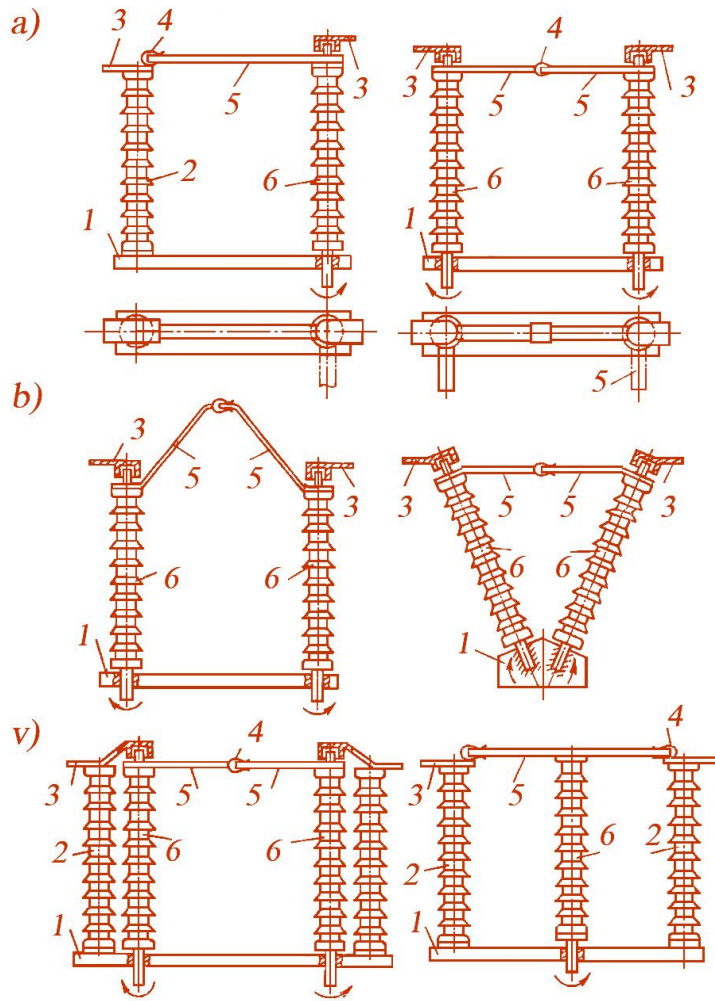
Məlumdur ki, ayırıcılar digər şəbəkə aparatları kimi, mümkün olan bütün gərginliklərin təsirinə məruz qalır. Ona görə, izolyasiya məsafələri üçün sənaye tezlikli gərginlik, standart impuls gərginliyi və kommutasiya impuls gərginlikləri üçün əyrilər və empirik ifadələr tətbiq edilir.

**Sənaye tezlikli gərginliklər təsir etdikdə izolyasiya aralıqları məsafələrinin təyin edilməsi.** Şəkl.7.3.5-7.3.7-də göstərilən gərginlik təsirləri ilə **havada** izolyasiya aralıqlarını təyin etmək üçün olan əyrilər göstərilmişdir. Havada deşilmə gərginliyinin qiyməti, xarici izolyasiyanın quru və təmiz olduğu halda 50 Hs, 1 dəqiqə saxlanan sınaq gərginliklərinin deşilmə gərginliklərindən 5-10 % böyük olur. Burada gərginliyin təsiredici qiymətləri götürülür.



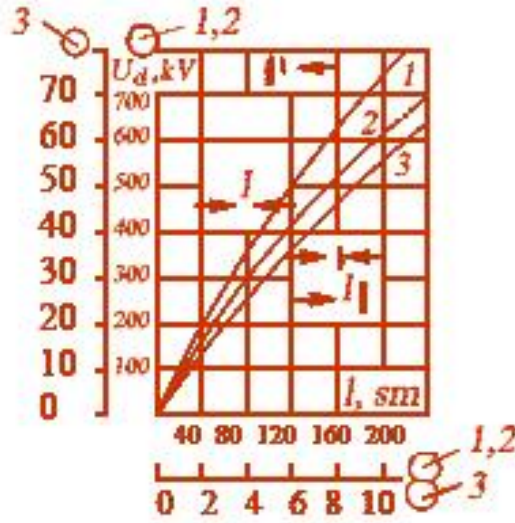
Şək.7.3.3. Veritikal dönən tip 6(10)kV a) və b), 35-220 kV izolyatoru üzərində horizontal dönən və bıçaqları qatlanan tip ayırıcılar:- v), q), d), e)





Şək.7.3.4. Müxtəlif tip tək və cüt izolyatorlu, vertikal və V şəkili yüksək gərginlikli horizontal dönən tip ayırıcıların konstruksiyaları

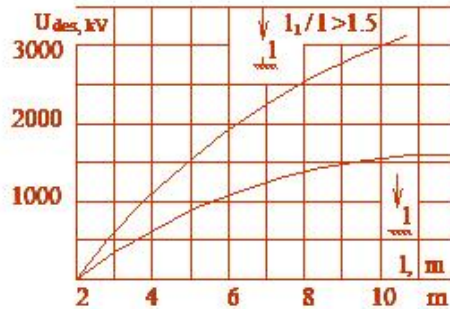
Beləliklə seçilən təcrübi metodikalarda çirklənmə və nəmlənmə şəraitləri də nəzərə alınmaqla hesablanan xətt izolyatorları və aparat izolyasiya və ya izolyatorları üçün konstruksiya və kateqoriyalarının uyğunluğu təyin edilir. Bu metodika ilə hesablanan izolyasiya səviyyəsinə görə ən optimal variantlarda, 110 kV və yuxarı gərginliklər üçün sınaq gərginliyi ən böyük faz gərginliyindən 10 %, 6-35 kV gərginliklərdə isə 30 % çox ola bilər.



Şək.7.3.5. Ayırıcıların əsas izolyasiya aralıqlarının 50 Hs tezlikdə hava məsafələrinin dəşilmə əyriləri

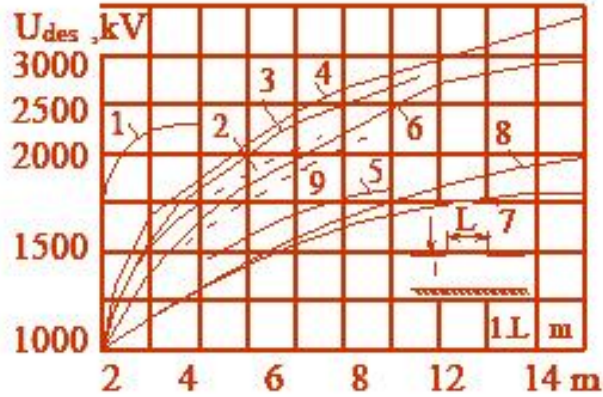
Ayırıcının kontaktları qapalı olduqda, kontaktlarla torpaqlanmış alt montaj metal hissələr arasında dayaq izolyatorlarının hündürlüyü quru boşalma gərginliyinə əsasən hesablanır:

$$U_{des} = (1,05 \div 1,1) \cdot U_{qb} \quad (7.3.1)$$



Şək.7.3.6. Hava aralığının 50 Hs tezlikli dəşilmə gərginliyi amplitud qiymətlərinin məsafədən asılılıqları

Daha yüksək gərginlikli (330-500 kV) ayırıcıların kontakt elementləri kürə və ya toroidal ekranlar vasitəsi ilə hər fəzada ekranlaşdırılır. Bu hallar üçün çoxlu sayda tədqiqatlar aparılmışdır [23,24]. Alınmış bir sıra nəticələr şək.7.3.7-də verilir.



Şək.7.3.7. Hava aralığının 50 Hs tezlikli, 50 %-lideşilmə gərginliyinin amplitud qiymətlərinin məsafədən asılılıqları. Elektrodlar: 3m diametrində kürə-torpaqlanmış müstəvi (1-əyrisi); iki ekranlaşdırıcı həlqə-(2 əyrisi),  $l/L=1,5$  (3 əyrisi),  $l/L=2$  (4 əyrisi); iki qat oval-torpaqlanmış müstəvi (5 əyrisi); ekranlaşdırıcı toroid-eni 1m olan portal dayaq (6 əyrisi); iynə-torpaqlanmış müstəvi (7 əyrisi); ekranlaşdırıcı həlqə-torpaqlanmış müstəvi (8 əyrisi); ekranlaşdırıcı həlqə-3 m enində olan portal dayaq 9(əyrisi)

Atmosfer təzyiqində, uzunluğu  $8 < l < 100$  sm olan, hava aralığınındeşilməsində minimal məsafəni (sm-lərlə) aşağıdakı empirik ifadələrlə təyin etmək olar:

*iynə – torpaqlanmış müstəvi* arasındadeşilmə

$$l = 0,285 \cdot U_{des} - 2,85, \quad (7.3.2)$$

*iki iynə elektrodları* arasında

$$l = 0,27 \cdot U_{des} - 2,7. \quad (7.3.3)$$

Atmosferdə havanın  $l > 100$  sm olan məsafələrində isə, izolyasiya aralığının minimal qiymətləri üçün (sm-lə), aşağıdakı empirik ifadələr tətbiq edilə bilər:

*İynə-iynə, paralel silindrlər və iki həlqə şəkilli* (toroid) elektrodlar arasında  $l$ -in  $100 \div 450$  sm məsafələrindəki qiymətləri üçün :

$$l = \left( 5 - \sqrt{70 - 3,52 \cdot 10^{-2} \cdot U_{des}} \right) \cdot 10^2. \quad (7.3.4)$$

*İynə-müstəvi, müstəvi üzərində - üfiqi yerləşən həlqə, müstəvi üzərində - şaquli həlqə, kürə – müstəvi elektrodları üçün, havada minimal deşilmə məsafəsi aşağıdakı kimi hesablanır:*

$$l = \left( 12 - \sqrt{90,27 - 6,26 \cdot 10^{-2} \cdot U_{des}} \right) \cdot 10^2 \quad (7.3.5)$$

(7.3.2) - (7.3.5) ifadələrində 50 Hs deşilmə gərginliyi üçün kV-la təsiredici qiymətlər,  $l$  –in minimal qiymətləri isə sm-lərlə verilmişdir. Hesabatlarda nəzərə almaq lazımdır ki, Şək.7.3.3-də verilmiş əyrilər üçün ordinat oxunda deşilmə gərginliklərinin təsiredici qiymətləri, şək.7.3.6-7.3.8 – də ordinat oxundakı qiymətlər isə, deşilmə gərginliklərinin amplitud qiymətlərinə uyğun gəlir.

Havada 200 sm-dən böyük məsafələrdə *İynə – torpaqlanmış müstəvi* elektrodlar arasında boşalma gərginliyinin minimal məsafəsi aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir:

$$U_{des} = 567,5 \sqrt{1 - 90/l} \cdot \ln \frac{1 + \sqrt{1 - 90/l}}{1 - \sqrt{1 - 90/l}}, \quad (7.3.6)$$

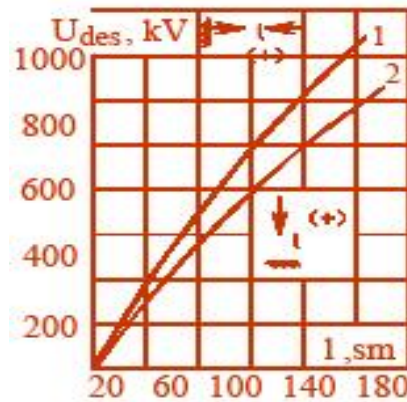
burada  $U_{des}$  –deşilmə gərginliyinin amplitud qiyməti, kV-la;  $l$  – *deşilən* ara məsafəsi, sm-lə. (7.3.6) ifadəsinin nəticələri, təcrübələrdə alınmış nəticələrlə uyğun gəlir.

Şək.7.3.5, 7.3.6 və 7.3.7 – də verilmiş təcrübə əyrilərlə, (7.3.1)-(7.3.5) ifadələrindən alınan qiymətlər, müxtəlif elektrodlar sistemi üçün və ara məsafəsinin 150-200 sm qiymətlərində yaxın nəticələr verir. Lakin, məsafə artdıqca bu nəticələr arasında fərq çoxalır və mühafizə ekranlarının rolu artır. Ona görə, aralığın 200 sm - dən böyük qiymətlərində hesabatlar hər iki usulla aparılmalı və onlardan ən böyüyü son nəticə kimi qəbul edilməlidir.

Şəkil 7.3.7 –dən göründüyü kimi ekranlaşdırıcı həlqə-torpaqlanmış müstəvi arasında (8 əyrisi) və İynə –torpaqlanmış müstəvi arasında (7 əyrisi) məsafə, 5 m-dən çox, artdıqca nəticələr də daha çox fərqlənir. Ekranlaşdırıcı həlqə ilə torpaqlanmış müstəvi arasında boşalma gərginliyinə uyğun olan minimal məsafəsi ekranlaşdırıcı həlqənin konstruksiyasından asılı olur. 120 mm-lik borudan 3 m radiusla əyilmiş toroidal ekran üçün şək.7.3.7 də göstərilədiyi kimi deşilmə gərginliyi 8 əyrisi ilə dəyişir. İki ədəd 9 sm –lik borudan 630 və 220 sm -lik radiusları, ara məsafələri 220 sm olan toroid və torpaqlanmış müstəvi elektrodlar sistemi arasında boşalma gərginliklərinə uyğun minimal məsafələr şək.7.3.7-də 5 əyrisində göstərilmişdir. 5 və 8 əyrilərinin müqayisəsindən görünür ki, üst-üstə montaj edilmiş 2 ədəd ekranlar olduqda-5, boşalma gərginlikləri bir qədər artır.

Ekranlaşdırıcı toroid və portal arasında boşalma gərginliyi portal dayağının enindən asılıdır. Əgər portalın eni 100 sm olarsa, boşalma gərginliyi şəkl.7.3.7 6 əyrisi ilə, 300 sm olduqda isə 9 əyrisi ilə dəyişərək azalmış olur. Portalın eni artarsa, boşalma gərginliyi daha çox azalar. Dayağın eni kifayət qədər böyük olduqda isə, boşalma gərginliyi azalaraq 8 əyrisi ilə göstəriləcəkdir.

Toroidal həlqələr arasında boşalma gərginlikləri onların yer səthindən olan məsafələrinə görə dəyişir:- şəkl.7.3.7 2,3 və 4 əyrləri.



Şəkl.7.3.8. (+) qütblü standart impuls təsiri ilə havada deşilmə gərginliyinin məsafədən asılılıq əyrləri

İldırım impulsuna uyğun ifrat gərginliklər təsir etdikdə, ayırıcılar üçün hava izolyasiya məsafələrinin hesablanması. Şəkl.7.3.8 və şəkl. 7.3.9 –da müsbət və mənfi qütblü 1,5/40 mksan-lik ildırım impulsları təsirləri ilə, havada impuls boşalma gərginliklərinin məsafədən asılılıq əyrləri verilmişdir.

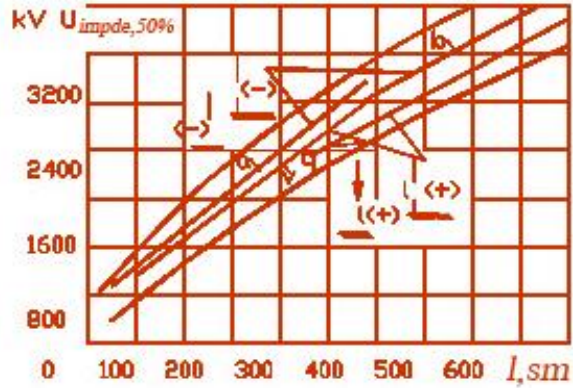
Beynəlxalq Elektrotexnika Komissiyası BEK və DÜİST standartlarına görə, impuls hesabət deşilmə gərginlikləri, impuls sınaq gərginliklərindən 5-10 % artıq götürülür:

$$U_{impdes\,hes} = (0,95 \div 1,1) U_{impdes} \quad (7.3.7)$$

İynə-torpaqlanmış elektrolar arasında, atmosfer təzyiqində, havanın santimetrlərlə ölçülən boşalma aralıqları müsbət, standart impuls təsir etdikdə aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir:

$$\ell = 0,187 \cdot U_{impdes\,hes} \quad (7.3.8)$$

Bu ifadə, deşilmə aralığının 40 sm –lə 1000 sm arasında olan məsafələr üçün doğru olur.



Şək.7.3.9. Havada (+) və (-) qütblü standart 1,5/40 mksan-lik tam impulsun təsiri ilə 50%-li deşilmə gərginliyinin məsafədən asılılıqları .a,b,v,q əyriləri müxtəlif müəlliflərin aldığı nəticələndir.

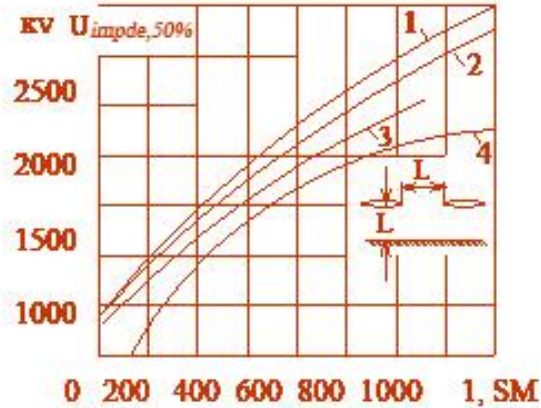
İmpulsun mənfi qütblüyündə 50%-li impuls deşilmə gərginliyi, müsbət qütblükdə olan deşilmə gərginliklərindən böyük olur şək.7.3.8. Lakin, iynə-iynə elektrodları arasında bu fərq nisbətən kiçik olur. Çünki, bu halda hər iki qütblükdə boşalma müsbət iynədən başlayır. Şək.7.3.8 –dən göründüyü kimi, hər iki qütblükdə iynə-iynə elektrodları arasında a,b və v,q əyriləri cüt verilmişdir. Bu müxtəlif müəlliflərin aldığı nəticələrin fərqli olduğunu göstərir. Əyrilər arasında olan bu fərqlər məsafənin artması ilə daha da çoxalır.

İki toroidal həlqə arasında hava aralıqlarının ildırım ifrat gərginliklərinin (standart impulsu şəkilində olan) təsiri ilə deşilməsi, şək.7.3.8-da iynə-iynə elektrodları üçün verilmiş a,b və v,q gərginlik əyriləri ilə təyin edilir.

**Havada ara məsafələrin kommutasiya impulslarının təsiri ilə təyin edilməsi.** Məlumdur ki, kommutasiya impulslarının cəbhə müddəti ildırım impulsunun təsir müddətindən ən azı 10-100 dəfə böyük olur (50-5000 mksan). Şək.7.3.9-də kommutasiya ifrat gərginlik impulslarının təsiri ilə, müxtəlif formalı və ölçülü elektrodlar arasında 50%-li deşilmə gərginlikləri göstərilmişdir.

Kommutasiya ifrat gərginlik impulslarının cəbhə müddəti artdıqca deşilmə gərginliyi əvvəlcə, 100-300 mksan müddətlərində minimuma çatana qədər azalır, sonra isə tədricən artır. Bu zaman deşilmə gərginliyi şək.7.3.7 –də verilmiş 8 əyrisinə uyğun, ekranlaşdırıcı həlqə - torpaqlanmış müstəvi halında alınmış qiymətlərə qədər artır. Kommutasiya impulsları üçün hava

aralığının deşilməsi və bu zaman təyin edilən məsafələr 330 kV –dan böyük olan gərginliklər üçün aparılır.



Şək.7.3.9. Müsbət qütblü kommutasiya impulslarının təsiri ilə, hava aralığının 50%-li deşilmə gərginliyinin məsafə asılılıqları. Elektrodlar: ekranlaşdırıcı toroidal həlqələr arası 1 əyrisi -  $l/L=2$ ; 2 əyrisi -  $l/L=1,5$ ; 3 əyrisi  $l/L=1$  halında, həlqə-torpaqlanmış müstəvi – 4 əyrisi.

Hava aralıqlarının son qiyməti kimi, sənaye tezlikli kommutasiya impulsları və ildırım impulsları təsirləri ilə alınmış deşilmə gərginliklərinə uyğun ən böyük məsafə seçilir. Elektrodlar arası məsafələr 300 sm – dən böyük olan hallarda, elektrik möhkəmliyinin məsafədən asılılıqlarına, ekranların konstruksiyalarının təsiri də nəzərə alınmalıdır.

### 7.3.3. Ayırıcıların dayaq izolyatorları və izolyasiya sütunlarının hesabları

Bütün aparatlarda olduğu kimi, ayırıcıların dayaq izolyatorları və izolyasiya sütunlarının hesablanması üçün aşağıdakı parametrlər verilməlidir: 1) izolyatorun nominal gərginliyi; 2) xarici və ya daxili növlü quraşdırılma qaydaları; 3) mülayim-soyuq, tropik və qütb iqlim şəraitlərinə görə hazırlanma dərəcəsi; 4) armaturların bərkidilmə qaydaları (sementləmə, mexaniki yolla daxilə və xaricə bərkidilən armaturlar); 5) izolyatorun tipi (silindrik, konik, daxili oyduğu və ya bütöv en kəsiyi olanlar), taxma-dayaq, çubuq şəkilli-dayaq konstruksiyaları və s. verilir.

Xarici quruluşlu ayırıcılar üçün, yuxarıda göstərilənlərdən başqa, izolyatorların hesablarında, izolyasiya səthi üzrə A, B, V kateqoriyalarına aid cədvəl 2.2.1, 13.1.7 və 13.1.8 – də verilən ölçülər də göstərilməlidir.

Daxili tipli ayırıcıların dayaq izolyatorlarının aktiv hündürlükləri quru halda saxlanılan sınaq gərginlikləri  $-U_{qb}$  və impuls  $-U_{imp}$  sınaq gərginliklərinə görə təyin edilir. Xarici tip ayırıcılarda isə, hesabatlar əlavə olaraq yağmur halda boşalma gərginliyinə, DÜİST 1516.1.76, də yoxlanılır  $U_{yb}$ . Aktiv  $H_a$  hündürlüklərinin hesabatında seçilmiş hesabat gərginlikləri  $U_{qb\,hes}$  və  $U_{imp\,hes}$ , sınaq gərginliklərindən bir qədər böyük götürülür. Çünki, hesabat gərginliklərində atmosferdə təzyiq, temperatur və nəmliyin təsirinin (2.3.1÷2.3.5) dəyişmə ifadələri və digər konstruksiya əlamətləri nəzərə alınır:

$$U_{qb\,hes}=k_{eh}\cdot U_{qb}; \quad U_{imp\,hes}=k_{eh}\cdot U_{imp} \quad (7.3.9)$$

Burada  $k_{eh}=1,05\div1,2$  – qiymətlərində ehtiyat əmsəlidir.

35 kV-a qədər olan ayırıcıların dayaq izolyatorlarının santimetrlərlə hesablanan aktiv hündürlüyü aşağıdakı ifadələrlə təyin edilir:

a) sənaye tezlikli gərginlik üçün

$$H_a = 115 - \sqrt{13225 - 50 \cdot U_{qb\,hes}} \quad (7.3.10)$$

b) gərginliyi 130 kV-a qədər olan tam impuls üçün

$$H_a = 26,3 - \sqrt{690 - 5 \cdot U_{imp\,hes}} \quad (7.3.11)$$

v) gərginliyi 130 kV-dan böyük olan tam impuls üçün

$$H_a=0,195 U_{imp\,hes} \quad (7.3.12)$$

Aktiv  $H_a$  hündürlüyü kimi, sonuncu üç ifadədən alınmış cavabların ən böyüyü seçilir.

Tropik və subtropik iqlim şəraitlərində daxili tip ayırıcı izolyatorlarının (dayaq izolyatoru) aktiv hündürlükləri (7.3.10÷7.3.12) eyni ifadələrlə hesablanırlar. Lakin bu halda, izolyatorların xarici səthində ətəklərin sayı, adi haldakı izolyatorlardan xeyli böyük götürülür [15,16,18,32].

$U_{nom}, kV. \dots\dots$	6	10	15	20	35
$\text{Ətək sayları.} \dots\dots$	4	4-5	5	5-6	8-10

Ətəklərin verilməsi sayında onların ölçüləri ehtiyatla seçilir ki, izolyatorun səthi boyu sızma cərəyanının yolu onların aktiv hündürlüyündən 25-35 % böyük olsun.

Xarici tip ayırıcıların santimetrlərlə hesablanan aktiv hündürlükləri aşağıdakı kimi hesablanır:

1. Sənaye tezlikli gərginliklərdə



- a) 35 kV gərginliyə qədər (7.3.10) formulası ilə  
 b) 110-220 kV gərginliklərdə, A, B, V kateqoriyalı ekranlı izolyatorların 80-300 sm həddlərində olan aktiv-  $H_a$  hündürlüyü:

$$H_a = 338,2 - \sqrt{111663 - 143 \cdot U_{qbhes}} \quad (7.3.13)$$

- v) 150 kV və daha yüksək gərginlikdə, A, B, V kateqoriyalı, ekranlı izolyatorların 150-450 sm ölçüləri həddində olan aktiv- $H_a$  hündürlüyü:

$$H_a = 1716,4 - \sqrt{312 \cdot 10^4 - 1226 \cdot U_{qbhes}} \quad (7.3.14)$$

(7.3.13) və (7.3.14) ifadələri ilə həm tək izolyatorun, həm də izolyator sütununun aktiv hündürlükləri hesablanır. Çubuq və taxma şəkilli dayaqdan, *şək. 7.3.10 a,b* ibarət olan sütun izolyatorlarının  $H_a$  hündürlüyü, dayaq izolyatorlarının  $H'_a$  aktiv hündürlüklərinin cəmi kimi təyin ediləcəkdir:

$$H_a = \sum_1^{n_i} H'_a \cdot \text{İzolyator sütununun real aktiv hündürlüyü } H_a = l_{byolu} - 0,5h_{ar} \cdot (n-1)$$

kimi hesablanır (7.3.15), burada  $n_i$  -sütunda izolyatorların sayı,  $h_{ar}$ -armaturların hündürlüyü,  $l_{byolu}$  -boşalma yolunun uzunluğu, sm-lə.

İzolyatorların hündürlüyü 200 sm-dən böyük olduğu hallarda, hesabatlarda ekranların da olduğunu nəzərə almaq lazımdır. İstifadə edilən toroidal ekranların ölçülərini (7.1.13÷7.1.16) ifadələrindən təyin edirlər.

Ümumiyyətlə bu metodika işlənən, paylayıcı qurğuların digər aparatlarının da izolyasiyası ehtiva edilir ki, onlar beynəlxalq standartlar və DÜİST 1516.1-76, DÜİST 1516.2-76, DÜİST 9920-76-ya uyğun sınaq gərginliklərinə davam gətirsin.

### 3.1.4. İzolyatorların xarici səthində ESG-nin yarımqeçirici örtüklər vasitəsi ilə tənzimlənməsi

Yüksək gərginlikli elektrik izolyasiyasının hesablanması və layihələndirilməsi zamanı, çox hallarda onların bərabər elektrik sahəsini almaq mümkün olur. Doğrudan da, biricinsli sahəyə malik olan hava xətti və ya kabel damarları, transformator dolaqları, yüksək gərginlikli açar (ayırıcı) kontaktları, şin sistemləri və onlara aid izolyatorlar yaratmaq mümkün olur.

Bir sıra hallarda yüksək və daha yüksək gərginlikli dayaq və keçid izolyatorlarının hündürlüyü boyu gərginliyin paylanması tənzimlənməsi üçün yarımqeçirici örtüklər (YK) tətbiq edilir (220-500 kV-luq dayaq sütunlarında). İzolyasiya sütununda gərginliyin paylanması izolyatorun

yüksək gərginlik tətbiq edilən üst hissəsi ilə, sıfır potensiallı alt hissəsinin arasında kəskin qeyri bircinsli xarakterdə olur. İzolyatorun səthinə çətin təmizlənən çöküntülər yapışdıqda onların xidmət müddəti azalır və izolyatorun şir çəkilmiş hamar səthi həmin çöküntülərin təsirindən vaxtından əvvəl yeyilib dağılır. Ona görə, belə şəraitlərdə əlavə profilaktik tədbirlər olmadan izolyatorların itisimarı çətin olur. İzolyatorları periodik olaraq təmizləmək, su və ya həlledici məhlulda isladılmış əski ilə silmək lazımdır. İzolyatorların xidmət müddətinin artırılmasının ən geniş yayılmış tədbirlərindən biri onların təzyiqli su ilə yuyulmasıdır. Yüksək və ultra yüksək gərginliklərdə izolyasiyanın səthinin təmizlənməsi və istismarda yaranan bütün problemləri həll etmir. Bu hallarda mütləq elektrik sahəsinin bərabərləşdirilməsi lazım gəlir. Elektrik izolyasiyasının montajı üçün olan və elektrik keçirici funksiyalarını yerinə yetirən metal və keçirici hissələr izolyasiya gövdələri yaxınlığında, təmas yerlərində çıxıntılar və iti uclar təşkil edirlər. Sahəni bərabərləşdirmək üçün onlara dairəvi forma verirlər. Bu hissələrdə keçiricilərlə izolyasiya gövdəsi arasında nazik yarıqlar, oyuqlar və s. qalır. Həmin yerlərdə material və havanın (yağın) dielektrik nüfuzluluqları fərqiindən ESG-yi artır və nəticədə çıxıntıların formasının dairələndirilməsinin verdiyi effekt azalır.

Yüksək gərginliklər olan konstruksiyalarda həmin yerlər xüsusi dolğu materialları, pasta və qətranlarla doldurulur. Dolğu üçün istifadə edilən materialların dielektrik nüfuzluluqları əsas dielektrikin nüfuzluluğundan böyük olmalıdır:  $\epsilon_{dn} > \epsilon_{mn}$ . Sahənin bərabərləşdirilməsinin bu prinsipləri yeni kompozit tərkibli 123 (145) -175 kV –luq «RAYXEM» tipli kabel muftalarında tətbiq edilir. Onlarda kompozit tərkibli izolyasiya və yarımkeçirici montaj elementləri istifadə edilir.

Şəkildə izolyatorların metal hissələri yaxınlığında səthə, yarım keçirici örtük çəklisi göstərilmişdir şəkl.3.1.8. İzolyatorun səthi təmiz olduqda, potensialın paylanması əsasən, səthi keçiricilik- $\gamma_s$  və xüsusi səthi tutumla təyin edilir -  $C_s = \epsilon_0 \cdot \epsilon_n / d$ .

Bu zaman elektrik sahə gərginliyinin ESG maksimal qiyməti A nöqtəsində yaranır:

$$E_{A0} = U_0 \cdot \sqrt{\omega \rho_s \epsilon_0 \epsilon_n / d} \quad (3.1.23)$$

İzolyatorun səthinə yarımkeçirici örtük çəklidə,

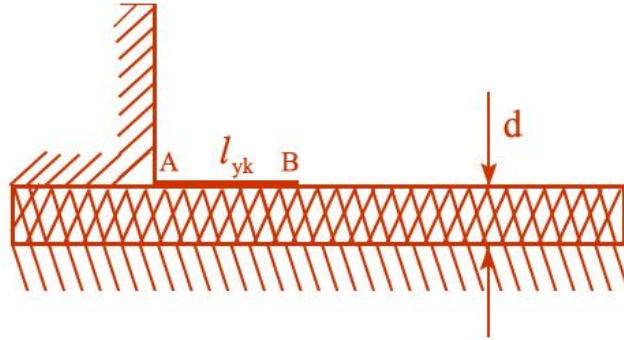
$$E_{A0} = U_0 \cdot \sqrt{\omega \cdot \rho_{yk} \epsilon_0 \epsilon_n / d} \quad (3.1.24)$$

Göründüyü kimi, yarımkeçirici örtük çəkildikdə Elektrik sahə gərginliyi həmin nöqtədə  $\sqrt{\rho_s/\rho_{yk}}$  - dəfə azalmış olur (təxminən  $10^{1,5}$  dəfə). Bu isə, keçiriciliyin artması və izolyatorun səthinin qızmasına və tez qurumasına səbəb olur.

Materialın səthi keçiriciliyini bilərək yarımkeçirici örtüyün hansı uzunluqda çəkiləcəyini təyin etmək olar : -B nöqtəsində  $E_b = U_b \cdot \sqrt{\omega\rho_s\varepsilon_0\varepsilon_n/d}$  kimi təyin edilir. Sonuncu ifadədə  $U_b$  gərginliyi yarımkeçirici örtüyün uzunluğundan aşağıdakı asılığa malik olur:  $x=l_{y.k}$  nöqtəsində,

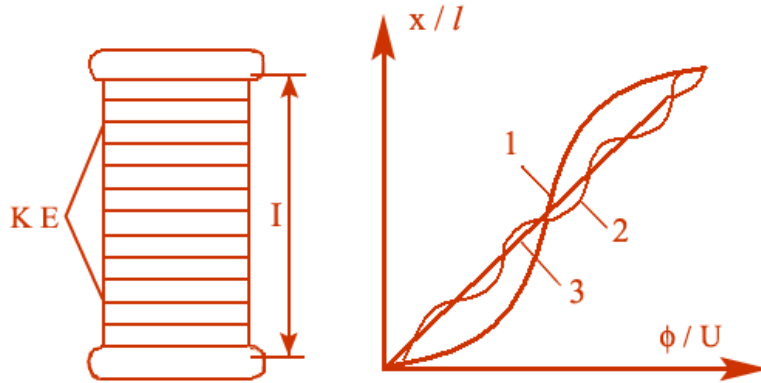
$$U_b \approx 2U_0 \exp \left[ -l_{y.k} \sqrt{\omega\rho_{y.k}\varepsilon_0\varepsilon_n/d} \right] \text{ olar.} \quad (3.1.25).$$

Nəticədə yarımkeçirici örtükdə gərginlik düşgüsü baş verir –  $U_b < U_0$  və  $E_b < E_{A0}$ . Beləliklə, yarımkeçirici örtüyün xüsusi müqaviməti və onun uzunluğunu elə seçmək olar ki,  $E_{A.y.k} = E_b \leq E_{b.b.}$  olsun.



Şəkil 3.1.8. Metal hissələri yaxınlığında izolyatorun səthinə çəkilən yarımkeçirici örtük

Daha yüksək gərginliklərdə izolyatorların bütün səthi boyu kəskin dəyişən gərginliyi şəkl.3.1.9 (I əyrisi), aktiv keçiricilik üsulu ilə bərabərləşdirmək lazım gəlir. Keçiriciliyin dəyişdirilməsi ilə sahənin tənzimlənməsi üsullarına aşağıdakılar aiddir: a) aktiv gərginlik bölənləri, b) səthə çəkilən yarımkeçirici örtüklər, v) taqlanan elektrodlar və s. Şəkil 3.1.9-da aktiv keçiriciliyin tətbiqi ilə izolyatorların səthi üzrə gərginliyin paylanması və dəyişmə əyrisi göstərilmişdir.



Şək.3.1.9. Dayaq sütununda aktiv gərginlik bölənləri vasitəsi ilə potensialın bərabərləşdirilməsi; KE-köməkçi elektrodlar (qurşaq həlqələri),  $U_0$ -başlanğıc gərginlik,  $\phi$ -potensial,  $l$ -sütunun hündürlüyü. 1-təmiz səth üzrə paylanma, 2-bərabərləşdirici həlqələr olduğu halda, 3-ideal paylanma

Şək.3.1.9-dan göründüyü kimi, dayaq sütununun hündürlüyü boyu təmiz izolyasiya səthi-1, gərginlik böləni olduqda-2 və ideal paylanma-3 hallarında potensialların dəyişməsi verilir. Həlqələr arasında gərginlikdə artımlar müşahidə edilir. Lakin ümumilikdə 2 əyrisi sahənin bərabərləşməsini göstərir. Çünki düz xətt ətrafında döyünlərinə baxmayaraq, onların hündürlük üzrə dəyişməsi 1 əyrisinə nisbətən daha zəifdir.

### 3.1.5. Yarımkəçirici örtüklərin hesablanması

Yarımkəçirici örtüklər-YK çəkildə iki izolyasiya (bək-hava mühitinin toxunduğu yerdə) sərhəddində, elektrik sahə gərginliyinin azalması hesabına səthi boşalma hadisəsi ləğv olunur. Digər tərəfdən YK örtüklər izolyatorun səthini qızdırdığı üçün çirklənən və nəmlənən izolyasiya səthinin elektrik boşalma gərginliyinin artmasına səbəb olur. YK örtüklər ən çox elektrik maşınlarının alın hissəsində, asma, keçid və dayaq izolyatorlarında tətbiq edirlər. Şək.3.1.10 və 3.1.11 -də dayaq sütununda sızma cərəyanlarının istiqamətləri göstərilmişdir.

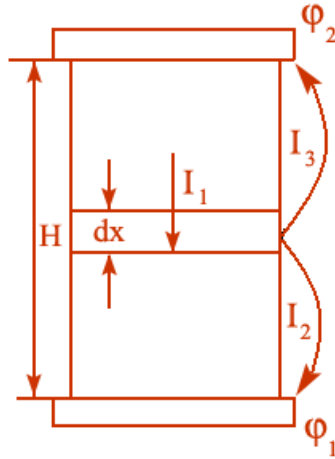
$I_2$  və  $I_3$  cərəyanları izolyatorun elementar  $dx$  hissəsindən yuxarı və aşağı flanelərə tərəf axan sızma cərəyanlarıdır. Kirxhov qanununa görə cərəyanlar həmin  $dx$  məsafəsindən keçən həcmi və səthi cərəyanların cəmi olan  $I_1$  cərəyanına bərabər olmalıdır:-  $I_1 = I_2 + I_3$ . Dayaq sütununun ayrı-ayrı sahələrini onların keçiriciliyi ilə əvəz edib şək. 3.1.11 -də göstərilmiş hesabat sxemini almaq olar.

Sxemdə  $Y_1$ -izolyator səthinin vahid uzunluğuna düşən tam keçiricilik,  $Y_2$  və  $Y_3$ - uyğun olaraq aşağı və yuxarı elektrodla nəzərən tam keçiriciliklər,  $Y_{yk}$ - yarım keçirici örtük çəkilmiş səthin vahid uzunluqda keçiriciliyidir.

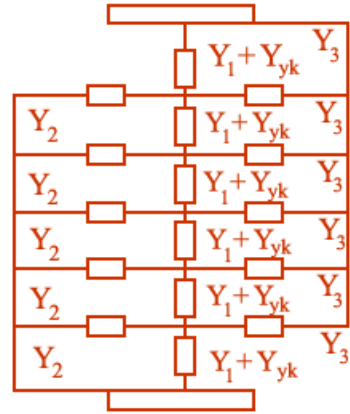
Tərtib edilmiş əvəz sxemi üçün aşağıdakı tənlikləri yazmaq olar:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\varphi}{dx} &= \frac{I_1}{Y_1 + Y_{yk}} \\ \frac{dI_1}{dx} &= \left( \varphi - \varphi_1 \right) Y_2 + \left( \varphi - \varphi_2 \right) Y_3 \end{aligned} \right\} \quad (3.1.26)$$

burada  $\varphi$  - aşağı elektrodun  $x$  məsafəsində dayaq sütununun potensialı,  $\varphi_1$  və  $\varphi_2$  - uyğun olaraq aşağı və yuxarı elektrodların potensiallarıdır. Adətən, aşağı elektrodun  $\varphi_1$  potensialı sıfır qəbul edilir.



Şək.3.1.10. İzolyasiya sütunundan axan cərəyanlar



Şək.3.1.11. İzolyasiya sütununun elektrik əvəz sxemi

Diferensial tənlikləri,  $Y_1$ ,  $Y_2$  və  $Y_3$  -ün  $x$ -dan asılı olmayan const şərtində həll edirlər.  $Y_{yk}$ - isə,  $x$ -dan asılı olur. (3.1.26) sistem tənliyinin birinci tənliyini  $x$ -a görə diferensiallayaraq,  $dI_1/dx$  -in yerinə ikinci tənliyi nəzərə aldıqda aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} = \frac{\left( Y_1 + Y_{yk} \right) I_1' - I_1 \cdot Y_{yk}'}{\left( Y_1 + Y_{yk} \right)^2} \quad (3.1.27)$$

Alınmış  $I_1'$ -in yerinə (3.1.26) sistemin ikinci tənliyini nəzərə aldıqda,

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{Y_1 + Y_{yk}} \cdot \frac{1}{dx} \frac{dY_{yk}}{dx} - \frac{d\varphi}{dx} \cdot \frac{1}{Y_1 + Y_{yk}} \frac{dY_{yk}}{dx} \quad (3.1.28)$$

və ya –

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} + \frac{1}{Y_1 + Y_{yk}} \frac{d\varphi}{dx} \frac{dY_{yk}}{dx} - \frac{Y_2 + Y_3}{Y_1 + Y_{yk}} \cdot \varphi + \frac{\varphi_2 Y_3 + \varphi_1 Y_2}{Y_1 + Y_{yk}} = 0 \quad (3.1.29)$$

Yarımlı keçirici örtüklər dayaq sütununun səthi üzrə eyni qalınlıqda çəkildikdə  $Y_{yk}$   $-x$ -dan asılı olmur. Bu zaman  $Y_{yk}$  sabit, gərginlik paylanması isə qeyri bərabər olur. Gərginliyin sabit olması şərtini ödəmək üçün çəkilən yarımlı keçirici örtüklərin qalınlıqları, səth boyu müxtəlif olmalıdır. *Birinci halda*  $\frac{dY_{yk}}{dx} = 0$ , olur. Onda  $\varphi(x)$  üçün, (3.1.28) tənliyinin həlli aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$\varphi(x) = A_1 e^{\gamma x} + A_2 e^{-\gamma x} + A_3 \quad (3.1.30)$$

burada  $\gamma$  xarakteristik tənlikdən aşağıdakı kimi təyin edilir:-

$$\gamma = \sqrt{\frac{Y_2 + Y_3}{Y_1 + Y_{yk}}} \quad (3.1.31)$$

(3.1.29) tənliyinin son həllini sərhəd şərtlərindən istifadə etməklə tapmaq olar.  $x=0$ ;  $\varphi=\varphi_1=0$  və  $x=H=l$ ;  $\varphi=\varphi_2=U_0$  kimi nəzərə alındıqda,  $\varphi(x)$  üçün aşağıdakı ifadə yazılır:

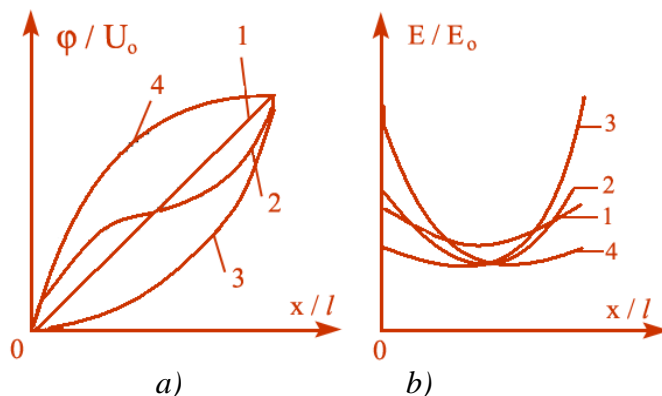
$$\varphi(x) = \frac{U_0}{\varphi_2 + Y_3} \frac{1}{sh \gamma \ell} \left[ Y_2 sh \gamma x - Y_3 sh \gamma (-x) + Y_3 sh \gamma \ell \right] \quad (3.1.32)$$

Sütunun səthi boyu elektrik sahə gərginliyinin dəyişməsi  $E(x) = -d\varphi/dx$  ifadəsi ilə təyin edilir. (3.1.31) ifadəsini diferensialladıqda  $E(x)$  üçün aşağıdakı tənlik yazılır:

$$E(x) = -\frac{U_0 \cdot \gamma}{\varphi_2 + Y_3} \frac{1}{sh \gamma \ell} \left[ Y_2 ch \gamma x + Y_3 ch \gamma (-x) \right] \quad (3.1.33)$$

(3.1.31) və (3.1.32) ifadələrinə əsasən aparılmış hesabların nəticələri şəkl. 3.1.12-də göstərilmişdir. Göründüyü kimi,  $\gamma$ -in qiymətləri azaldıqca potensialın izolyasiyanın yüksəkliyi üzrə paylanması bərabərləşir. Ona görə,

yarımkəçirici örtüyün keçiriciliyini artırmaqla izolyasiya sütununun səthi boyu elektrik sahəsini daha çox bərabərləşdirmək olar. Lakin örtüyün qalınlığı sabit olduqda, keçiriciliyin artırılması elektrik enerjisinin itkisinə və qızmaya səbəb olur. Ona görə, örtüyün keçiriciliyi elə seçilir ki, yüksək gərginlik altında olan elektrodların yaxınlığında yaranan  $E_{max}$  -maksimal sahə gərginliyi,  $E_{bb}$  -buraxıla bilən elektrik sahə gərginliyindən kiçik olsun.



Şək.3.1.12. Dayağ sütununun yüksəkliyi boyu potensial a) və elektrik sahə gərginliyinin b) paylanması 1- $Y_2=Y_3$ ; 1 əyrisi üçün  $\gamma_1=1$ ; 2- $Y_2=Y_3$ ; 3- $Y_2=5Y_3$ ; 4- $Y_2=0,2Y_3$ ; 2 - 4 əyriləri üçün  $\gamma_1=3$  qəbul edilmişdir.

İkinci halda, izolyasiyanın səthi boyu elektrik sahə gərginliyinin sabit olması hesabat şərti kimi qəbul edilir:

$$E \llcorner \rceil = -\frac{d\varphi}{dx} = const, \quad \frac{d^2\varphi}{dx^2} = 0, \quad E = -\frac{U_0}{\ell}, \quad \varphi \llcorner \rceil = -E \llcorner \rceil x. \quad \text{Onda (3.1.28)}$$

tənliyini aşağıdakı formada yazmaq olar:

$$\frac{dY_{yk}}{dx} = \llcorner_2 + Y_3 \llcorner \rceil x - Y_3 \cdot \ell \quad (3.1.34)$$

Sonuncu ifadəni inteqralladıqdan sonra aşağıdakı ifadə alınır:

$$Y_{yk} = \llcorner_2 + Y_3 \llcorner \rceil \frac{x^2}{2} - Y_3 \ell \cdot x + C \quad (3.1.35)$$

$Y_{yk}$ -  $x$  -dan asılı olaraq müəyyən oblastda keçiriciliyi, bir minimal qiymət alan funksiyadır. Onun mənfi olmadığını qəbul etsək, minimal qiymətini sıfır götürmək olar:

$\frac{dY_{yk}}{dx} = 0$ . Onda (3.1.34) tənliyindən  $x$ -in  $Y_{yk}$ -ni sıfıra çevirən qiymətini və ona uyğun  $C$ -ni təyin edirik:

$$\epsilon_2 + Y_3 \cdot x - Y_3 \cdot \ell = 0, \quad x = \frac{Y_3 \cdot \ell}{Y_2 + Y_3} \quad (3.1.36)$$

$$\frac{1}{2} \frac{Y_3^2 \ell^2}{Y_2 + Y_3} - \frac{Y_3^2 \ell^2}{Y_2 + Y_3} + C = 0, \quad C = \frac{1}{2} \frac{Y_3^2 \ell^2}{Y_2 + Y_3} \quad (3.1.37)$$

Son üç ifadədən  $Y_{yk}$ -i üçün aşağıdakı formula yazılır:

$$Y_{yk} = \frac{\epsilon_3 \cdot x - Y_2 x^2}{2 \epsilon_2 + Y_3} \quad (3.1.38)$$

İzolyasiya sütununu səthini silindr kimi hesabladıqda,  $Y_{yk}$  üçün -  
 $Y_{yk} = \frac{\pi \cdot \Delta_x D}{\rho_{yk}}$  alırıq. Burada  $D$  izolyatorun xarici diametri,  $\Delta_x$  - yarımkəçirici örtüyün qalınlığı,  $\rho_{yk}$  -yarım keçirici örtüyün xüsusi həcmi müqavimətidir.  $Y_{yk}$ -nin ifadələrinin bərabərliyindən, yarımkəçirici örtüyün qalınlığı üçün aşağıdakı ifadə alınır:

$$\Delta_x = \frac{\rho_{yk}}{\pi \cdot D} \cdot \frac{\epsilon_3 \cdot x - Y_2 x^2}{2 \epsilon_2 + Y_3} \quad (3.1.39)$$

Deyildiyi kimi, yarımkəçirici örtüklərin tətbiqi izolyator səthində qızmaya və enerji itkilərinə səbəb olur. Səthi elektrik sahə gərginliyi -  $E = U_0 / l$  və  $Y_{yk}$ -i (3.1.37)- yə əsasən, enerji itkisini aşağıdakı inteqral ifadə ilə hesablamaq olar:

$$Q = \int_0^\ell E^2 \cdot Y_{yk} dx = \int_0^\ell \frac{U_0^2}{\ell^2} \cdot \frac{\epsilon_3 \cdot x - Y_2 x^2}{2 \epsilon_2 + Y_3} dx \quad (3.1.40)$$

İnteqralı həll etdikdə,  $Q$  üçün aşağıdakı hesabat ifadəsi alınır:

$$Q = \frac{U_0^2 \ell}{6} \cdot \frac{Y_2^2 + Y_3^2 - Y_2 Y_3}{Y_2 + Y_3} \quad (3.1.41)$$



220-500 kV –luq yüksək gərginlikli elektrik şəbəkə və yarımstansiyalarında yüzrlə dayaq və keçid izolyatorları və izolyasiya sütunları istifadə edilir. İndi isə (3.1.40) ifadəsinə əsasən səthinə yarımkeçirici örtük çəkilmiş, 500 kV-luq dayaq sütununda enerji itkisinin hesabına baxaq, -*Verilənlər*:  $U_0=500 \text{ kV}$ ,  $l=5 \text{ m}$ ,  $Y_2=15 \cdot 10^{-10} \text{ Sim/m}$ ,  $Y_3=3 \cdot 10^{-10} \text{ Sim/m}$ .

$$Q = \frac{5 \cdot 10^{10} \cdot 5 \cdot \left(5 \cdot 10^{-10}\right)^2 + \left(5 \cdot 10^{-10}\right)^2 - 45 \cdot 10^{-20}}{6 \cdot \left(15 \cdot 10^{-10} + 3 \cdot 10^{-10}\right)} = 394 \text{ kVt}$$

Hesabatın nəticələrini enerji sistemlərindəki 500 kV-luq yarımstansiyalarda olan 100–lərlə izolyatorun sayına vurduqda enerji itkisinin böyük rəqəmlərə çatdığı aydın olur. Ona görə  $E=const$  şərti izolyasiyanın işini və bütövlükdə elektrik enerji şəbəkələrinin etibarlılığını artırsa da, böyük itkilərə səbəb olması ilə tətbiqi məhduddur. Onlar yalnız güclü çirklənmə və nəmlənmə olan hallarda istifadə edilə bilər.

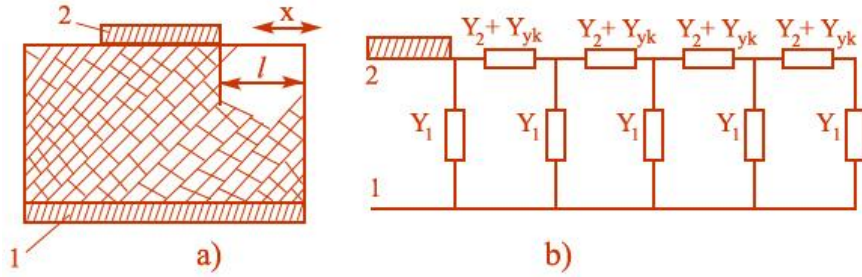
### 3.1.6. Keçid izolyatorlarının səthi keçiriciliyi ilə ESG-nin tənzimlənməsi

Yarım keçirici örtüklərin (3.1.24) formulası ilə təyin olunan tənzimləmə effektindən başqa, səthin keçiricilik ilə qızdırılması da əsas rol oynayır. Təcrübələr göstərir ki, səthin qızdırılması doğrudan da müsbət rol oynayır. Məsələn, eyni gərginlik sinfinə aid olan transformator və yüksək gərginlik açarlarında işlədilən keçid izolyatorlarının köhnəlmə prosesi fərqli olur. Belə ki transformatorlarda  $U_{boş}$  daha yüksək olur. Bunun səbəbi, transformator dolaqlarının qızması hesabına keçid izolyatorlarının ətrafında həmişə istilik ayrılması ilə izah edilir.

İndi isə keçid izolyatorlarının səthinə çəkilən yarım keçirici örtüyün hesabına baxaq şəkl.3.1.13.

Verilmiş əvəz sxemi üçün, § 3.1.5-ə uyğun olaraq, aşağıdakı tənlikləri yazmaq olar:

$$\frac{d^2\varphi}{dx^2} + \frac{1}{Y_2 + Y_{yk}} \frac{dY_{yk}}{dx} \cdot \frac{d\varphi}{dx} - \frac{Y_1}{Y_2 + Y_{yk}} \cdot \varphi = 0 \quad (3.1.42)$$



Şək.3.1.13. Keçid izolyatorları üçün yarımkəçirici örtüklərə aid fiziki model və əvəz sxemləri

(3.1.42) tənliyini yuxarıdakılara analogi olaraq, iki hal üçün,  $Y_{yk}=const$  və  $E=const$  şərtlərində həll edirlər. Birinci halda  $\varphi_2-\varphi_1=U_0$  və  $\varphi_1=0$  olaraq qəbul etdikdə,  $\varphi(x)$  üçün aşağıdakı kimi ifadə alınır:

$$\varphi(x) = U_0 \cdot \frac{sh \gamma x}{sh \gamma l} \quad (3.1.43)$$

$$\text{burada- } \gamma = \sqrt{\frac{Y_1}{Y_2 + Y_{yk}}} \quad (3.1.44)$$

İzolyatorun səthi elektrik sahə gərginliyi  $E = -\frac{d\varphi}{dx}$  olduğundan :-

$$E(x) = -\frac{U_0 \gamma \cdot ch \gamma x}{sh \gamma l} \quad (3.1.45)$$

ESG-nin maksimal qiyməti  $x=l$  olduqda alınır:

$$E_{max} = -U_0 \gamma \cdot ch \gamma l \quad (3.1.46)$$

Deyildi ki elektrik sahəsinin tənzimlənməsinin əsas məqsədi real konstruksiyaların təhlükəli yerlərində ESG-nin maksimal qiymətlərinin -  $E_{max}$ , buraxıla bilən ESG -  $E_{bb}$  qiymətindən aşağı etməkdir. Həmin şərt daxilində,

$Y_{yk} \rightarrow 0$  nisbətən,  $Y_2=0$  -a bərabər götürmək olar. Bu halda  $\gamma = \sqrt{\frac{Y_1}{Y_{yk}}}$  kimi təyin edilir.  $\gamma$  hesablandıqdan sonra örtüyün qalınlığı təyin edilir.

İkinci halda, yenə  $E(x)=const$  və  $\frac{d^2\varphi}{dx^2} = 0$  olduğundan,

$$Y_{yk} = Y_1 \cdot \frac{x^2}{2} + C \text{ alınır.} \quad (3.1.47)$$

İntegral sabiti  $C$ -ni,  $x=0$  və  $Y_{yk}=0$  şərtlərindən  $C=0$  kimi tapırlar. Silindrik izolyasiya sistemləri üçün tam keçiricilik aşağıdakı kimi hesablanır:

$$Y_1 = \frac{2\pi}{\ell n \frac{r_2}{r_1}} \left( \frac{1}{\rho_1} + j\omega \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_n \right) \quad (3.1.48)$$

$$\text{və} \quad Y_{yk} = \frac{2\pi \cdot r_2 \Delta_{yk}}{\rho_{yk}} \quad (3.1.49)$$

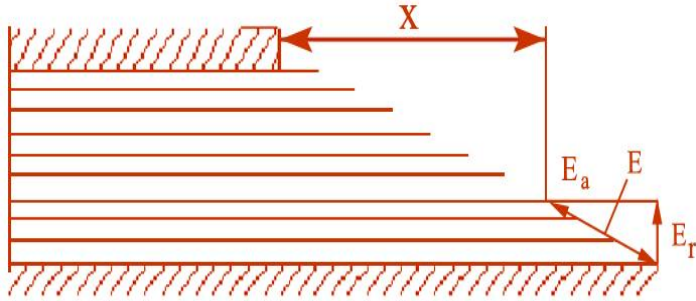
burada  $r_1$  və  $r_2$  – izolyasiyanın daxili və xarici radiusları,  $\rho_1$  və  $\varepsilon_n$  izolyasiyanın xüsusi həcmi müqaviməti və nisbi dielektrik nüfuzluluğudur.  $\Delta_{yk}$  və  $\rho_{yk}$  – uyğun olaraq yarım keçirici örtüyün qalınlığı və xüsusi müqavimətləridir. (3.1.46) – (3.1.48) formulalarından yarım keçirici örtüyün qalınlığı üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$\Delta_{yk} = \frac{x^2 \cdot \rho_{yk}}{2r_2 \ell n \frac{r_2}{r_1}} \left( \frac{1}{\rho_1} + j\omega \varepsilon_0 \varepsilon_n \right) \quad (3.1.50)$$

Enerji itkisini azaltmaq məqsədi ilə yarım keçirici örtüyü bütün izolyasiya səthinə deyil, ESG-nin böyük olduğu nöqtələrə yaxın yerlərə çəkirilər şəkl.3.1.8. Örtüyün qalınlığı və uzunluğunu isə, ESG-nin maksimal qiymətinin, buraxıla bilən qiymətindən kiçik olması şərtini ödədiyi hal üçün (3.1.25) ifadəsindən təyin edirlər.

### 3.1.7. Daxili izolyasiyada kondensator köynəkləri ilə ESG-nin tənzimlənməsi

Yüksək gərginlikli keçid izolyatorları və kabel muftalarında daxili izorlyasiyanın elektrik sahəsi kondensator köynəkləri vasitəsi ilə tənzimlənilir. Şəkil 3.1.14 – də kondensator köynəklərinin sxemi və çıxıntıların kənarlarında yaranan ESG vektorları göstərilmişdir:



Şək.3.1.14 kondensator tipli izolyasiya və çıxıntılar üçün aksial, radial və tam elektrik sahə gərginlikləri  $E_a$ ,  $E_r$ ,  $E$ .

Verilmiş sxemə əsasən, elektrik selinin səpələnməsi nəzərdən atılarsa, köynəklərin sonunu birləşdirən xətt, tam  $ESG-E$  vektoru olacaqdır. Köynəyin ucunda  $ESG$ -i şəkl. 3.1.14-də göstəriləyi kimi vektorlara- $E_a$ ,  $E_r$  ayırmaq olar.

Daxili izolyasiya konstruksiyasının radiusu yüksəklik boyu (içəridə) sabit qalarsa, radial  $ESG E_r$  də sabit olacaqdır. Sahə gərginliyinin aksial təşkilədici  $-E_a$ , izolyator daxilində kondensator köynəyi üstündə sıfır olub, yalnız onların ucunda medana çıxır. Çoxlu sayda kondensator köynəkləri üçün gərginlik düşgünləri gərginlik vektorlarından aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$dU = E_a dx = -E_r dr \quad (3.1.51)$$

burada  $E_a$ -aksial sahə gərginliyi,  $E_r$ -radial sahə gərginliyi,  $dx$ - kondensator köynəklərinin çıxıntı boyu, köynəklərin radial istiqamətdə artımıdır.

Elektrik sahəsinin səpələnməsi nəzərdən atıldığı üçün, aşağıdakı şərtləri yazmaq olar:  $-2\pi\epsilon_0 \cdot rx \epsilon_n E_r = const$ .

Bütün kondensator köynəkləri arasında izolyasiya eyni materialdan ibarət olduğu üçün,  $\epsilon_n = const$  olur. Onda aşağıdakı ifadə yazıla bilər:

$$rx E_r = const \quad (3.1.52)$$

burada  $r$  və  $x$  uyğun olaraq kondensator köynəyinin mərkəzdən olan radiusları və şəkil 3.1.14-də göstərilən çıxıntı məsafələridir. İzolyasiyada kondensator köynəklərini iki: -  $E_r$  - radial  $ESG$ -nin sabitliyi və  $E_a$  - aksial  $ESG$ -yi təşkilədiciyinin sabitliyi şərtindən təyin edirlər. Hər iki hala ayrılıqda baxılır:

1)  $E_r = const$  olduqda, (3.1.51) ifadəsindən aşağıdakı bərabərliyi yazmaq olar:

$$rx = const = C_1 \quad (3.1.53)$$

(3.1.50) ifadəsində aşağıdakı çevirmələri apararaq  $E_a$  üçün, diferensial şəkildə yazmaq olar :

$$E_a = -E_r \frac{dr}{dx} \quad (3.1.54)$$

(3.1.52) və (3.1.53) ifadələrindən  $dr/dx$  törəməsi və  $E_a$  üçün, aşağıdakıları yazmaq olar:

$$\frac{dr}{dx} = -\frac{C_1}{x^2} ; \quad E_a = \frac{E_r \cdot C_1}{x^2} \quad (3.1.55)$$

Sonuncu ifadədən aksial  $E_a$  sahə gərginliyinin köynəklərin boyunun qısalması ilə artdığı görünür. Deməli,  $E_a$  sahə gərginliyinin ən böyük qiyməti üst elektrodun (flanesin) yaxınlığında meydana çıxır.  $E_a$  -nın sonuncu, (3.1.54) ifadəsini (3.1.50)-də yazıb, inteqralladıqda aşağıdakı tənlik alınır:

$$U = -\frac{C_1 \cdot E_r}{x} + C_2 \quad (3.1.56)$$

$C_1$  və  $C_2$  inteqral sabitləri, sərhəd şərtlərindən tapılır:  $-x = l_f ; U = 0$  və  $x = l_{ck} ; U = U_0$  , burada  $l_f$  və  $l_{ck}$  uyğun olaraq flanes və cərəyan keçirici içliyin uzunluqlarıdır.

Sərhəd şərtlərindən  $C_1 \cdot E_r$  -i təyin edib, (3.1.54)-də yerinə yazdıqda  $E_a$  üçün aşağıdakı ifadə alınır:

$$E_a = \frac{U_0 \ell_f \ell_{ck}}{x^2 \left( \ell_{ck} - \ell_f \right)}$$

$E_a$ -aksial sahə gərginliyinin  $x = l_f$  şərtində alınan maksimal qiymətini, həmin nöqtədə  $E_{abb}$  -elektrik sahə gərginliyinin buraxıla bilən qiymətinə bərabər götürsək yazmaq olar:

$$E_{abb} = \frac{U_0 \cdot \ell_{ck}}{\ell_f \left( \ell_{ck} - \ell_f \right)} = \frac{U_0}{\ell_f \left( 1 - \ell_f / \ell_{ck} \right)} \quad (3.1.57)$$

Buradan belə nəticə çıxır ki,  $E_r = const$  olduqda, hesabatlarda izolyasiyanın diametri kiçik alınır. Bu halda izolyasiyanın normal işini təmin etmək üçün,  $l_f$  və  $l_{ck}$  -nin qiymətlərini artırmaq lazım gəlir. Deməli izolyasiyanın diametri kiçik, uzunluğu isə böyük alınır. Bu isə, çox hallarda

izolyasiyanın mexaniki dayanıqlığı və iqtisadi səmərəliliyinə zidd olan varianta gətirir. Ona görə konstruksiyalarda II variantdan istifadə edilir.

- 2) variant  $-E_a = const$  aksial sahə gərginliyi sabitdir. (3.1.51) ifadəsindən  $E_r$  -i təyin edib, (3.1.52) -də nəzərə alıqda, yazmaq olar:

$$rx \cdot \frac{dx}{dr} = C_1 = const \quad (3.1.58)$$

Dəyişənlərə ayırmaqla inteqralladıqda aşağıdakı ifadə alınır:

$$\frac{x^2}{2} = C_1 \ln r + C_2 \quad (3.1.59)$$

İnteqral sabitlərini yenə də sərhəd şərtlərindən təyin etmək lazımdır:  $-x = l_f$ ;  $r = r_f$  və  $x = l_{ck}$ ;  $r = r_{ck}$  nəzərə alıb, (3.1.58) - dən  $C_1$  və  $C_2$ -ni aşağıdakı kimi təyin edirlər:

$$C_1 = -\frac{\ell^2_{ck} - \ell^2_f}{2 \ln \frac{r_f}{r_{ck}}} \quad \text{və} \quad C_2 = \frac{\ell^2_f}{2} + \frac{\ell^2_{ck} - \ell^2_f}{2 \ln \frac{r_f}{r_{ck}}} \cdot \ln r_f \quad (3.1.60)$$

İnteqral sabitlərini (3.1.59)-da yerinə yazaraq kondensator köynəklərinin radiusu və onların uzunluqları arasında asılılığın son ifadəsini yazmaq olar:

$$\frac{x^2 - \ell^2_f}{\ell^2_{ck} - \ell^2_f} = \frac{\ln \frac{r_f}{r}}{\ln \frac{r_f}{r_{ck}}} \quad (3.1.61)$$

(3.1.52) , (3.1.57) və (3.1.59) ifadələrindən,  $C_1$  əmsalını nəzərə almaqla radial və aksial sahə gərginlikləri arasında aşağıdakı ifadəni yazırlar:

$$E_r = E_a \frac{1}{rx} \cdot \frac{\ell^2_{ck} - \ell^2_f}{2 \ln \frac{r_f}{r_{ck}}} \quad (3.1.62)$$

Qəbul edildiyi kimi, aksial sahə gərginliyinin sabitliyindən:

$$E_a = \frac{U_0}{\ell_{ck} - \ell_f}, \quad \text{yazmaq olar.} \quad (3.1.63)$$

$E_a$  -nın bu ifadəsini (3.1.61)-də nəzərə alsaq, radial sahə gərginliyinin son hesabat ifadəsini alarıq:

$$E_r = \frac{1}{rx} \cdot \frac{U_0 (\ell_{ck} + \ell_f)}{2 \ln \frac{r_f}{r_{ck}}} \quad (3.1.64)$$

(3.1.63) ifadəsindən görünür ki, radial sahə gərginliyi  $rx$  hasilindən tərs mütənasib asılığa malikdir. Ona görə  $E_r$ , flanes və cərəyan keçirici içliyin yaxınlığında maksimal qiymətlərə çatır şəkl.3.1.15. Şəkildə görünən 1 əyrisi aksial sahə gərginliyinin tənzimləndiyi və  $E_{rck}=E_{rf}=E_{rmax}$  optimal hal kimi seçilir. Bu halda ESG-nin maksimal qiymətini yazmaq olar:

$$E_{rmax} = \frac{U_0}{2r_{ck} \ell_{ck}} \cdot \frac{\ell_{ck} + \ell_f}{\ln \frac{r_f}{r_{ck}}} = \frac{U_0}{2r_f \ell_f} \cdot \frac{\ell_{ck} + \ell_f}{\ln \frac{r_f}{r_{ck}}} \quad (3.1.65)$$

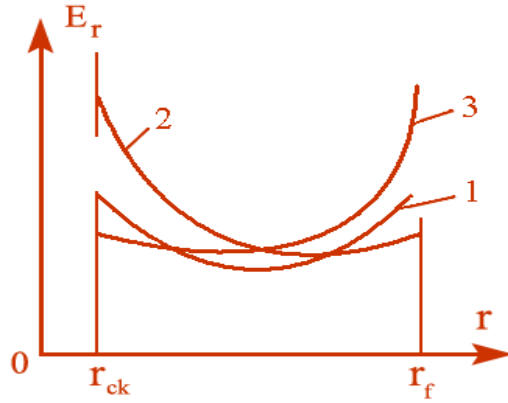
Silindrik izolyasiya konstruksiyalarının optimal parametrlərinin hesabatlarından, radial və uzunluq ölçüləri arasında aşağıdakı optimallaşma parametri -  $z$  təyin edilmişdir: -  $z = \ell_{ck} / \ell_f = r_f / r_{ck}$ . Bu parametri nəzərə aldıqda radial elektrik sahə gərginliyi üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$E_{rmax} = \frac{U_0}{2r_{ck}} \cdot \frac{1+z}{z \ln z} = \frac{U_0}{2r_f} \cdot \frac{1+z}{\ln z} \quad (3.1.66)$$

Elektrik sahəsinin radial təşkiledicisinin ən kiçik qiymətini təyin etmək üçün, (9.65) ifadəsini  $z$ -ə görə diferensiallayıb sıfıra bərabər olan tənliyi həll edirlər.

$$\frac{\ln z - \left(1 + \frac{1}{z}\right)}{\ln z} = 0$$

$z$  kəmiyyəti sonsuz ola bilməz. Ona görə sonuncu kəsrin sürəti sıfır qəbul edilir:-  $\ln z - 1/z = 1$ . Tənliyi həll edərək  $z$ -i təyin edirlər.



Şək.3.1.15 Radial sahə gərginliyinin  $r$ -dən asılılıq əyriləri 1- $E_r$ -in flanes və içliyin yaxınlığında bərabər olduğu hal, 2 və 3 əyriləri sahə gərginliyinin tənzimlənmədiyi hallar.

İzolyasiyaya sərf olunan material həcmnin minimal olması şərtindən də  $z$ -i təyin etmək olar. Elektrik izolyasiya materialının həcmi üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$V = \pi (r_f^2 - r_{ck}^2) \cdot \ell_{ic} = \pi \cdot r_f^2 \left( \frac{z^2 - 1}{z^2} \right) \cdot \ell_{ck} \quad (3.1.67)$$

$r_f$  və  $r_{ck}$  yuxarıdakı ifadələrini (3.1.65) –də nəzərə alaraq, çevirmələr apardıqda material həcmi üçün yeni ifadə yazılır:

$$V = \pi \frac{U_0^2}{4E_d E_{r_{max}}^2} \cdot \frac{(z^2 + 1)}{z \ln z} \quad (3.1.68)$$

Ən böyük radial və elektrik sahə gərginlikləri  $z$  parametridən çox, materialın xarakteristikalarından asılı olur. Materialın həcmnin  $z$  parametrinə görə törəməsini sıfıra bərabər götürüb tənliyi həll etsək, aşağıdakıları yazmaq olar:

$$\frac{(z^2 - 1) \ln z - 2(z^2 + 1)}{z^2 \ln z} = 0 \quad (3.1.69)$$

Maksimal sahə gərginliklərinin və material həcmnin ən kiçik qiymətləri üçün, optimallaşma parametri  $z=3,6$  alınır. Təcrübi hesabatlarda isə,  $z=4$  -4,5 qəbul edilir.



(3.1.68) tənliyindən göründüyü kimi  $z$ ,  $E_{max}$  və  $E_a$  parametrlərinin sabit qiymətlərində izolyasiyanın həcmi tətbiq edilən gərginliyin kubu ilə mütənasıbdır. Bununla da bir çox elektromexaniki konstruksiyalar və qurğularda olduğu kimi, izolyasiyanın həcmının də gərginliyin kubundan asılı olduğu subut edilir. Elektrik sahəsinin tənzimlənməsi ilə əlaqəli olan bu məsələ, izolyasiyanın layihələndirilməsində bir optimallaşma kriteriyası kimi də tətbiq edilir.

### 4.3.1. Yüksək gərginlikli girmələrin əsas və kritik hesabat parametrləri

110 kV və yüksək gərginlikli keçid izolyatorları girim adlandırılır. Hazırda mövcud aparatların bir çoxu (o cümlədən yağ açarları və transformatorlar) 20 -25 il əvvəllər qoyulmuş belə girmələrlə işləyirlər. Onların sıradan çıxma ehtimalları və zədələnmiş sayı getdikcə artır. Girmələr bahalı və vacib əhəmiyyət daşıyan izolyatorlardır. Onları sıradan çıxmamışdan əvvəl müayinə və təmir etmək lazımdır. Çünki işləyən transformatorda girimin işdən imtina etməsi və ya partlaması daha böyük xərclərə və texniki problemlərə səbəb olur. Çünki girmələ bərabər transformatorların da əsaslı təmirə çıxarılması lazım gəlir. Ona görə yüksək gərginlik girmələrinin hesabatları, konstruksiya hissələri və izolyasiya elementlərinin analizi vacib məsələlərdəndir.

Kondesator tipli izolyasiyası olan yüksək gərginlikli girmələrin daxili izolyasiyasında, kağız-bakelit, yağ-kağız və yağ-baryer tipli kombinə edilmiş izolyasiya konstruksiyaları işlədilir. Girmələr layihələndirilərkən onların kritik hədlərə yaxın olan, elektrik, istilik və mexaniki hesabat parametrləri istifadə edilir. Bunun məqsədi, həmin göstəricilərə aid kifayət qədər izolyasiya ehtiyatı almaq və etibarlılığa nail olmaqdır.

Girmələrin istilik hesabatları, cərəyan ötürən çubuqda ayrılan istilik şərtinə görə, cərəyanın sıxlığına əsasən təyin edilir:

$$r_c = \sqrt{\frac{I_{nom}}{\pi \cdot J}} \quad (4.3.1)$$

Daxili izolyasiyada elektrik sahə gərginliklərinin tənzimlənməsi və bu zaman ESG-nin aksial təşkilədiciyənin sabitliyi şərtinə əsasən elektrik hesabatları aşağıdakı düsturlarla aparılır:

- Kondensator köynəklərinin ölçüləri arasındakı ifadə üçün (3.1.61)-dən:

$$\frac{l_i^2 - l_f^2}{l_{cub}^2 - l_f^2} = \frac{\ln \frac{r_f}{r_i}}{\ln \frac{r_f}{r_{cub}}} \quad (4.3.2)$$

(4.3.2) formulunda  $l_f$ ,  $l_{cub}$ —uyğun olaraq flanes və çubuğun uzunluqları,  $l_i$ ,  $r_i$ ,  $r_{cub}$  və  $r_f$  isə, uyğun olaraq kondensator köynəklərinin uzunluqları, radiusları və çubuqla, flanesin radiuslarıdır.

Kondensator köynəkləri ilə aksial sahənin tənzimlənməsi nəticəsində  $r_{cub}$  ətrafında buraxıla bilən elektrik sahə gərginliyi aşağıdakı maksimal qiyməti kimi hesablanır (3.1.65):

$$E_{r_{\max}} = \frac{U_0}{2r_{cub}} \cdot \frac{1+z}{z \ln z} \quad (4.3.3)$$

Həmin ESG - ə görə hesablanan cərəyan keçirən çubuğun radiusu,

$$r_{cub} = \frac{U_0}{2 \cdot E_{r_{\max}}} \cdot \frac{1+z}{z \cdot \ln z} \quad (4.3.4)$$

və  $z = \frac{r_f}{r_{cub}} = \frac{l_{cub}}{l_f}$  olub, optimallaşdırma parametri adlanır.

Elektrik hesabatlarda həmçinin daxili və xarici izolyasiyada taclanma, sınaq, işçi gərginlik və elektrik sahə gərginliklərinə aid məsələlər həll edilir. Bu məqsədlə onların izolyasiyada paylanma şərtləri və izolyasiyanın qalınlıqlarına düşən ESG-nin buraxıla bilən qiymətləri aşağıdakı üsullarla, kritik taclanma gərginliklərinə əsasən təyin edilir:

*Kağız-bakelit izolyasiyasında* taclanma gərginliyinin hesabı aşağıdakı kimi aparılır:

$$U_{tac} = k_{tac} \sqrt{\Delta_{iz}} \quad (4.3.5)$$

burada  $K_{tac}$ - taclanma əmsalı olub, izolyasiyanın iş şəraiti və kondensator köynəklərinin növündən asılıdır. Bütöv vərəqə və dəşikli pərdə şəklində olan kondensator köynəklərində taclanma aşağıdakı 3 hala uyğun hesablanır:

- havada işləyən kağız-bakelit izolyasiyasında: -  $K_{tac} = 5,1 \text{ kV/sm}^{0,5}$ ;
- havada işləyən yarımkəçirici köynəklər üçün: -  $K_{tac} = 7,0 \text{ kV/sm}^{0,5}$ ;
- keçirici və yarımkəçirici köynəklər üçün yağda: -  $K_{tac} = 16,5 \text{ kV/sm}^{0,5}$  qəbul edilir.

Hazırlanmasının nisbətən sadəliyi, yağ doldurulmuş aparatların içərisində işləyən hissəsinin uzunluğunun az olması, kağız bakelit

izolyasiyalı girmələrin geniş tətbiqinə səbəb olmuşdur. Xüsusi ilə 110 kV-a qədər olan gərginliklər üçün bu girmələr daha çox işlədilir.

1, 2 və 5- ci kateqoriyalı izolyatorlar xaricli farfor çarxlara və hermetik izolyasiyaya malik olmalıdır. Çünki kağız-bakelit izolyasiyası yüksək hiqroskopikliyə malikdir. 3 və 4-cü kateqoriyalı izolyatorlarda isə üst farfor çarxlarda olmur. Bu həmin izolyatorların ölçü və maya dəyərlərinin də azalmasına səbəb olur.

(4.1.35)-də göstərilən kimi, silindrik yağ-kağız izolyasiyalı girmələrdə sürüşən boşalma üçün kritik gərginliyin qiyməti aşağıdakı formula ilə hesablanır:

$$U_{\text{cypōa}} = 740 \sqrt{\frac{r_2}{\epsilon_n} \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (4.3.6)$$

Qalınlığı  $\Delta$  olan yağ—kağız izolyasiyasında dayanaqsız tac boşalma gərginliyinin qiyməti aşağıdakı kimi hesablanır:

$$U_{\text{day-sıztac}} = 182 \cdot \Delta^{0,42} \quad (4.3.7)$$

Dayanaqsız tac boşalmanın yaranma gərginliyi böyük sıçrayışa malikdir. Ona görə işçi gərginliklərdə tac boşalmasının baş verməməsi üçün, bütün qatlarda  $\Delta U_i \text{ işçi} < U_{\text{day-sıztac}}/3$  şərti ödənilməlidir.

Əlavə köynəklər yerləşdirməklə, işçi gərginliklərdə ola bilən dayanaqsız tac boşalmalarının qarşısını alırlar. Əlavə köynəklər kondensator tipli yağ-kağız izolyasiyasının çıxıntı təşkil edən uclarında qoyulur və iki əsas köynək arasında olan izolyasiya qalınlığını eyni parçalara bölür. Ona görə, əlavə köynəklər arasındakı gərginlik düşküləri də bərabər olub, iki əsas köynək arasında olan gərginliyin əlavə köynəklərin sayına nisbəti kimi hesablanır.

Yağ-baryer izolyasiyalı girmələrdə taclanma, işçi və sınaq gərginliklərinə görə alınan elektrik sahə gərginliklərinin qiymətləri radiusdan asılı olaraq cədvəl şəklində hesablanır.

Hesablanmış qiymətlərdən ən böyüyünü ikinci yağ kanalının orta hissəsindəki elektrik sahə gərginliyi ilə müqayisə edilir. Çünki içlikdən sonra yerləşmiş ikinci yağ kanalı, girimdaxili izolyasiyanın gərginliyi ən böyük olan hissəsidir (4.3.8). Müqayisə nəticəsində 2-ci yağ kanalının orta hissəsində elektrik sahə gərginliyi qatlarda alınmış gərginliklərdən böyük alınsa izolyasiya konstruksiyasının başqa ölçüləri hesablanır.

$$E_{2,yagk} = \frac{1,49}{(R_{22} \ln \frac{R_{23}}{R_{22}})^{0,31}} \quad (4.3.8)$$

Çox hallarda 1 yağ kanalının orta hissəsində elektrik sahə gərginliyi  $E_{2,yag}$  qiymətindən böyük alınır. Ona görə 1 kanal daha çox yüklənmiş olur. Lakin digər yerlərdə və hallarda bu qiymətlər  $E_{2,yag}$ -dan kiçik olmalıdır.

#### 4.3.2. Kağız bakelit və yağ kağız izolyasiyalı girimlərin elektrik və konstruktiv hesabları

Keçid izolyatoru farfor gövdədən ibarətdir. Gövdənin daxilində silindrik boşluq vardır. Boşluğun mərkəzinə alüminium və ya misdən hazırlanmış cərəyan keçirən çubuq yerləşdirilir. İzolyatorun montajı üçün onun xaricində flanes armatur bərkidilir. Flanes SÇ12-28 markalı çuqundan hazırlanır və qum - sement birləşdirici vasitəsi ilə farfor gövdəyə bərkidilir. Burulğan cərəyan itkilərini azaltmaq üçün, flaneslə yanaşı digər armaturlar da SÇ tərkibli qeyri-maqnit (polad-çuqun tərkibli) materialdan hazırlanırlar.

Kağız – bakelit izolyasiyasının böyük dielektrik itkilərinə ( $tg\delta = 0,015 - 0,03$ ) malik olması səbəbindən, 35 kV və daha yüksək gərginliklərdə izolyasiyada istilik tarazlığı pozulur.

Hazırda bu tip izolyatorların farfor silindr epoksid kompaundu və digər materiallardan ibarət konstruksiyaları işlənməkdədir.  $tg\delta$ -sı kiçik olan materialların tətbiqi, işçi gərginliyin yuxarı həddinin daha da artırılmasına imkan verir. Bundan başqa, daha çox nəmliyə davamlılığı olan materialların tətbiqi, farfor çarxların ixtisarına səbəb ola bilər. Kondensator köynəkləri vastəsi ilə elektrik sahəsinin aksial təşkilədicisinin tənzimlənməsi prinsipi ( $E_a = const$ ) kağız-bakelit izolyasiyalı girimlərin hesabında istifadə edilir. Hesabat gərginliyi kimi,  $U_0 = 1,1 \cdot U_{qur\ boş}$  qəbul edilir. Hesabatı başlamazdan əvvəl  $z$ -in  $E_{rbb}$  və köynəklər arası izolyasiyanın qalınlığının -  $\Delta_{or}$  qiymətini seçirlər.  $Z$  - in qiyməti 3,6-4,5 arasında seçilə bilər. Hesabat gərginliyində buraxıla bilən elektrik sahə gərginliyi -  $E_{rbb} = 10 - 13 MV / m$  qiymətləri həddində götürülür. Köynəklər arasında izolyasiyanın orta qalınlığı 2-3 mm qəbul edilir. Beləliklə, (4.3.4) formulundan maksimal ESG-yi  $E_{max} = E_{rbb}$  - buraxıla bilən ESG - nə bərabər götürərək çubuğun radiusunu hesablamaq olar.

$$r_{cub} = \frac{u_o \cdot \left( \frac{1}{z} + z \right)}{2E_{rbb} z \ln z} \quad (4.3.9)$$

Çubuğun radiusu üçün cərəyanın sıxlığına görə (4.3.1) və elektrik sahə gərginliyinin buraxıla bilən qiymətinə görə (4.3.3) formullarından tapılmış ən böyük qiyməti götürülür. Əgər çubuğun (4.3.1)-dən alınmış radiusu (4.3.4) formulundan alınmış qiymətdən böyük olarsa,  $z$ -in bir qədər azaldılması məqsədə uyğundur. Bu zaman (4.3.9) formulundan alınmış radius artmış olar. Lazımi nəticə alındıqdan sonra izolyator elementlərinin uzununa ölçülərini hesablayırlar. Flanes yaxınlığındakı kondensator köynəklərinin uzunluğu fərfor çarxın ekranlaşdırma şərti və seçilmiş  $z$  parametriinə görə hesablanır. Cərəyan keçirən çubuğun ekranlaşma şərtinə görə, çubuğa yaxın olan birinci köynəyin uzunluğu üçün aşağıdakı formulunu yazmaq olar:

$$l_{cub} = l_f + l_h + l_{yag} - 0,15(l_h + l_{yag}) \quad (4.3.10)$$

İzolyatorun orta flanesinin ekranlaşdırma şərtinə görə, flanes yaxınlığında olan sonuncu köynəyin uzunluğu üçün, aşağıdakı formulunu yazmaq olar:

$$l_{f_1} = l_f + 0,1 \cdot (l_h + l_{yag}) \quad (4.3.11)$$

burada  $l_f$  və  $z$ -ə görə  $l_{cub}$ -u hesablayırlar: -  $l_{cub} = z \cdot l_f$ . Köynəklər arasında olan izolyasiya qatlarının sayı aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$n = \frac{r_f - r_{cub}}{\Delta_{or}} \quad (4.3.12)$$

Kağız-bakelit izolyasiyalı, 35 – 150 kV – lu nominal gərginliklər üçün,  $\Delta_{op}$  üçün 2-3 mm –lik qiymətləri seçildikdə, qatların ümumi sayı 20-40 arası uyğun həddlərdə olur.

Aksial sahə gərginliyi sabit olduqda kondensator köynəklərinin çıxıntılarının da sabit olması lazım gəlir:

$$l_{cix} = \frac{l_{cub} - l_f}{n} \quad (4.3.13)$$

Çıxıntıların uzunluqlarını bilərək ixtiyari kondensator köynəyinin də uzunluğunu aşağıdakı kimi hesablamaq olar:

$$l_i = l_f + (i - 1) \cdot l_{cix} \quad (4.3.14)$$

Kondensator köynəklərinin hesablanmış uzunluqlarına görə (4.3.14)-dən  $x = l_i$  və (4.3.2) formulasından,  $r = r_i$  radiusları təyin edilir:

$$r_i = r_f \cdot \exp\left(\frac{a/b}{l_i^2 - l_f^2}\right) \quad (4.3.15)$$

burada sabit əmsallar  $a=l_{iç}^2-l_f^2$  və  $b=lnz$  kimi təyin edilir.

Beləliklə radial və uzunluq ölçüləri hesablanır. Sonra izolyatorun bütün qatlarında elektrik sahə gərginlikləri yoxlanılır. Hesabatları aparmaq üçün, bütün kondensator köynəkləri üçün ara tutumlar da təyin edilməlidir:

$$C_i = \frac{2\pi\epsilon_i \cdot \ell_i}{\ln \frac{r_i}{r_{i+1}}} \quad (4.3.16)$$

Hesabat gərginlikləri halında hər bir izolyasiya qatındakı gərginlik düşgüsü aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\Delta U_i = U_o \left( \frac{\ln \frac{r_i}{r_{i+1}}}{l_i} \right) \cdot \frac{1}{\sum \frac{\ln r_i / r_{i+1}}{l_i}} \quad (4.3.17)$$

Uyğun olaraq, işçi gərginliklər üçün yazmaq olar:

$$\Delta U_{iis} = U_{is} \left( \frac{\ln \frac{r_i}{r_{i+1}}}{l_i} \right) \cdot \frac{1}{\sum \frac{\ln r_i / r_{i+1}}{l_i}} \quad (4.3.18)$$

İşçi gərginliyin hesabatında, şəbəkədə mümkün olan gərginlik artımlarının nəzərə alınması lazım gəlir:

$$U_{is} = 1,1 \cdot U_{nom} / \sqrt{3} \quad (4.3.19)$$

Aksial sahə gərginliyi üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$E_{ai} = \Delta U_i / l_{cix} \quad (4.3.20)$$

Radial elektrik sahəsi isə, qatlardakı hesabat gərginliyinə görə aşağıdakı formula ilə təyin edilir:

$$E_{ri} = \frac{\Delta U_i}{r_{i+1} \ln \frac{r_i}{r_{i+1}}} \quad (4.3.21)$$

Yağ-kağız izolyasiyalı girimlərin qatlar arası gərginlik düşgünlərinin hesablarında istifadə edilən (4.3.17- 4.3.21) ifadələri kağız-bakelit izolyasiyasına da eyni qaydada tətbiq edirlər. Lakin, yağ-kağız izolyasiyalı girimlərdə kondensator köynəkləri arasında izolyasiya qatının qalınlığı iki dəfə artırılaraq 4-6 mm-ə çatdırılır. Bu yağ-kağız izolyasiyalı girimlərin qurutma və hopdurma texnologiyasını asanlaşdırır, etibarlılığını artırır. Yağ-kağız izolyasiyasında buraxıla bilən elektrik sahə gərginliyi, 9 kV/mm qiymətində götürülür.

Lakin, qalınlığın artırılması ilə istilik ötürmə xassəsi, köynəklər arası taclanma və kənar effekti kimi proseslərin zərərli təsirləri artır. Yağ-kağız izolyasiyalı girimlərdə kondensator köynəklərinin sayı da, nominal gərginliklərə görə əvvəlcədən seçilir: - 110 kV üçün 20 kondensator köynəyi, 220 kV üçün 10 əsas 30 əlavə köynək, 330 kV üçün 20 əsas 40 əlavə köynək, 500 kV üçün isə, 30 əsas 60 əlavə köynəklər təsis edilir. Seçilmiş əsas köynəklərin sayına görə (4.3.12) formulasından,  $\Delta_{iz}$  hesablanır. Kağız bakelit konstruksiyadan fərqli olaraq (4.3.15), kondensator köynəklərinin radiusları daha sadə ifadə ilə hesablanır:

$$r_i = r_f \Delta_{iz}^i \quad (4.3.22)$$

Yoxlama hesabları cədvəl 4.3.1.-də verilmiş formada tərtib edilir:

*Cədvəl*

#### 4.3.1

$i$	$r_i$	$l_i$	$\ln \frac{r_i}{r_{i+1}}$	$\ln \frac{r_i}{r_{i+1}} / l_i$	$\sum_1^n \ln \frac{r_i}{r_{i+1}} / l_i$	$\Delta U_{ai}$ MV	$\Delta U_{ri}$ MV	$E_{ai}$ MV/M	$E_{ri}$ MV/ m	$U_{tac}$ i MV	$C_i$ m F
0	R 0	L <sub>0</sub>									
1	R 1	L <sub>1</sub>									
..	..	..									

Cədvəl 4.3.1-dən göründüyü kimi, hesablar flanes yaxınlığındakı köynəkdən başlamalıdır. Bu hissədə yağ-kağız izolyasiyasının ən böyük radiusu və ən qısa bərabərləşdirici kondensator köynəyi yerləşir. Onların ilk

qiymətləri -  $r_f = z \cdot r_0$  və  $l_0 = l_f z$ , kimi elektrik sahəsinin bərabərləşmə şərtindən təyin edilir. Sonrakı qiymətlər isə (4.3.14) və (4.3.15) ifadələri ilə hesablanır.

Keçid izolyatorunun çıxıntı uzunluqları havada və yağda olan hissələrin çıxıntılarının cəmi kimi hesablanır:

$$l_{cix} = l_{cixh} + l_{cixyağ} \quad (4.3.23)$$

İki qonşu köynək arasındakı gərginlik düşgüsü isə, aşağıdakı qaydada təyin edilir:

$$E_a \cdot l_{cix} = E_{ahava} \cdot l_{cixhava} + E_{ayağ} \cdot l_{cixyağ} \quad (4.3.24)$$

burada  $l_{cixhava}$  və  $l_{cixyağ}$  – izolyatorun hava və yağda işləyən qisimlərinin çıxıntı uzunluqları;  $E_{ahava}$  və  $E_{ayağ}$  uyğun olaraq həmin hissələrdə aksial sahə gərginlikləridir. Hava sonluğunun buraxıla bilən aksial sahə gərginliyi-  $E_{ahava} = 0,4 \div 0,5$  MV/m, yağda isə,  $E_{ayağ} = 0,8 \div 0,9$  MV/m olur. Aksial sahə gərginliklərinin qiymətlərini (4.3.23) və (4.3.24) ifadələrində nəzərə alıqda, çevirmələr apararaq yağ və hava üçün çıxıntı uzunluqları və ESG təuin edilir:

$$l_{cixyağ} = \frac{l_{cix}}{1 + \frac{E_{ayağ}}{E_{ahava}}} \quad (4.3.25)$$

$$\frac{1}{E_a} = \frac{1}{E_{ahava}} + \frac{1}{E_{ayağ}} \quad (4.3.26)$$

$E_{ayağ} = 2 \cdot E_{ahava}$  olduğunu qəbul edərək, yağda və havadakı çıxıntı uzunluqları, ümumi şəkildə aşağıdakı kimi yazırlar:

$$l_{cixyağ} = \frac{1}{3} \cdot l_{cix}; \quad l_{cixhava} = \frac{2}{3} \cdot l_{cix} \quad (4.3.27)$$

Soyutmanı artırmaq üçün, yağ-kağız izolyasiyalı girimlərdə birinci kondensator köynəyi ilə cərəyan keçirən içlik arasında və axırncı flanesə yaxın olan köynəkdən əvvəl, bakelit silindrlər qoyularaq, yağ sirkulyasiyası üçün kanal aralıqları buraxılır. Buraxılan yağ aralığının yüksək gərginlik təsirinə məruz qalması üçün, onun qarşı divarlarında olan kondensator köynəklərini öz aralarında elektriki birləşdirirlər.

Soyutma yağ aralıqları olan konstruksiyalarda izolyasiyanın hesablanması üçün, keçirici içliyin radiusunu cərəyanın sıxlığına görə təyin edirlər. Bu zaman içliklə elektriki birləşdirilmiş kondensator köynəyinin radiusunu aşağıdakı ifadə ilə təyin edirlər:



$$r_{1k} = r_b + \Delta_{yag} + \Delta_{bsil} \quad (4.3.28)$$

burada  $r_b$  –cərəyan keçirici içliyin radiusu,  $\Delta_{yag}$  və  $\Delta_{bsil}$  uyğun olaraq yağ qatı və bakelit silindrin qalınlıqlarıdır.

#### 4.3.3. Yağ -baryer izolyasiyalı girmələrin elektrik hesabları

Elektrik və istilik xəssələrinin artırılması usullarından biri, daxili izolyasiyada dielektrik baryerlərin tətbiqidir. Yüksək gərginlikli keçid izolyatorlarında da, onlar bu məqsədlə istifadə edilir. Bu izolyatorlarda konsentrik yerləşdirilmiş bakelit silindrlər vasitəsi ilə aralıqlar, baryerlərlə yağ qatlarına bölünür. Bakelit silindrlərin üzərinə kağız sarğı sarılır və 7-10 mm qalınlıqda mis və ya Al folqa çəkilir. Folqa elektrik sahə gərginliyinin aksial və radial təşkeildicilərini tənzimləyir. Çox yüksək gərginliklərdə uclara yaxın yerdə elektrik sahəsini tənzimləmək üçün sarğı və üzərinə çəkilmiş Al folqa müəyyən  $r$  radiusu ilə çəmbərlənmiş şəkildə geri tərəfə qatlanır.

Yağ baryer izolyasiyasının hesablanması bütün yağ kanallarında gərginlik düşgünlərinin bərabərliyi şərtinə görə aparılır. Kanal dedikdə isə, təkcə yağ qatı deyil, iki kondensator köynəyi arasındakı bütün izolyasiya qatları nəzərdə tutulur. Buraya aşağıdakı tərkiblər aiddir:- 1) cərəyan keçirici içlik və hər sonrakı aralıqda kondensator köynəkləri üzərinə qalınlığı 3-10 mm olan kabel kağızı sarılır, 2) qalınlığı 40-100 mm olan yağ aralığı buraxılır, 3) qalınlığı 5-20 mm olan bakelit silindr qoyulur, 4) qalınlığı 3-5 mm olan ikinci kağız sarğı bakelit silindr üzərinə sarılır. Beləliklə hər bir kanal kağız sarğı ilə başlayır və kağız sarğı ilə də tamamlanır. Kağız sarğılar üzərinə folqa çəkilir şəkl.4.3.1

Kanallar sayı 1-8 arasında olub, gərginlik sinfinə görə seçilir. 35 kV üçün 1-2; 110 kV üçün 2-3; 220 və 330 kV üçün 4-5; 500 kV üçün isə, 6-8 kanal seçilə bilər.

Yağ qatının qalınlığını azaldıqca elektrik möhkəmliyi artır. Lakin bu halda yağın sirkulyasiya sürəti azalır və izolyasiyanın yerli qızma prosesi başlayır. Nəticədə yağ parçalanır və onun elektrik xəssələri yenə də pisləşir. Ona görə intensiv istilik ayrılması hallarında yağ kanallarının qalınlığını artıraraq, onların sayını azaltmaq tövsiyə olunur.

Gərginlik paylanması hesabı üçün kanalların və hər bir kanal elementlərinin tutum hesabları aparılır. Elektrik tutumları  $j$  kanal və  $i$  element üçün aşağıdakı kimi hesablanır:

$$C_{ji} = \frac{2\pi\varepsilon_{ni}\varepsilon_0}{\ell n \frac{r_{ji+1}}{r_{ji}}} \quad (4.3.29)$$

Bu izolyatorların elektrik və konstruksiya hesabları (4.3.17 - 4.3.18) formulaları ilə aparılır. Hesabatlar izolyatorun bütün kanallarında gərginlik düşüklərinin sabit olması,  $C_k \cdot l_k = const$  şərti ilə yerinə yetirilir. Bu şərtin ödənilməsi isə,  $U_k = 1,1 U_{sm}/n$  olması deməkdir. Ona görə, (4.3.17 - 4.3.18) formulalarında tətbiq edilən işçi və ya sınaq gərginliyinin yerinə kanalda düşən gərginlik istifadə edilir.

(4.3.8) formulası ilə birinci kanalın ikinci elementində buraxıla bilən elektrik sahə gərginliyi hesablanır. Həmin nəticə, ümumi qaydada (4.3.21) formulası ilə hesablanmış  $E_{12}$  maksimal ESG ilə müqayisə edilir. Əgər,  $E_{12} \leq E_{2bb}$  olarsa, izolyatorun uzunluq ölçülərinin təyin edilməsinə keçirlər. Bəzən I kanal elektrik gərginliyi ilə çox yükləndiyindən orada bu bərabərsizlik ödənmir. Qalan kanallarda ödənersə, yenə izolyatorun uzunluq ölçüləri təyin edilə bilər. Bunun üçün aşağıdakı ifadə istifadə edilir:

$$\ell_1 = \frac{0.75 \left( l_h + l_{yag} \right) C_n}{C_n - C_1} \quad (4.3.30)$$

buradan ,  $\ell_n = \ell_1 \cdot C_1 / C_n$  kimi təyin edilir,  $C_1$  və  $C_n$  uyğun olaraq birinci və sonuncu kanalın elektrik tutumlarıdır.

$l_1$  və  $l_n$  uzunluqlarını təyin etdikdən sonra, (4.3.10) və (4.3.11) ifadələrindən orta flanesin-  $l_f$  uzunluğunu hesablamaq olar. Orta flanes özündə iki, aşağı və yuxarı farfor çarxlara keçən ucları, orta silindr və kipləşdirici araqatılarn uzunluqlarını birləşdirirlər. Ona görə, bu hissələri əhatə edən -  $l_f$  çox kiçik ölçüdə ola bilməz. Adətən,  $l_f \geq 0,3 m$  ölçüsündə olur. Əgər,  $l_f < 0,3 m$  olarsa, kanalların sayını və ölçüsünü dəyişərək hesabları yenidən təkrar aparırlar.

Girimlərin xarici farfor səthi boyu boşalma gərginliyinin 30-40 sm – ə qədər hündürlükdə xətti dəyişdiyi, 45 sm –dən sonra isə uzunluqdan asılı olaraq zəif artımlara keçdiyi ədəbiyyatlardan məlumdur [53]. Ona görə keçid izolyatorlarının farfor gövdəsinin hündürlüyü hesablandıqda, daxili izolyasiyada aksial və radial ESG – nin kritik qiymətləri ilə əlaqədar olan tələbatlarla yanaşı § 2.2.4 və 2.2.5 –də verilmiş hesablar da nəzərə alınmalıdır. Silindrik səth üzərinə verilmiş ətəklər keçid izolyatorlarının səthi boşalma gərginliklərini dayaq izolyatorlarının boşalma gərginliklərinə yaxınlaşdırır. Lakin çox uzun keçid izolyatorlarında sürüşən boşalmaların

təsiri güclənir. Nəticədə onların səthi boşalma gərginlikləri dayaq izolyatorlarının boşalma gərginliklərinə nisbətən azalır.

Sabit gərginliklərdə izolyatorların boşalma gərginlikləri, dəyişən gərginliyin maksimal qiymətində olan boşalmadan fərqlənir. Bu həm keçid, həm də dayaq izolyatorları üçün doğrudur. Çünki sabit gərginlikdə sürüşən boşalmalar inkişaf edə bilmir. Bunun səbəbi isə, sabit gərginlikdə  $dU/dt=0$  olması və tutum cərəyanının sıfır olmasıdır (2.2.14). Ona görə sabit gərginlikdəki boşalmalarda ətlərin də rolu az olur (yalnız sızma yolunun boyunun artması kimi rolu qalır). Lakin sabit gərginliklərdə işlədilən izolyatorlarda ətlər, yağmur boşalma gərginlikləri halı üçün effekt verir.

Yüksək tezlikli gərginliklərdə (kommutasiya ifrat gərginliklərində) səthi boşalma gərginlikləri nisbətən artır. Aparılan təcrübələr göstərir ki, bu artım 10-15% arasındadır.

#### **4.3.4 Keçid izolyatorlarının sınaqları və profilaktikası**

Deyildiyi kimi, keçid (dayaq) izolyatorları və yüksək gərginlik girimləri, bütövlükdə elektrik şəbəkələrinin etibarlılığını təmin edən aparatlardır. Ona görə profilaktik qaydada onların vəziyyətinə daima nəzarət edilməlidir (o cümlədən dayaq izolyatorlarına). Texniki baxış zamanı izolyatorun gövdəsində çatların olub olmaması, yağ sızması, kipləşdirici araqatların və metal armaturların ətrafında vəziyyətə nəzarət edilir. Yağ genişləndirici çənə və manometrə təzyiqin qiyməti yoxlanılır. Baxış zamanı vizual müayinələrdən sonra lazım gəlgikdə izolyatorla müqavimətin və  $tg\delta$ -nin ölçülməsi və analizləri həyata keçirilir. İzolyatorlarda səth çatları, deliklər, farfor gövdənin qəlpələnməsi, şir təbəqəsinin yanib əriməsi və izolyatorun bərkidici taxma armaturları, vintləri, içliyinin əyilmə və deformasiya olunması hallarında izolyatorlar çıxdaş edilir. DÜİST 13873-81E-yə əsasən farfor məmulatların vəziyyətinə nəzarət kriteriyaları verilir. Farfor gövdənin daxili və xarici divarlarında, bişirilmə zamanı oturacaq səthindən başqa yerində, çatlar, kələ-kötür səth, standartlarda verilmiş en, uzunluq və çökəklik ölçülərindən çox sahələri olan izolyatorlar çıxdaş edilir.

Meqanometrle izolyatorun müqavimətinin ölçülməsi zamanı bir neçə amillər nəzərə alınmalıdır: - izolyatorun səthi quru olmalı və keçirici çirk təbəqəsi olmamalıdır. Ona görə girimlərin izolyasiya müqaviməti yağışların sonra başlayan quru havada ölçülməlidir. Yağ-kağız izolyasiyalı girimlərin izolyasiya müqavimətləri bir neçə zonada ölçülür. Daxili izolyasiyada müqavimətin ölçü zonaları girimlərin izolyasiya konstruksiyası və onların şin sistemine görə (aparatın üzərində və ya kənarında) yerləşməsindən asılı olaraq seçilir. Təzə quraşdırılmış keçid izolyatorları üçün cərəyan keçirici içliyə yaxın olan qatda minimal izolyasiya müqavimti 5000 Mom, sonrakı qatlarda

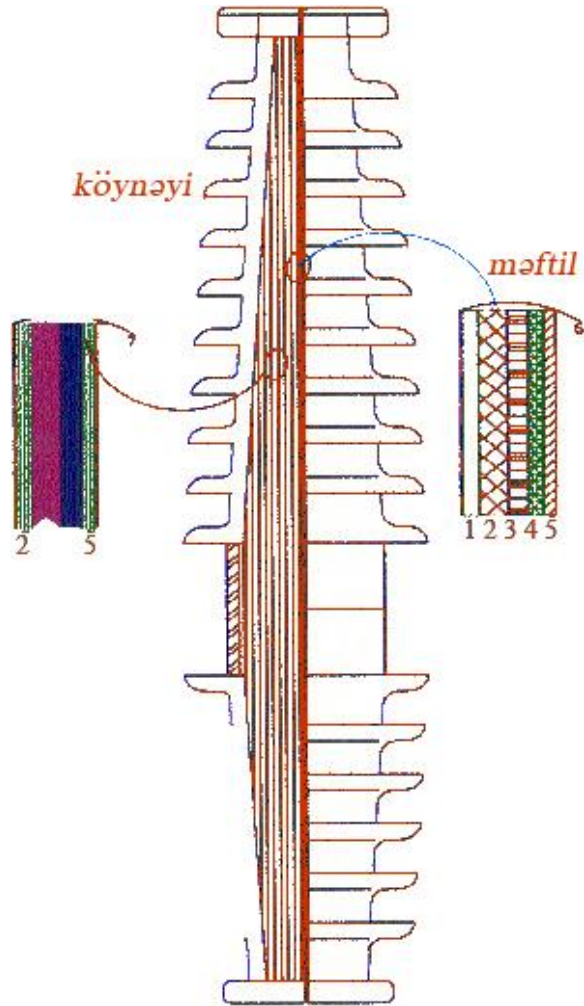
isə 1500-1000 Mom olmalıdır. İstismrda olan izolyatorlarda isə 500 Mom olur.

$tg\delta$ -nın ölçülməsində istifadə edilən 10 kV –luq körpü sxemləri, bəzən keçid izolyatorlarında izolyasiya içliyinə təsir edən gərginliyə nisbətən az olduğundan real prosesləri dəqiq əks etdirmir. Yağlı girmələrin izolyasiyasının  $tg\delta$  ölçüləri göstərir ki, elektrik sahə gərginliyinin təsiri artarsa, ölçmələr çevrilmiş körpü sxemi ilə aparılmalıdır.

Ölçmələrin dəqiqliyinə təsir edən başqa amilləri də aradan qaldırmaq lazımdır. Məsələn, ölçü zamanı bütün kənar elementlərdən olan məsafə 1 m-dən az olmamalıdır. Nəticələrin qarşılaşdırılmasında  $tg\delta$ -nın hansı temperaturda ölçüldüyü nəzərə alınmalıdır.  $20^{\circ}\text{C}$  –də alınmış nəticə üçün əmsal 1 qəbul edilir. Temperaturun  $100^{\circ}\text{C}$  artması ilə, ölçülən qiymətə düzəliş əmsalı 0,67 – dəfəyə qədər azaldılır və əksinə,  $5^{\circ}\text{C}$  düşməsi ilə əmsal 1,5-ə qədər artırılır: -  $tg\delta_e = tg\delta_{20}/k$  . Temperatur əmsalına görə  $tg\delta$  hesablanmasında izolyasiyanın nəmlənmə dərəcəsi, quruluş tərz, hazırlanma texnologiyası və s. kimi amillər nəzərə alınmalıdır. Nəticələrin müqayisəsi yalnız uyğun ölçü sxemləri üzrə təyin olunmuş qiymətlər arasında aparılır. 35 kV–luq keçid izolyatorlarının  $tg\delta$  ölçüləri izolyasiya əsasının nəmləndiyini göstərir. Onlarda kompaund tərkiblərinin pozulma dərəcəsini isə əks etdirmir.

Atom reaktorları üçün xüsusi şərtlərə və tələbatlara görə hazırlanan keçid izolyatorları tətbiq edilir. Çünki atom elektrik stansiyalarında radioaktiv parçalanma məhsulları olan  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  hissəciklərin və birinci zonadakı soyutma suyunun daşdığı radioaktivliyin ətrafa yayılmaması üçün xüsusi konstruksiyalı keçid izolyatorları lazım gəlir. Onun üçün, bu izolyatorlara olan tələbatlara görə də başqa layihə kriteriyaları seçilir.

Əvvəla bu izolyatorların xarici gövdəsinin izolyasiyasında qeyri üzvi şüşə material istifadə edilir. Şüşə materialın tərkibinə ağır metal oksidləri qatılaraq onların şua udma qabiliyyəti yüksəldilir. Atom reaktorlarından gərginlik və cərəyanın çıxarılması üçün keçid izolyatorlarında şüşənin izolyasiya kimi tətbiqinin ikinci səbəbi, onların istənilən mürəkkəb formalarda hazırlanma texnologiyasının asan olmasıdır. Çünki farfora istənilən formanı vermək o qədər də asan iş deyildir. Üstəlik farforun tərkibində çoxlu məsələlər və qaz fazası olur. Onlar nüvə reaksiyasında ayrılan  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  şualarını asanlıqla buraxdıqlarından bu hallar üçün ekoloji səbəbləri çox təhlükəlidir.



Şək.4.3.1. Yağ baryer izolyasiyalı keçid izolyatorlarının daxili izolyasiya konstruksiyası, hər kanal eyni ilə təkrarlanan 4 qat izolyasiya quruluşundan ibarətdir: 1-keçirici (cərəyan keçirici içlik və ya folqa), 2-kağız sarğı (3-5mm), 3-yağ kanalı (40-100mm), 4-bakelit silindr (12-20mm)

Şüalanmada düz xətt istiqamətində yayıldığından, keçid izolyatorlarına atom reaktorlarının beton divarları və şüauducu qılaf pərdələri arasında döngəli labirint forma verilir. İzolyatorların çıxışa gedən gövdəsi beton divarlar arasında Y şəkilində haçalandırılır. Aparılan bu layihə hesabları və konstruksiyə dəyişiklikləri atom elektrik stansiyalarının cərəyan girişlərini şüalanmaya qarşı ekoloji cəhətdən təhlükəsiz edir.

## Izolyatorlarda defektlərin təyin edilməsinin istilik amilləri

Defektlərin istilik xarakteri dielektrik itkiləri ilə bir başa asılılığa malikdir. Tərkibində defekt olan müstəvi formalı izolyasiya gövdəsində ölçülən  $tg\delta$ -nın ifadəsi aşağıdakı kimi yazılır:

$$tg\delta_{ol} = \frac{\varepsilon_n V_n tg\delta_n + \varepsilon_d V_d tg\delta_d}{\varepsilon_n V_n + \varepsilon_d V_d} \quad (1.3.15)$$

burada  $tg\delta_n$ ,  $tg\delta_d$ ,  $V_n$  və  $V_d$  – uyğun olaraq, izolyasiya elementlərinin normal və defektli hissələrinin itki əmsalları və həcmələri. Defektlər hesabına dielektrik nüfuzluluğunun dəyişməsi az olduğuna görə,  $\varepsilon_d = \varepsilon_n$  götürmək olar. Bu şərtə əsasən,  $tg\delta$  üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$tg\delta_{ol} = tg\delta_n \left[ 1 - \frac{V_d}{V} \left( 1 - \frac{tg\delta_d}{tg\delta_n} \right) \right] \quad (1.3.16)$$

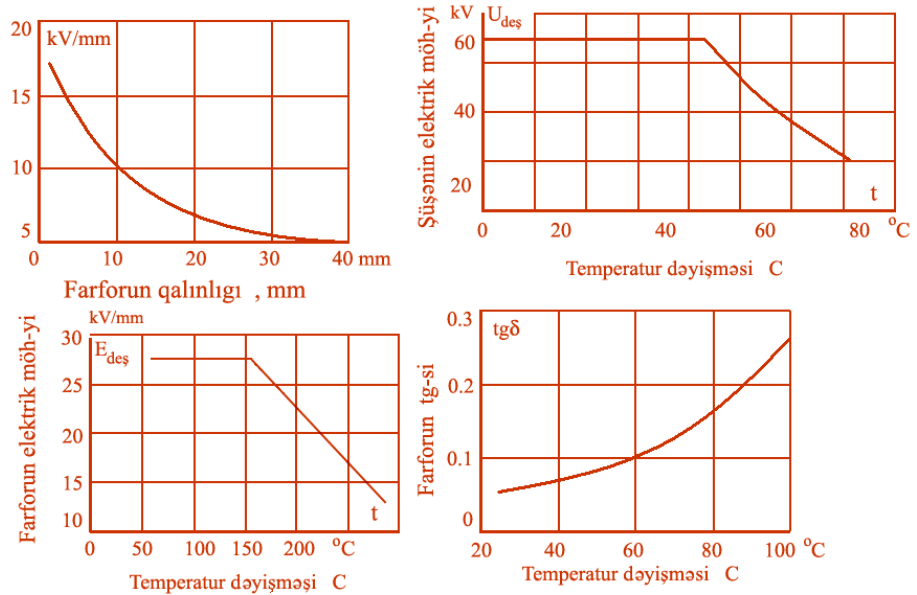
burada  $V$ - izolyasiya gövdəsinin bütöv həcmidir. Bu ifadələrdən görünür ki, defektli hissənin ölçüləri nə qədər kiçik olarsa, ölçülən  $tg\delta$  normaldan o qədər az fərqlənir və defekt nəzərə çarpmaz olur. Ona görə bu metod izolyasiya elementinin həcmi üzrə yayılmış defektlər üçün daha əlverişli sınaq usuludur. Normal keyfiyyətdə olan izolyasiyada,  $1,5U_{i\dot{s}}$  gərginlik hədlərinə qədər  $tg\delta$  praktiki olaraq sabit qalır.

Həqiqi dielektrik nüfuzluluğu  $\varepsilon'_n$ -nu, işçi temperaturlarda sabit götürürlər. Xüsusi keçiriciliyin ( $\gamma$ ) temperaturdan asılılığı, dielektrik itkiləri ( $tg\delta$ )-nın da temperatur asılılığına səbəb olur.  $tg\delta$ -nın temperatur asılılığına, əsasən keçiricilik təsir etdiyindən (1.3.14) ifadəsinə görə, aşağıdakı formula tətbiq edilir:

$$tg\delta = tg\delta_0 \exp \left[ \alpha (T - T_0) \right] \quad (1.3.18)$$

burada  $tg\delta_0$  -  $T = T_0$  temperaturunda dielektrik itki bucağının tangensidir.

Bəzən, istismar zamanı temperaturun dəyişən maksimal qiymətləri elə həddə çatır ki, izolyasiyanın işində ciddi problemlər meydana çıxır. Hər bir izolyasiya materialı üçün xarakterik istilik xassələri mövcuddur. Məsələn, Şəkil 1.3.5-də farfor və qeyri üzvi şüşədən hazırlanmış izolyasiya nümunələrinin əsas elektrik parametrlərinin temperaturdan və onların qalınlıqlarından asılılıq əyriləri verilmişdir.



Şəkil 1.3.5. Farfor və qeyri üzvi şüşədən izolyasiyanın əsas elektrik parametrlərinin temperaturdan və onların qalınlıqlarından asılılıq əyriləri

Əyriyərdən görüldüyü kimi, şüşə və farforun elektrik möhkəmliyi temperaturdan asılı olaraq kəskin azalır və 152<sup>0</sup> C - farforda, 55<sup>0</sup> C isə şüşə izolyatorlarda deşilmə təhlükəsi vardır.

Deyilənlərdən, artan temperaturun gərginlik törəməsi sıfıra bərabər olduqda izolyasiyada istilik deşilməsi baş verir:

$$\frac{dU}{dT_{\max}} = 0 \quad (1.3.19)$$

Sadə bir ölçülü müstəvi və silindrlər üçün: 
$$\frac{d^2T}{dz^2} = -\frac{Pd}{\lambda} \quad (1.3.20)$$

Müstəvi nümunələr üçün, sərhəd şərtləri aşağıda ifadə edilmişdir:

$$\lambda \frac{dT_{iz}}{dz} \Big|_{z=\frac{d}{2}} = \lambda_e \frac{dT_e}{dz} \Big|_{z=\frac{d}{2}} - \lambda \frac{dT_e}{dz} \Big|_{z=d_e+\frac{d}{2}} = k_t(T_2 - T_{dm}) \quad (1.3.21)$$

burada  $T_{iz}$ ,  $T_e$ ,  $T_{dm}$ ,  $T_2$ – uyğun olaraq, izolyasiya, elektrod, daxili və xarici mühitin temperaturlarıdır;  $\lambda$  və  $\lambda_e$  –izolyasiya və elektrodun istilik keçirmə əmsalları,  $k_t$ -elektrodun səthindən ətraf mühitə istilik ötürmə əmsalıdır.

(1.3.19) tənliyini həll etdikdə, deşilmə gərginliyi üçün aşağıdakı ifadəni almaq olar:

$$U_{des} = \sqrt{\frac{8\lambda}{\alpha_t \gamma_{e0}} \cdot e^{-\alpha_t (T_m - T_0)}} \cdot \varphi(c) \quad (1.3.22)$$

Burada  $\gamma_{e0} = \omega \epsilon_0 \epsilon_n \cdot tg \delta$ ,  $T_m$  və  $T_0$  isə, materialın və ətraf mühitin temperaturlarıdır.

$$\text{Müstəvi nümunələr üçün, } c = \frac{\lambda_e k_t \cdot d}{2\lambda (\lambda_e - k_t d)}$$

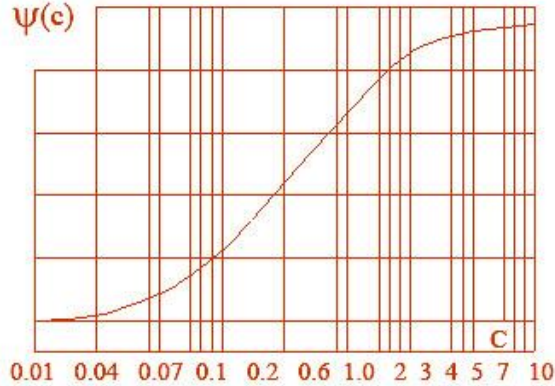
$$\text{silindrik nümunələr üçün isə, } c = \frac{\lambda_e}{\lambda} \cdot \frac{k_t r_1 \cdot \ln \frac{r_1}{r_0}}{\lambda_e + k_t \cdot r_2 \ln \frac{r_2}{r_1}} \text{ olur.}$$

Şək.1.3.6-da  $\varphi(c)$ - funksiyası üçün  $c$  parametrinin 0,01-10 intervalında dəyişən qiymətləri verilmişdir. Göründüyü kimi  $c$  parametrinin 0,1 – 2 qiymətləri arasında  $\varphi(c)$  xətti dəyişir [38].

Fiziki olaraq, istilik deşilməsi aşağıdakı kimi keçir. Dielektrikin qalınlığı üzrə temperatur düşgüsü meydana çıxır. Bu zaman, izolyasiyanın elektrodlara toxunan səthinə nisbətən, materialın orta hissələri daha çox qızır. Temperatur artan yerlərdə müqavimət çox azalır və burada elektrik sahəsi təhrif olunur. Bu isə materialın səthində gərginlik qradientini artırır və istilik deşilməsi yaradır. Burada elektrodun materialının istilik keçiriciliyi də rol oynayır. Deşilmə hesablanan qiymətlərdən daha aşağı gərginliklərdə baş verir.

110 kV və yüksək gərginliklərdə, işləyən izolyatorlar və izolyasiya konstruksiyalarında elektrik deşilməsi ilə yanaşı, istilik deşilmə mexanizmləri vacib yer tuturlar. Həmin gərginlik siniflərinə aid konstruksiyaların hesablatlarında istilik prosesləri nəzərə alınmalıdır.





Şək.1.3.6. İstilik deşilməsi hadisəsində  $\varphi(c)$  parametrinin hesablanma əyrisi

### 2.5.1. Qaz tərkibli izolyasiyalar

Yüksək gərginlikli konstruksiyalarda qaz izolyasiyasının tətbiqi bir çox üstünlüklərə malikdir. Onlardan konstruksiyanın yüngül olması, yanqına qarşı davamlı, açılan və qapanan kontaktlara göstərilən mexaniki təsir, müqavimət və sürtünmə qüvvələrinin az olması və s. kimi müsbət xüsusiyyətləri göstərmək olar. İzolyasiya qazlarından ən çox tətbiq edilənləri karbon iki oksid - CO, azot - N<sub>2</sub> və eleqazdır - SF<sub>6</sub>. Aşağıdakı cədvəl-2.5.1-də onların əsas fiziki parametrləri verilmişdir. Bu qazlardan ən çox istifadə ediləni eleqazdır. O, göstərilən qazlardan daha yüksək elektrik möhkəmliyinə malikdir. SF<sub>6</sub> qazı kükürd molekullarının 6 valentlik tələbatlarını tamamilə ödəyən bir quruluşa malikdir. Onun molekulyar quruluşu altıküncü və hər küncdə F molekulası olan bir birləşmə təşkil edir. Birləşmədə F-un 6 istiqamətdə kovalent rabitəsi olduğundan bu birləşmə müstəsna stabilliyə malikdir. SF<sub>6</sub> alışmayan bir qazdır. H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub> qazları SF<sub>6</sub>-ya heç bir təsir göstərmir.

İstilik tutumunun az olması səbəbilə daha yaxşı istilik ötürmə və yüksək qövs söndürmə xassəsinə malikdir.

Eleqaz – kükürd altıflor, bu qaz şəkilli maddə ilk dəfə elektroliz yolu ilə 1900-cu ildə Paris şəhəri «Fakulte de Pharmacie» laboratoriyalarında alınmışdır. Onların alınma sxemi sadə elektrolitik prinsipə əsaslanır şək.2.5.1.

Cədvəl 2.5.1

Qazların elektrik-fiziki parametrləri	Azot N <sub>2</sub>	Karbon iki oksid CO	Eleqaz SF <sub>6</sub>
<i>Molekulyar kütləsi</i> <i>0°C və 0,1013 MPa</i>	28,013	44,011	146,95

<i>təzyiqdə qazın sıxlığı, kq/m<sup>3</sup></i>	1,250	1,980	6,390
<i>0,1MPa təzyiqdə qaynama temperaturu, K</i>	77,4	194,7	318,7
<i>0,1 MPa təzyiqdə və 273 K temperaturda qazın istilik tutumu, kC/(kq·K)</i>	1,06	0,82	0,625
<i>0,1 MPa təzyiqdə və 273 K temperaturda qazda istilik keçirmə, Vt/(m·K)</i>	0,024	0,015	0,0127
<i>Havaya nəzərən elektrik möhkəmliyi</i>	1,0	0,9	2,6

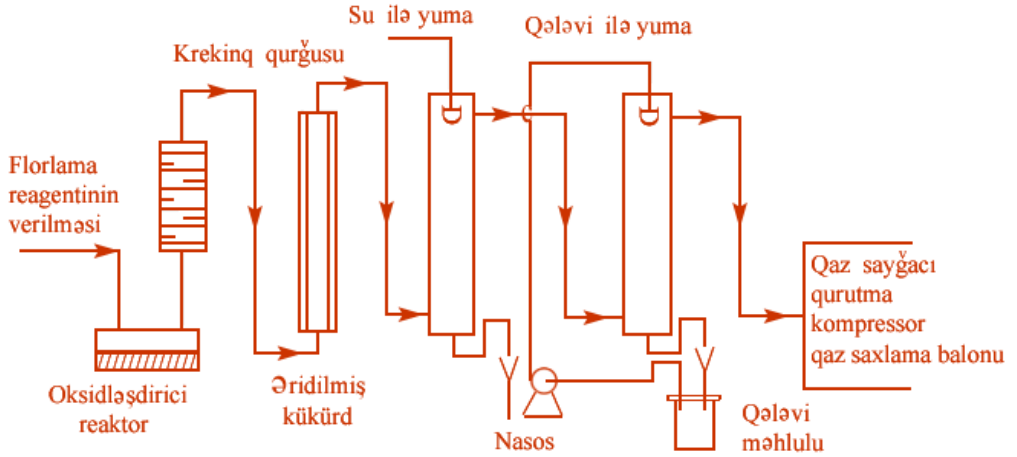
Fransız alimləri Muasson və Lebo elektroliz yolu ilə almışlar. Flor krekinq qurğusunda bilavasitə kükürlə birləşmə reaksiyasına girərək  $SF_6$  –ya çevirilir. Alman qaz güclü ekzotermik reaksiya şəraitində hasil edildiyindən dayanıqlı quruluşa malikdir:



1937 – ci ildə eleqaz ilk dəfə ABŞ-da «General Elektrik» Şirkəti tərəfindən sənaye miqyasında tətbiq edilməyə başlanmışdır.

Alman müsbət nəticələr, həmin qazın elektroenergetika sənayesində izolyasiya mühiti kimi istifadə edilməsinə əsas olmuşdur. 1939 –cu ildə Tomson-Xyuston  $SF_6$  –nın kabel və kondensatorlarda izolyasiya kimi istifadə edilməsinə dair patentlər almışlar.

İkinci dünya müharibəsindən sonra biri-birinin ardınca eleqazın transformatorlarda yüksək gərginlik açarları və s kimi qurğularda tətbiqi davam etdirilmişdir.



Şək.2.5.1 Birləşmə reaksiyası ilə  $SF_6$  qazının istehsal sxemi

Azot və karbon iki oksid elektrik möhkəmləklərinə görə havadan yüksək olmasalar da, kimyəvi inert qazlar olduqları üçün, bir sıra üstünlüklərə malikdirlər. Ona görə, həmin qazların təşkil etdiyi mühitdə bərk materialdan olan izolyasiyanın istilik köhnəlməsi prosesləri azalır və ya tamamilə olmur. Onlar da eleqaz kimi yanqına qarşı davamlıdırlar. Eleqaz suda həll olunmur.

Cərəyan keçirən elementlərin, silindrik gövdənin içərisində bərkidilməsi üçün tökmə epoksid izolyasiyadan olan dayaq izolyatorları istifadə edilir. Bu qaz mühitində materiallarda epoksid və epoksi-dian qətranlarından ibarət tərkiblər istifadə edilir.

Eleqaz izolyasiyasının tətbiq edildiyi əsas sahələr, 110 kV və daha yüksək gərginlikli qapalı paylayıcı quruluşlar, bütün yüksək gərginliklərdə (6-330 kV) eleqaz izolyasiyalı açarlardır. Açarlarnın qövssöndürmə kameralarında qısa müddətdə temperatur  $15000^{\circ}K$  çatdıqda eleqaz qismən parçalanır. Parçalanma məhsulları aşağıdakı şəraitlərdə alınır: -kontakt materiallarında olan volfram, mis, nikel  $O_2$  və  $H_2$  molekulları ilə birləşmədə olduğundan açılan kontaktlar arasında yaranan qövs bu birləşməyə təsir edir; - $SF_6$ -nın tərkibində az miqdarda hava,  $CF_4$  və su buxarları olduğundan yaranan təsir; karbohidrogen, silisium ikioksid tərkibli kompozisiya plastmasslarının qövs mühitindəki zərərli təsiri; -açarın konstruksiyasını təşkil edən digər metal və qeyri metalların yaratdığı mühitlər. Deyilənlər, parçalanma məhsullarında  $F$  və  $S$ -dən başqa  $C$ ,  $Si$ ,  $O_2$ ,  $H_2$ , volfram, mis olduğunu göstərir.

## 2.5.2. Yüksək təzyiqlərdə qaz aralıqının boşalma gərginliyi

Qazın təzyiqinin artırılması, onların elektrik möhkəmliyinin artırılması yollarından biridir. Təzyiqin kifayət qədər böyük qiymətlərində, bir çox

qazların elektrik möhkəmlikləri transformator yağlarının və elektrotexniki farforun elektrik möhkəmliyindən çox olur. Eleqaz ( $SF_6$ ) üçün təzyiqin bu qiyməti 0,2 MPa-dır. Özlərinə elektron yapışdırma xassəsi eleqazın elektronla eyni təbiətli olması ilə izah edilir. Ona görə  $SF_6$  *elektromənfi* qaz adlanır. Onun boşalma xarakteristikaları havaya nisbətən daha yüksəkdir. Cədvəl 8.1-də bir sıra belə qazların xarakteristikaları verilmişdir. Onlardan ən çox tətbiq ediləni  $SF_6$  qazıdır. Bütün müsbət xassələri, yüksək qövs söndürməsi ilə yanaşı, eleqaz nisbətən aşağı mayeləşmə temperaturuna malikdir. Onlardan parçalanan kiçik molekullu məhsullar toksik xassəlidir. Ona görə, eleqazdan ayrılan kiçik molekullu qazlar elektrodlara və bərk izolyasiya materiallarına zərərli təsirlər göstərir.

Elektrod sistemindən asılı olmayaraq eleqaz aralıqlarında boşalma gərginlikləri üçün oxşarlıq qanununun ödənilməsi bir təzyiq oblastı vardır. Eyni zamanda bu qanunun pozulduğu təzyiq həddləri də mövcuddur.

Şəkil 2.5.2-də eleqaz üçün müxtəlif təzyiqlər üçün hava, eleqaz, transformator yağı və vakuumin boşalma gərginliklərinin elektrodlar arası məsafədən asılılıqları verilmişdir.

Məlumdur ki, oxşarlıq qanununun ödənilməsi birinci oblastda, elektrodların səthində, elektrik sahə gərginliyinin təzyiqdən asılılığı kritik qiymətə çatdıqda boşalma başlayır və bu proses aşağıdakı kimi ifadə edilir:

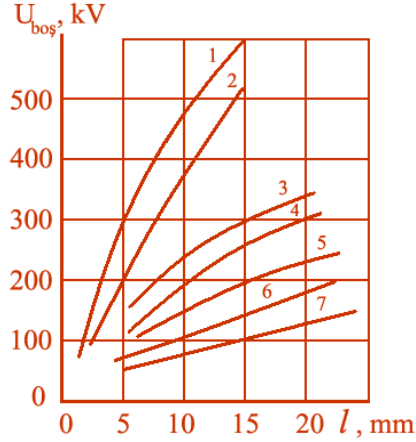
$$E_0 = E^*_{0} \cdot p \left[ 1 + \frac{a}{r_0^m} \right] \quad (2.5.1)$$

burada  $E^*_{0}$  -boşalma yaranan halda, birincisi elektrik sahəsində qazın uyğun təzyiqinə gətirilmiş elektrik sahə gərginliyidir [eleqaz üçün  $E^*_{0}=89MV/(m \cdot Pa)$  götürülür],  $a$  və  $m$  elektrodların forması və qazın cinsindən asılı olan əmsallardır;  $r_0$  –elektrodların əyrilik radiusunu göstərən ədəddir,  $m$  – $l$ ;  $p$  - qazın təzyiqidir.

Birinci oblastda başlanğıc gərginlik aşağıdakı kimi hesablanır:

$$U_0 = E_0 \cdot l / k_{qb} \quad (2.5.2)$$

burada  $l$ -elektrodlar arası məsafə,  $m$ ;  $k_{qb}$  – elektrik sahəsinin qeyri birincislik dərəcəsidir, elektrodların formasından asılı olur.



Şək.2.5.2. Boşalma gərginliyinin elektrodlar arası məsafədən asılılığı 1,7-hava; 2,6-SF<sub>6</sub>, 3-vakuum, 4-transformator yağı, 5-farfor. Qazın təzyiqi: 1-2,8 MPa; 2-0,7 MPa; 6,7-0,1MPa

Elektrik sahəsinin müəyyən qiymətində boşalma prosesi I oblastdan ikinci oblasta keçir. ESG-nin bu qiyməti «aktiv zonanın» ölçüsündən asılı olaraq dəyişir. Qeyri bircinsli elektrik sahəsində aktiv zona, elektrod yaxınlığında sahə gərginliyinin, maksimal ESG-nin ən azı 85 %-ni təşkil etdiyi məsafəsinə deyilir.

Oxşarlıq qanunundan kənarlaşmanın əsas səbəbi, elektrodlar arasında keçirici hissələrin olması ilə bağlıdır. Bundan başqa elektrodların mikro çıxıntıları olan yerlərində katodun səthindən elektronların emissiyası artır. Oksid pərdəsinin olması, elektrod maddəsinin absorbsiya tozu və buxarlanmanın intensivliyi də boşalmanın II oblasta keçidini sürətləndirir.

Bircinsli və zəif qeyri bircinsli elektrik sahələrində olan boşalma və başlanğıc gərginliklərin təzyiqdən asılılığı praktiki olaraq eynidir.

Bircinsli və zəif qeyri bircinsli elektrik sahələrində, havada olduğu kimi, oxşarlıq qanununun ödəndiyi I oblastda aralığın boşalma gərginliyini aşağıdakı kimi ifadə edirlər:

$$U_{bos} = Apl + B\sqrt{pl} \quad (2.5.3)$$

Eleqaz üçün  $A=78,5 \text{ V/(mPa)}$ ,  $B=6,5 \text{ V/(mPa)}^{0,5}$  olur.

Elektrodlar arası məsafəni sabit saxlayaraq, təzyiqi artırırsaq, boşalma gərginlikləri də mütənasib olaraq artacaqdır. Bu artım, sahə gərginliyinin orta qiymətinin 150 kV/sm-ə qədər olan həddinə qədər davam edir. Bundan sonra Paşen qanunundan kənarlaşma müşahidə edilir və ilk boşalmalar (2.5.3)-də hesablanan gərginlikdən daha aşağı gərginliklərdə baş verir. Lakin, deşilmə zamanı cərəyanının kiçik olması, aparılan çoxlu sayda təcrübələrdə getdikcə

qiymətlərin yenidən boşalma gərginliyinin (2.5.3) formulasında alınan qiymətlərinə qərarlaşmasına və yaxınlaşmasına səbəb olur.

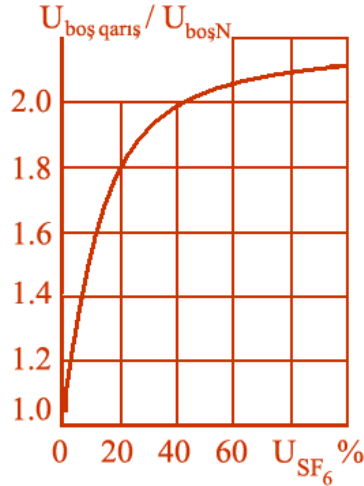
Oxşarlıq qanunun ödəndiyi, nisbətən aşağı təzyiqlərdə, elektrodların səthinin hamarlanması və cilalanması qaz aralığının boşalma gərginliklərinə təsir etmir. Yüksək təzyiqlərdə isə, oxşarlıq qanununun pozulması halında da, qaz aralığında boşalmadan əvvəl elektrodların səthinin pardaqlanması və cilalanması boşalma gərginliyini artırır.

Qaz aralığının boşalma gərginliyi elektrodların materialının sıxlığı artdıqca artır. Alınmış təcrübi nəticələr boşalma gərginliklərinin artımına görə, elektrod materiallarını aşağıdakı ardıcılıqda düzməyə imkan verir: nikel və kömür, aliminum və onun ərintiləri, sink, gümüş, latun, paslanmaz polad.

Yüksək təzyiqlərdə elektrodların üzərinə çəkilmiş dielektrik örtük aralığın boşalma gərginliyinə müsbət təsir edərək onun qiymətini artırır. Təsiri ən effektiv olan, qalınlığı 25-250 mikm örtükdür. Qeyd etmək lazımdır ki, örtüyün xüsusi müqaviməti nə qədər çox, dielektrik nüfuzluluğu isə kiçik olarsa, boşalma gərginliyi bir o qədər artar.

Örtüyün uzun ömürlüüyü, davamlılığı və möhkəmliyi onun materiala yapışma (adhezia) dərəcəsinin artması ilə artır. Örtük çəkilmiş elektrodların səthinin kələ kötürülməyü ilk boşalma gərginliyinə təsir etməsə də, boşalma gərginliyinin stabiləşmə sürətinə təsir edir. Aşağı təzyiqlərdə ( $p \leq 0,6$  MPa), elektrodlar arasında məsafə 5 sm –ə qədər olduqda, boşalma gərginliyinə örtük çəkilmiş elektrodun qütblüyü təsir edir.

Bir sıra hallarda izolyasiyada təmiz eleqaz deyil, onun azotla qarışığı istifadə edilir. Azot eleqazdan daha ucuzdur. Eleqaza az miqdarda azot qatılması aralığın boşalma gərginliyini, azotun boşalma gərginliyinə nisbətən xeyli artırır. Şək.2.5.3 –də  $N_2$  və  $SF_6$  qazlarının qarışığının, azotun boşalma gərginliyinə olan nisbəti tərkibdə olan  $SF_6$ -nın % - indən asılılığı verilmişdir. Şək.2.5.3- dən göründüyü kimi qarışıqda  $SF_6$ -nın faizi 40 %-ə qədər artdıqca boşalma gərginliyi də xətti artır.  $SF_6$  –nın sonrakı artımları boşalma gərginliyini az dəyişdirir. Alınmış nəticələr eleqaz izolyasiyalı konstruksiyalarda və yüksək gərginlik açarlarında istifadə edilir.



Şək.2.5.3.  $N_2$  qazında eleqazın həcmi nisbətindən asılı olaraq, qarışığın boşalma gərginliyinin azotun boşalma gərginliyinə olan nisbətintn əyrisi

### 2.5.3. Qeyri bircinsli elektrik sahəsində qaz izolyasiyası

Kəskin qeyri bircinsliliyə malik olan elektrik sahələrində, boşalma gərginlikləri qazın təzyiqindən mürəkkəb asılılığa malik olur şək.2.5.3. Nisbətən aşağı təzyiqlərdə ( $p=0,1 \div 0,4 \text{ MPa}$ ), boşalma gərginliyi başlanğıc gərginlikdən xeyli böyük olur. Təzyiq artdıqca boşalma gərginliyi başlanğıc gərginliyinə yaxınlaşır. Təzyiqin bu qiymətlərində həmin gərginlik, boşalmanın müstəqillik şərtini ödəyir.

Sadə halda bu şərti aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$N_e^* = \gamma \cdot N_{sel} \geq 1 \quad (2.5.4)$$

burada  $N_e^*$  –ikinci elektronların sayı,  $\gamma$ –ikinci ionlaşma əmsalı,  $N_{sel}$  –lavinada (elektronlar selində) elektronların sayıdır.

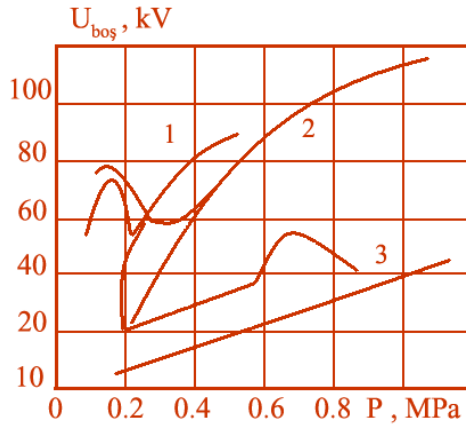
Məlumdur ki, boşalma iti uclu və müsbət yüklənmiş elektrodlardan inkişaf etdikdə, ikinci elektronlar qaz həcmində inkişaf edən fotoionlaşma hesabına daha çox artırılır.

Kritik qiymətlərdən aşağı təzyiqlərdə elektron lavinasında olan və boşalmanın müstəqilliyini ödəyən elektronların sayı çox olmur. Bu halda elektron lavinasının hesabına yaranan müsbət yüklər də elektrik sahəsini çox təhrif etmirlər. Ona görə, ikinci lavalılar iti uclu elektroda tərəf hərəkət edərək, orada taclanma yaradırlar. Həmin ətrafda yaranan taclanma nəticəsində müsbət həcmi yüklər toplaşirlar. Onlar iti uc yaxınlığında elektrik sahəsini zəiflədərək, qalan aralıqda onun güclənməsinə səbəb olurlar. Tətbiq

edilən gərginlik artırıldıqda, lavinada elektronlar  $10^8$ -ə qədər çoxalaraq, həcmi yüklərin hesabına elektrik sahə gərginliyinin xarici sahə gərginliyinə bərabər olması halını yaradırlar. Bu halda meydana çıxan ikinci elektron lavinası birinci lavinanın həcmi yüklərinin istiqamətində hərəkət edəcəklər. Nəticədə boşalma strimer xarakterinə keçir və bu hadisə nisbətən qısa aralıqlarda belə deşilmə yaradır.

Təzyiq artdıqca boşalmanın müstəqilliyini təmin edən elektronların sayı artır və kritik təzyiqdə lavinanın strimerə keçən halına uyğun qiymətlərdə olur. Lavinaların uzunluğu və elektronların sayı təsadüfi xarakterli olduqlarından, boşalmanın bir formasından digərinə keçid, qazın təzyiqinin müəyyən dəyişmə intervalında baş verir.

Bu zaman boşalma gərginliklərinin variyasiya əmsalı 0,05-dən 0,10-0,15-ə qədər artır. Eleqazda yapışma əmsalı havadakından daha çox olduğundan eleqaz üçün kritik təzyiq, hava üçün nisbi təzyiqdən az olur şək.2.5.4.



Şək.2.5.4. İynə-müstəvi elektrodlar arasında boşalma (bütöv xətt) və başlanğıc gərginliklərin (qırıq xəttlər) qaz aralığında təzyiqin dəyişməsindən asılılıq əyriyələri 1-freon  $CCl_2F_2$ ; 2-  $SF_6$ ; 3-hava. İynənin ucunun diametri 0,094 sm, müstəvi ilə olan ara məsafəsi  $S=1$  sm

Boşalma gərginliyinin təzyiqdən asılılığına, tətbiq olunan gərginliyin forması, müddəti, qütblüyü təsir edir. Başlanğıc gərginlikdən böyük qiymətli, bir neçə mikrosaniyəlik müddəti olan gərginliklər təsir etdikdə, həcmi yüklər tam formalaşmadığından, onların elektrik sahəsini düzləndirməsi mümkün olmur. Ona görə, strimerlər və boşalmalar da sabit gərginliyə nisbətən aşağı gərginliklərdə baş verir.



Bu səbəbdən də, mikrosaniyələr ərzində təsir edən impuls gərginliklərdə, boşalma gərginliyinin azalması, sabit gərginlikdəkinə nisbətən qazın daha aşağı təzyiqlərində baş verir.

Boşalmalar katod yaxınlığında inkişaf edərsə, elektronlar təkcə qazın həcmində fotoionlaşma ilə yox, həm də anod səthində fotoeffekt nəticəsində artmış olar. Nəzərə almaq lazımdır ki əyriliyi çox olan iti uclu, mənfi elektrod yaxınlığında olan lavina elektrik sahəsinin azalma istiqamətində inkişaf edir. Ona görə, eyni ölçülü lavinalar olan halda belə, mənfi elektrodlardan başlayan boşalmanın lavina başlığında yüklərin konsentrasiyası müsbət elektrodakından kiçik olur. Bundan başqa, yüksək təzyiqlərdə katod ucluğunda elektrik sahə gərginliyi avtoelektron emmissiyası yaranan qiymətə çatır. Eyni zamanda bir neçə lavina yaranır. Bu yüklər katodu ekranlaşdırır. Göstərilən səbəblərdən mənfi qütblü, iti uclu elektrodlarda boşalma gərginliyi həmişə başlanğıc gərginlikdən böyük olur.

Aralığın uzunluğu artdıqca, strimerin boyu aralığa nisbətən kiçilir. Bu halda boşalma lider formasına keçir. Strimerin boyu, onun ilk yarandığı nöqtədə gərginliyin qiyməti ilə təyin edilir. İynə –müstəvi elektrod sistemində eleqaz üçün strimer kanalının boyu  $m$ -lə, aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$l_{str} = 8,7 \cdot 10^3 U / p, \quad (2.5.5)$$

burada  $U$ –tətbiq edilən gərginlik,  $V$ ;  $p$ – qazın təzyiqi,  $Pa$ .

Mənfi qütblü elektrod, böyük uzunluq və  $p \approx 0,4$  MPa təzyiqdə strimer zonasında həcmi liderlərin bir neçə parıltılı mərkəzləri müşahidə edilir. Təzyiq artdıqca, parıltılı mərkəzlər arası məsafələr kiçilir. Normal təzyiq, uzun aralıqlarda, havanın boşalmasında olduğu kimi, gərginliyin az artması ilə, lider pillələrlə çoxalır. Təzyiq artarsa, lider fəsiləsiz, sürətli inkişaf etməyə başlayır. Ona görə, yüksək təzyiqlərdə, eleqaz üçün, nisbətən uzun aralıqların həm impuls, həm də sənaye tezlikli səlis artan gərginliklərin təsiri ilə yaranan boşalma gərginliyi, təxminən bərabər olur. Ancaq bu zaman, impuls gərginliklərin təsirindən alınan, boşalma gərginliyinin variasiya əmsalı kiçik və 0,04-0,05 həddəridə olur. Alınan bu nəticələr, yüksək gərginlikli eleqazlı qurğu və aparatlarda tətbiq edirlər.

#### **2.5.4. Qaz izolyasiyalı qapalı konstruksiyalar**

Son 40 ildə açıq paylayıcı qurğulardan daha çox üstünlüklərə malik olan, hermetik qapalı paylayıcı quruluşlar -HPQ geniş tətbiq edilməkdədir. Əvvəla, gərginlik altında olan bütün elementlər qapalı, torpaqlanmış gövdə içərisində yerləşir. Bu işçilərin təhlükəsizliyini artırmaqla yanaşı, paylayıcı quruluş üçün vacib olan qabarit ölçülərin də azalmasına səbəb olur. İkincisi,

hermetikləşdirilmiş paylayıcı quruluş həm binaların zirzəmilərində, həm də xüsusi yeraltı inşa edilmiş tikintilərdə yerləşdirilə bilər. Bu şəhər içərisində paylayıcı quruluşların genişləndirilməsi lazım olduqda daha vacib olur. Çünki böyük şəhərlərdə açıq paylayıcı quruluşlar üçün boş ərazilər çətin tapılır. Açıq paylayıcı quruluşlar, həm də şəhər arxitekturasını pozaraq, yüksək akustik təsirlər və radio maneələr yaradırlar. Hermetik paylayıcı quruluşlar isə, qapalı şəraitdə, səssiz olan işlə belə qusurlardan azaddır. Üçüncüsü, hermetik paylayıcı quruluşlar bilavasitə atmosfer təsirində olmadığından, onların etibarlılığı ətraf mühitin çirklənməsindən və hava şəraitindən asılı olmur.

Hermetikləşdirilmiş paylayıcı quruluşlar ayrı-ayrı tək fazlı və ya üç fazlı modul elementləri və hücrələrdən yığılır. 300 kV gərginlikdə olan hermetik paylayıcı quruluşun sxemi 2.5.5 –də verilmişdir. Göründüyü kimi, qapalı qurğu, bir neçə funksional modullardan yığılmışdır: 1 - girim, 2 - torpaqlayıcısı olan ayırıcı, 3 - birləşdirici şin sistemi, 4 - gərginlik transformatoru, 5 - cərəyan transformatoru və yüksək gərginlikli açar hücrəsi. Öz növbəsində modullar seksiyalardan və bir neçə şin sistemindən ibarət ola bilər. Modullar qaz dolumu üçün xüsusi armaturlar və təzyiğin nəzarət cihazları ilə təchiz olunmuşdur. Şəkil 2.5.5 -dən göründüyü kimi, hücrə iki şin sistemində malikdir.

Yüksək gərginlikli HPQ yarımsansiyalara ayrı-ayrı modullar və bloklar kimi, hissələrlə daşınırlar. Bu zaman, cərəyan keçiricilərinin gövdəyə nəzərən bərkidilməsi üçün olan, məsafə ayırıcı dayaq izolyatorları, eyni zamanda modul və blokların hermetikləşdiriciləri kimi xidmət edirlər. Hermetik qurğular montaj edildikdən sonra, modullar içərisindəki qazlar çəkilib boşaldılır. Yerinə isə, eleqaz doldurulur. Sonra qismən boşalmaların qeyd edici cihazları vasitəsi ilə içəridə, keçirici və digər qeyri keçirici sərbəst hissəciklərin olması yoxlanılır.

Sərbəst hissəciklərin hermetik quruluşlardan çıxarılması üçün, onlara bir neçə saat sabit və ya sənaye tezliyi ilə dəyişən sınaq gərginlikləri tətbiq edilir. Sonra isə avadanlıqda impuls sınaqları aparılır. Çox yüksək gərginlikli hermetik paylayıcı qurğularda isə zavodda aparılan kommutasiya gərginliklərinin 0,85 qiymətindəki gərginliklə sınaqları aparılır. Hermetikləşdirilmiş quruluşları, yüksək gərginlikli EVX- ilə birləşdirdikdə müəyyən texniki çətinliklər meydana çıxır. Bunun üçün xüsusi , bahalı girimlər tətbiq etmək lazım gəlir. Bəzən bu səbəbdən, elektrik verilişlərində hermetikləşdirilmiş paylayıcı quruluşlar istifadə edilmir. Qaz aralığında yüksək boşalma gərginlikləri almaq üçün hermetikləşdirilmiş paylayıcı quruluşların elementlərinə elə formalar verilir ki, elektrodlar arasında sahə bircinsliyə yaxın olsun. Bunun üçün, şinlər eyni oxlu koaksial sistemlər şəkilində hazırlanırlar. Məlumdur ki, belə sistemlərdə boşalma gərginliyi: -

$$U_{bos} = E_0 r_1 \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (2.5.6)$$

kimi təyin edilir.  $E_0$  – başlanğıc gərginlik eleqazda aşağıdakı kimi təyin edilir:  $E_0 = E_0^* \cdot m \delta \left( 1 + \frac{0.14}{\sqrt{\delta r_1 / r_0}} \right)$ . Eleqaz üçün  $E_0^* = 89 \text{ kV/sm}$ ;  $m$  – məfilin səthinin qeyri hamarlıq dərəcəsi;  $\delta$ -qazın nisbi sıxlığı;  $r_0 = 1 \text{ sm}$  – dir.

HPQ-da qaz qövs söndürücü kimi istifadə edildiyindən, onlarda təmiz  $SF_6$  tərkibli eleqaz işlədilir. Hermetik paylayıcı quruluşlar qapalı binalar içərisində və onun xaricində quraşdırıldığından, onlarda istifadə olunan aparatlar  $-50 \text{ } ^\circ\text{C}$  temperaturlarda işləmək üçün nəzərdə tutulur. Belə temperaturlarda, artıq 0,4 MPa təzyiqdə eleqaz mayələşir. Ona görə, HPQ-da eleqazın təzyiqi adətən daha aşağı 0,25 MPa tərtibində götürülür. HPQ açarlarında isə qövs söndürməni təmin etmək üçün təzyiq, daxildəki digər yerlərdəkindən yuxarı - 0,6 MPa olur. Ona görə eleqazın mayələşməməsi üçün açarların bakları qızdırılır.

Koaksial sistemlərdə xarici səthin radiusu sabit olarsa, maksimal boşalma- $E_{bosmax}$  gərginliyi silindrin xarici və daxili radiusların nisbətindən  $e^{-\delta}$  bərabər qiymətlərində alınır. Ona görə belə sistemləri layihələndirdikdə  $r_2/r_1$  üçün optimal qiymətə yaxın olan  $2 \div 4$  arasındakı nisbətlər seçilir.

HPQ-da məsafə saxlayıcı dayaq izolyatorlarının əsas növləri şəkl.2.5.6-da göstərilmişdir. Məlumdur ki, izolyatorun səthi boyu deşilmə gərginliyi, təmiz qaz aralığının deşilmə gərginliyinə nisbətən kiçik olur. Bu daxili elektrodla olan kontaktların keyfiyyətindən, eyni zamanda izolyatorun yan səthində adsorbsiya olunmuş metal buxarları və izolyatorun formasından da asılı olur.

Boşalma gərginliyini artırmaq üçün, izolyatorların hazırlanma texnologiyasına və dəqiq montajına əməl etmək lazımdır. HPQ-də izolyatorun daxili elektrodla kontakt yerində ESG –nin azaldılmasına da xüsusi fikir verilməlidir. Buna izolyatorlara xüsusi forma verməklə və ya dairəvi ekranlar quraşdırmaqla nail olunur. Əgər izolyatorun səthində hər hansı nöqtənin ESG-yi, elektrodun səthində olan maksimal ESG-dən kiçik olarsa, izolyatorun səthi üzrə boşalma yaranmaz. Xarici izolyatorlara verilən səth qabırğaları, ətəklər və s. kimi formalar qaz izolyasiyasında effektiv deyildir. Çünki, mürəkkəb formalı daxili konstruksiyaların ayrı-ayrı yerlərində ESG artaraq, boşalma gərginliyinin azalmasına səbəb ola bilər.

Məsafə saxlayan dayaq izolyatorlarının səthi üzrə boşalmanı ləğv etmək üçün, izolyatorlara müəyyən forma verilir. Şəkl.2.5.6-də göstərilən izolyatorun qalınlığı üzrə elektrik sahə gərginliyinin artmasına baxmayaraq, ekranlı tökmə epoksid kompaund izolyatorlarında səth boşalma hadisəsi baş

vermir. İzolyator və ekrana müəyyən forma verilir. Nəticədə, hətta  $2 \cdot 10^{-4} m^3$  həcmi olan ekranlı konstruksiyada boşalma gərginliyini artırmaq mümkün olmuşdur.

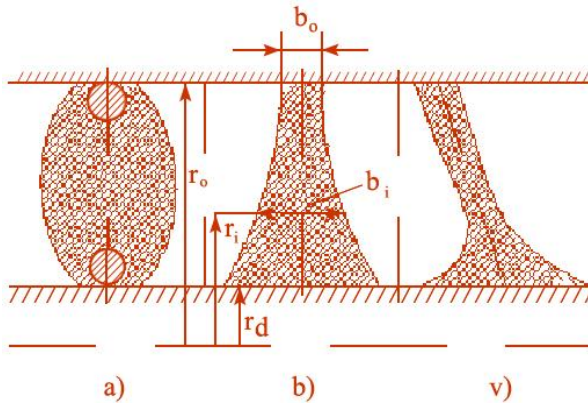
Nisbətən kiçik təzyiqlərdə eleqazın elektrik möhkəmliyi, izolyator materialının uzun müddətli elektrik möhkəmliyinə yaxınlaşır və ya ondan böyük olur. ESG-nin azaldılması üçün qeyri bircinsliliyin zəiflədilməsi və bu məqsədlə izolyatorların texnologiyası və xüsusi formalarına diqqət edilir. Bərk izolyasiyasının elektrodun səthindən qopub ayrılmaması üçün izolyasiya örtüyü çəkməmişdən əvvəl elektrodun səthini kimyəvi yolla emal edirlər. Sonra elektrodun səthinə nazik bir izolyasiya qatı çəkilir və daha sonra izolyatora xüsusi bütöv forma verilərək tökülməni başa çatdırırlar. Hazır konstruksiyanın keyfiyyətini, onlarda qismi boşalmaların səviyyəsini yoxlamaqla müəyyən edirlər.

Mərkəzdən məsafə saxlayan disk şəkilli izolyatorların *şək.2.5.6 b* gövdəsində maksimal ESG-nin mümkün qədər çox azaldılması izolyatorlara xüsusi forma verməklə həll edilir. Bu zaman izolyatorun qalınlığını HPQ-n xarici qilafından mərkəzə uzaqlaşdıqca, aşağıdakı formulaya uyğun şəkildə artırmaq lazımdır:

$$b_i = b_0 \left( r_0 / r_i \right)^a \quad (2.5.7)$$

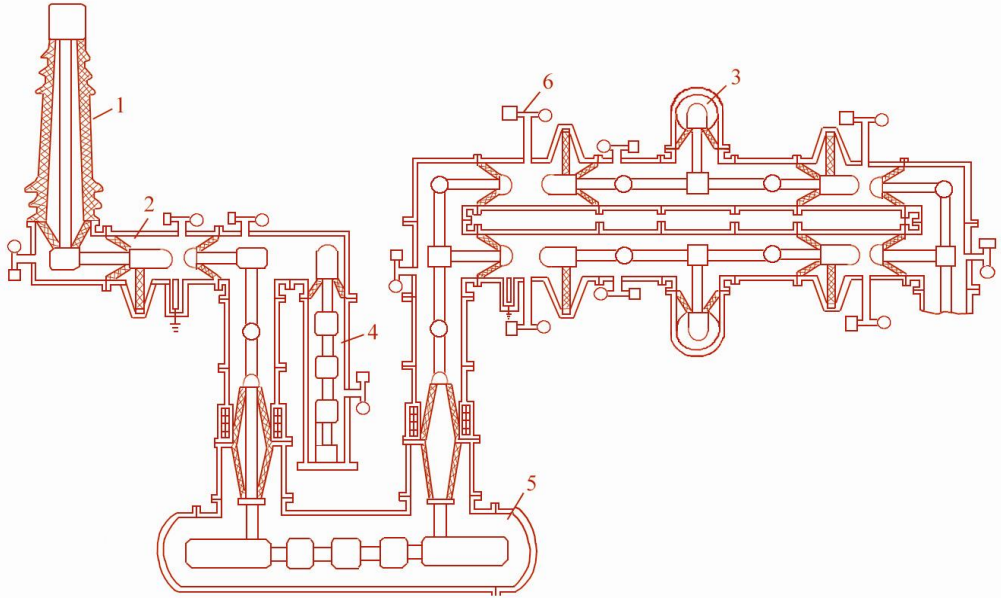
burada  $b_0$ -  $r_0$  radiuslu HPQ qilafı yaxınlığında qəbul edilmiş qalınlıq;  $r_i$  – kəsiyin  $b_i$  qalınlığına uyğun olan radiusudur.

Epoksid kompaundlu ( $\epsilon \approx 4\epsilon_0$ ) diskşəkilli izolyatorlar koaksial elektrodlar arasında ən kiçik məsafəni tutmalıdır. Bu zaman, maksimal və orta gərginliklərin nisbətinin izolyator qalınlığı üzrə minimal qiyməti -  $E_{max}/E_{or}=1,2$  olur. Hesabatlarda (2.5.7) ifadəsinə daxil olan digər parametrlər: -  $a=2,5$ ,  $b_0=0,067r_d$  və  $r_0/r_d=e$  qiymətlərində götürülür.



*Şək.2.5.5. HPQ-da məsafə saxlayıcı dayaq izolyatorlarının əsas növləri (eskizlər) a)ekranlı tökmə epoksid kompaund, b,v)disk qif şəkilli,*

Qıf şəkilli izolyatorlarda *şək.2.5.5* v boşalma gərginliklərini artırmaq üçün, daxili elektrodun səthi yaxınlığında qalınlıq çoxaldılır. Bu halda qalınlıq, daxili və xarici elektrodlar arasındakı məsafənin  $45^{\circ}$ -lik bucaq istiqamətindəki yarı məsafəsi qədər artırılır. Belə konstruksiyalarda, qıf şəkilli izolyatorun qalınlığına düşən ESG, disk şəkilli izolyatordakı ESG-dən 10% aşağı olur.



*Şək.2.5.6. Hermetik paylayıcı quruluşun hücrəsi 1-girim; 2-torpaqlayıcısı olan ayırıcı; 3-birləşmə şinləri; 4-gərginlik transformatoru; 5-açar və cərəyan transformatoru; 6-eleqaz doldurulması və təzyiqinə nəzarət qurğusu*

## 2.2. Xarici izolyasiya

### 2.2.1. Xarici izolyasiyada havanın rolu. İzolyatorlar

35 kV-dan böyük olan yüksəldici transformator və paylaşdırıcı şəbəkələrin çoxusu açıq atmosferdə tikilir. Onların bütün avadanlıqları açıq atmosferdə yerləşdiyindən, *xarici tip izolyasiya* quruluşuna aid edilir. Başqa sözdə, onlar açıq havada işləyən bərk materialdan ibarətdirlər. Ona görə, atmosfer havası üçün 25-30 kV/sm qiymətlərə çatan kritik həddlərə yaxın, yüksək sahə gərginlikləri təsiri ilə, xarici izolyasiyada baş verən elektrik prosesləri maraq doğurur. Tədqiqatlar göstərir ki, bərk izolyasiyanın

səthində ESG-nin kritik həddləri izolyasiya aralığının uzunluğu artıqca 5 kV/sm –ə qədər azalır. Daha uzun aralıqlarda isə, izolyatorların səthi boyu elektrik möhkəmliyi 2,5-1,5 kV/sm –ə qədər kiçilir.

### 2.2.2. Xarici izolyasiyanın növləri

Deyildiyi kimi, elektrik qurğularının *xarici izolyasiyasına*, açıq atmosfer şəraitində yerləşmiş izolyatorların gövdəsi daxildir. O cümlədən, qonşu fazların biri-birinə nəzərən olan izolyasiya səthləri də buraya aiddir. Məsələn, paylayıcı qurğuların–PQ şinləri, elektrik ötürücü xətlərin (EÖX) məftilləri və digər YG aparatları xarici dövrələrlə birləşdirən naqillər bir-birindən və yerdən, müəyyən məsafələrdə izolə edilmiş elektrod sistemləri kimi işlədiyini göstərmək olar. Yüksək gərginlik izolyatorları müxtəlif konstruksiyalar və avadanlıqlarda (məsələn, şinlər arasında, xətt dayaqları və traverslərin ölçülərinə uyğun boyda, açarların, ayırıcıların metal gövdələri üzərində, transformatorların baklarının üstündə) gərginlik sinfinə uyğun məsafələrdə bərkidilirlər. İzolyatorlar əsasən farfor və şüşədən hazırlanırlar. YG konstruksiyaları, izolyatorlar vasitəsi ilə verilmiş vəziyyətdə lazımı məsafədə hava aralığı olmaqla montaj edilir. Havadakı izolyasiya məsafəsi gərginliyin qiyməti və havanın verilmiş elektrodlar sistemi üçün elektrik möhkəmliyindən asılıdır.

Məlumdur ki, normal atmosfer şəraitində hava aralığının elektrik möhkəmliyi yüksək deyildir və ən yaxşı halda, bircinsli elektrik sahəsində 30 kV/sm-dən çox olmur. Açıq atmosferdə isə, izolyasiya konstruksiyasının səthini bürüyən hava təbəqəsinin elektrik möhkəmliyi daha da aşağı olur. Bunun səbəbi bərk izolyasiyanın elektrik parametrlərinin: - dielektrik nüfuzluluğun havanın dielektrik nüfuzluluğundan böyük olması və nəmliyin səthə nüfuz etməsidir. Ona görə yüksək gərginlikli izolyasiya konstruksiyalarında qeyri bircinsli elektrik sahəsi meydana çıxır. Deyildiyi kimi, elektrodlar arası məsafə 1-2 m olduqda izolyasiyanın səthi boyu elektrik möhkəmliyi 5 kV/sm; məsafə 10-20 m arasında dəyişdikdə isə, 2,5-1,5 kV/sm-ə qədər azalmış olur. Bu səbəbdən EÖX-i və PQ qabarıqları əsasən havanın elektrik möhkəmliyi ilə təyin edilir və nominal gərginlik artıqda bu ölçülər də kəskin olaraq artır. Hava aralığının boşalma gərginliyinə onun təzyiqi  $-P$ , temperaturu  $-T$  və mütləq nəmliyi  $-Ψ$  təsir edir. Ona görə havada izolyasiya məsafəsi elə seçilməlidir ki, ən pis atmosfer şəraitlərində də onlar kifayət qədər elektrik möhkəmliyinə və izolyasiya səviyyəsinə malik olsunlar. Adi izolyasiyalı elektrik avadanlığı üçün xarici izolyasiyanın normal iş şəraiti kimi dəniz səviyəsindən 1000 m-ə qədər hündürlük və ətraf mühitin 40 °C-yə qədər temperaturu götürülür. Bununla əlaqədar olaraq elektrik avadanlığının xarici izolyasiyası layihələndirildikdə dəniz səviyəsindən 1000 m-dən

yuxarı, hər 100 m yüksəklik üçün boşalma (və ya sınaq) gərginliyi 1 % azaldılır. Normal temperaturdan yüksək, hər əlavə 3 °C üçün də 1% azalma olur. Beləliklə, 1000 m hündürlük və 40° C temperaturda cəmi 16-17 % azalma nəzərdə tutulur.

Normal şərait dedikdə, atmosfer üçün  $T=293 K$ ,  $P=101,3 kPa=0,1013 MPa$ ;  $\gamma=11q/m^3(\psi=65\%)$  götürülür. Havanın mütləq nəmliyinin 2 dəfə azalması boşalma gərginliyinin 6-8% azalmasına səbəb olur. Qeyd etmək lazımdır ki, atmosfer təsirlərindən dəyişmələr elektrodlar arası məsafəsi 1 m olan boşalma aralıqları üçün xarakterikdir. 1 m-dən böyük olan elektrod aralıqlarında isə, atmosfer təsirlərindən boşalma gərginliklərinin dəyişməsi nəzərdən atılır. Məsələn, qeyri bircinsli elektrik sahəsində yağışların təsiri nəzərə alınmır.

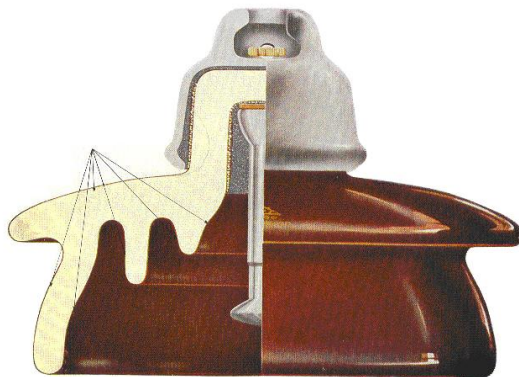
İzolyatorlar növlərinə görə xətt və aparat izolyatorlarına bölünür. Xətt izolyatorları niçə şəkilli asma tip və yivli oxa taxılan dayaq tip olurlar Şək.2.2.1. Yivli oxa taxılan və asma izolyatorlar, QOST-a görə ŞF və ya ŞS; PF və ya PS, PSQ xətt izolyatorları, VDE, TSE, BS standartına görə tiplər, müxtəlif cür markalanırlar (bax səh.49). Avropada polad ştra taxılmış izolyatorlara PIN tip izolyator deyilir. Aparat izolyatorları dayaq və keçid tiplərinə malikdirlər Şək. 2.2.2. Dayaq izolyatorları, flanesin və qapağın izolyator gövdəsinin xaricinə və daxili boşluğuna montaj edilən, bir neçə variantlarda hazırlanır. Hər iki növ izolyatorlar ənənəvi bir formaya malikdirlər.

Xətt izolyatorları 35 kV və daha yüksək gərginliklərdə biri-birindən salxım şəkilli (elastiki çevik) asılmış zəncirədən ibarətdir. F6-B (PS-12-A) – tip asma xətt izolyatorlarının Alman markalı bir nümunəsi şək.2.2.1 –də göstərilmişdir. Bir sıra ölkələrdə xüsusi gücləndirilmiş şüşə izolyatorlar hazırlanır. İzolyator istehsalı müəssisələrində HX, dartı girlyanda zəncirəsi və YS partal dayaqları üçün ölçüləri  $L_{siz}/H \approx 3$  nisbətində dəyişən Bu izolyatorlar Rus standartlarına görə DÜİST 6490-67 - PSQ6-A, İngilis standartları BS-147, Alman - VDE 0446 standartlarına görə GA-500 HG və GA- 500 MG ilə markalanırlar.

Dayaq izolyatorları əsasən elektrotexniki farfordan hazırlanır şək.2.2.1 və aşağıdakı kimi markalanır – İND : - İ-izolyator, N- normal izolyasiya səviyyəli, D- dayaq tip izolyator, S - çubuq şəkilli (sterjnevoy), Ş - ştrli, U - gücləndirilmiş (usilenny) kimi oxunur. Hərflərdən sonra defislə nominal işçi xətt gərginliyi və yenə defislə əyilmədə minimal dağıdıcı qüvvə  $daN$  (dekaNyutonla) göstərilir.

1-3 kV-luq keçid izolyatorları bütöv farfor gövdədən və cərəyan keçirən içlikdən (çubuqdan) ibarət olur. 6-10 kV-luq keçid izolyatorlarının daxili izolyasiyası, çubuqla farfor silindrin daxili divarı arasındakı hava qatı və ya epoksid qətranından tökülmiş kütlədən təşkil olunur. İzolyatorların

cərəyan keçirici içlikləri, farfor silindrin yan tərəflərinə quraşdırılmış yönəldici qapaqlardan keçirilir. Düzbucaqlı çubuqların yerdəyişməsinin qarşısını almaq üçün, onları qapaqların yanında çekanka yolu ilə əzərək fiksasiya edirlər. Dairəvi formalı cərəyan keçiricilərin isə, baş tərəflərində onları qapağa sıxmaq üçün yiv açılır.



Şək.2.2.1. Asma xətt izolyatoru (Almaniya-VDE standartı)

Sızma cərəyanının yolunun boyu kimi səth üzrə, elektrodlar arasında ən qısa məsafə götürülür.

İzolyatorlar sızma yolunun boyuna görə, elektrik avdanlığının *tərtibat kateqoriyasına* uyğun olmalıdırlar.

9920-75DÜİST normaları və müxtəlif çirklənmə dərəcələrinə görə A,B,V kateqoriyalarına aid sızma yolunun ən böyük işçi gərginliyə olan nisbəti- $\lambda_{xüs}$  cədvəl 2.2.1 də verilmişdir.

Yüksək gərginlik aparatlarında ən çox tətbiq olunan izolyatorlardan biri də dayaq izolyatorlarıdır. Onlar açarlar, ayırıcılar, şinlər və digər qurğuların montajı və bərkidilməsi üçün istifadə edilir. Elektrik-texniki farfordan hazırlanan bir elementli dayaq və keçid izolyatorları, texnoloji və mexaniki emalda yaranan çətinliklər (*yonma, dəlmə, deşmə, farforun bişirilməsində olan problemlər və s.*) səbəbilə 1-1,2 m hündürlüyünə qədər hazırlanır (Şək 2.2.2.). Çubuq şəkilli dayaq və xətt izolyatorları, izolyasiya detallarının konfigurasiyasına görə oxşardırlar. Onların fərqi yalnız diametrləri və flanəslərin ölçü və formasına görə olur (şək.2.2.2 a).

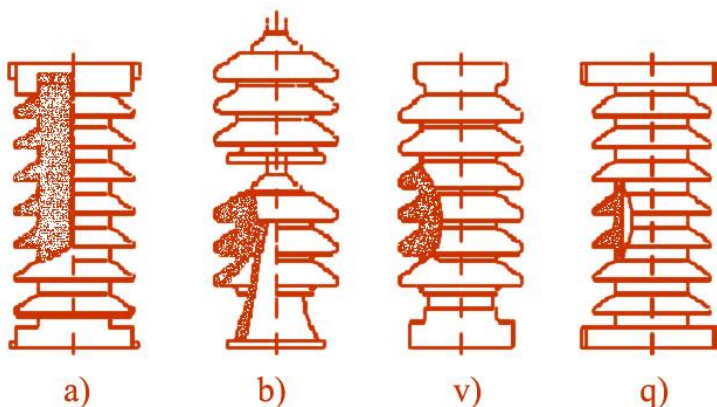
6-750 kV elektrik avadanlığının xüsusi sızma yolu - $\lambda_{xüs}$

Cədvəl



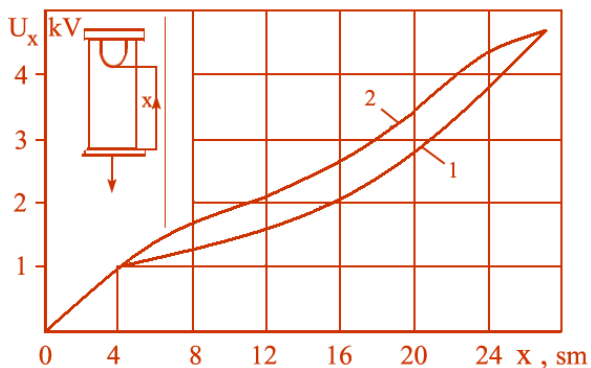
<i>Elektrik avadanlığının kateqoriyalari. Hər kateqoriya iki çirkənmə dərəcəsinə aiddir</i>	<i>Şəbəkələrdə quraşdırılmış avadanlıq üçün sızma yolunun ən böyük işçi gərginliyinə nisbəti – <math>I_{sız}/U_{ənböyişçi}</math>, sm/kV</i>	
	<i>Neytralı izolə edilmiş və ya effektiv torpaqlanmış 35kV</i>	<i>Neytralı bir başa torpaqlanmış 110-750 kV gərginliklər</i>
<i>A(1-2 çirk dər.)</i>	1,70	1,50
<i>B(3-4çirk dər.)</i>	2,60	2,25
<i>V(5-6 çirk dər.)</i>	3,50	3,10

Gərginliyi 110 kV və daha böyük olan yüksək gərginlikli dayaq və keçid izolyatorlarında izolyasiya sisteminin elektrik möhkəmliyinin artırılması və taclanma gərginliklərinin ləğv edilməsi məqsədi ilə, elektrik sahə gərginliklərini tənzimləmək lazımdır. 35 kV –a qədər gərginliklərdə bu məqsədlə sadə tənzimlənmə üsulları istifadə edilir. O cümlədən konstruksiyaya müxtəlif formalar verməklə və ya daxildə sadə ekran örtükləri tətbiq etməklə ESG-ni tənzimləmək olur.



*Şək.2.2.2. Dayaq izolyatorlarının növləri a) bütöv gövdəli tək uzun gövdəli (sterjnevoy) farfor izolyator; b)xarici tip (ONŞ-35kV)iki izolyatordan ibarət izolyator sütunu; v)müxtəlif izolyator ətəklərinin yapışdırılması ilə alınmış «Multikon» konstruksiya, q)içi silindrik boşluq şəkilində olan dayaq izolyatoru*

Şəkil 2.2.3.-də dayaq izolyatorunun üst qapağı tərəfdən müəyyən dərinliyə qədər tənzimləyici ekran qoyulmuşdur. Onun təsiri ilə gərginlik və ESG şəkildə göstərilən 1 əyrisi üzrə azalmaya doğru dəyişir.



Şək. 2.2.3. Kağız-bakelit tipli dayaq izolyatorunda yüksəklik boyu gərginlik paylanması 1) daxili ekranla; 2) ekransız olan hal.

Elektrik sahəsinin dəyişməsində izolyasiya gövdəsi ilə yanaşı, konstruksiyada olan metal hissələrin də təsiri vardır. Şəkil 2.2.3-də göstərilmiş asılılıq, izolyatorlarda armaturların, digər keçirici detallar və ya konstruksiyaların elektrik xassələrinin tənzimlənməsinə aid olan bir misaldır.

Şəkildə  $x$  sıfır potensiallı aşağı elektroddan başlayaraq dəyişir. O cümlədən, yüksək gərginlikli şaxələndirilmiş xətt məfülləri yaxınlıqda asılmış birinci izolyatorada gərginlik düşgüsünün azalmasına müsbət təsir edir.

#### 2.4.1. Xətt izolyasiyasının normativ sənədlərə görə seçilməsi

Xətt və yarımstansiya izolyasiyası seçildikdə ilk növbədə onların yaxınlığında olan insanlar, maşın-mexanizmlər və heyvanların təhlükəsizliyini nəzərə almaq lazımdır. Məfüllərin izolyasiya asqıları həm də mexaniki təsirlərə qarşı, şəbəkənin etibarlı işini təmin etməlidir. Bunlardan başqa, xəttlərdə radiomaneələrin buraxıla bilən qiymətləri, şəhər və qəsəbələr yaxınlığında elektrik sahə gərginliyinin  $1,5 \text{ kV/m-dən}$  böyük olmaması diqqətə alınır. İzolyasiyanın etibarlılığı və texniki-iqtisadi səmərəliliyi təmin edən bir səviyyədə olması da vacibdir.

Hava xətlərinin layihələndirmə təcrübələri göstərmişdir ki, izolyasiyanın işçi gərginliklərdə etibarlı və təhlükəsiz işini təmin edən şərtlər, iqtisadi səmərəsinə görə daha uyğundur. Əgər kommutasiya və ildırım ifrat gərginliklərinə görə hesablanmış izolyasiya məsafəsi böyük ölçülərdə alınarsa, onda ifrat gərginliyə görə məhdudlaşdırıcı tədbirlər aparılır. Bu məqsədlə əsas kontaktlarla paralel qoşulmuş şunt müqavimətli açarlar [15], qeyri xətti element bazasında hazırlanmış gərginlik məhdudlaşdırıcıları - QXGM, boşaldıcılar, ildırımdan mühafizə trosları, reaktorlar və s. kimi qurğu və aparatlar istifadə edilir. Hava xətlərinin izolyasiyasının hesabı işçi

gərginliyə görə, izolyator zəncirinin uzunluğunun seçilməsindən başlanır şəkl.2.4.1. İstismar təcrübələri göstərmişdir ki, işçi gərginliklərdə etibarlı işləyən izolyator zənciri atmosfer və daxili ifrat gərginliklərə də yaxşı davam gətirirlər.

İzolyatorların tipi və sayı atmosferin çirklənmə dərəcəsinə görə təyin edilir. Atmosferin çirklənməsi isə 6 dərəcəyə bölünür. 110-220 kV –luq xətlərin izolyasiyasını təyin edən əsas kriteriyalardan biri də ildırım ifrat gərginliklərinə qarşı qoyulan tələblərdir.

Mühafizə qurğuları və tədbirlərinin nəticəsində izolyasiya səviyyəsi “normaya” gətirilir. Bundan sonra kommutasiya və atmosfer ifrat gərginliklərinin təsiri olsa da, izolyasiyanın normal işi pozulmur.

Xətt izolyasiyasının hesabı və seçilməsinin iki usulu vardır. Birincisi adi elektrik veriliş xətlərinə və yarımstansiyalara aid olub, çox illik istismar təcrübələri və elmi-tədqiqat işlərinin nəticəsinə görə ümumiləşdirilmiş metoddur. İkincisi isə qeyri-standart tros ilə çəkilən və ya çirklənmə, nəmlənməyə görə xüsusi pis şəraitdə yerləşən xətt və yarımstansiyalara aiddir. İkinci metod statistik və kombinə edilmiş usullardan ibarət olan ümumi yanaşmadır.

Xətt izolyasiyası hesablandıqda texniki-iqtisadi fikirlərə görə ilk növbədə dayaq tipi, xətt məftilinin en kəsiyi, aşırımlar arası məsafələr seçilir və normativ yüklərə görə onların mexaniki hesabları aparılır. Normativ yükləri isə xətt trasının keçdiyi ərazidə iqlim şərtlərinə görə təyin edirlər. Mexaniki yüklər, küləyin sürəti, fazların konstruksiyaları, buzlaşma təbəqəsinin qalınlığı və digər amillərdən asılıdır. Küləyin təsir qüvvəsi ayrı-ayrı yüklər üçün  $550-1250 N / m^2$  arasında dəyişir. Maksimal külək təzyiqi və buzlaşma təbəqəsinin qalınlığı 6-330 kV-luq hava xətlərində 10 ildən bir təkrarlanma, 500 –750 kV-luq xətlərdə isə 15 ildən bir təkrarlanma üçün nəzərə alınır. Çünki, 500-750 kV-luq xətlərin açılmasında xalq təsərrüfatına dəyən ziyanlar daha böyükdür. Ona görə standartlarda 500-750 kV-luq enerji ötürücü xətlərin hesabı yükləri böyük ehtiyat dərəcəsi ilə götürülür.

Elektrik veriliş xətlərində cərəyan keçirən və torpaqlanmış hissələr arasında hava aralığının ən kiçik izolyasiya məsafələri aşağıdakı cədvəl 2.4.1-də verilmişdir:

Hesabatlarda atmosferin çirklənməsinə görə sızma yolunun effektiv uzunluğu seçilir. İzolyator zənciri və ya izolyasiya sütununun xüsusi effektiv sızma yolu- $\lambda_{ef}$ , onların etibarlı işini təmin edən izolyasiya uzunluğunun ən böyük işçi gərginliyinə olan nisbətində deyilir:

$$\lambda_{ef} = L_{ef} / U_{enb.is} \quad (2.4.1)$$

burada  $L_{ef} = L_{sız}/K$  kimi, sızma yoluna görə təyin edilir.

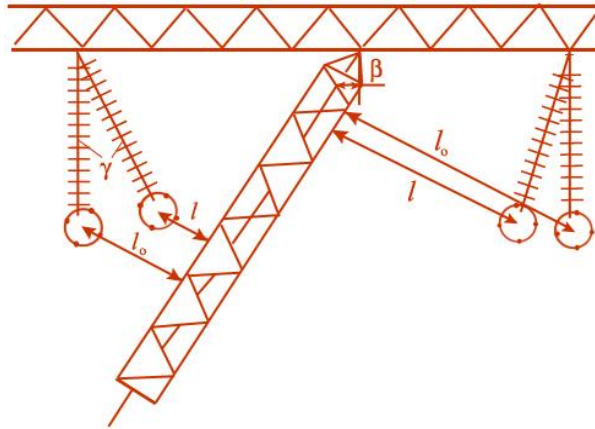
$$U_{en\ boyis} = k \cdot \frac{U_{en\ boyis}}{\sqrt{3}} \quad (2.4.2)$$

$k$ - şəbəkənin normal işçi rejimlərdə malik oludqları gərginlik dəyişmələrini göstərən əmsəldir: -  $k=1,2 \div 1,05$  olur.

Hava xəttlərində traverslərin ölçüləri və izolyator zəncirlərinin bağlanma usullarından asılı olaraq, məfillər sıfır potensiallı xətt dayaqlarına nəzərən, hərəkətli və ya tərpənməz ola bilər. Məsələn, V şəkilli izolyasiya zəncirində xətt məfilləri dayağa nəzərən tərpənməz olurlar. Lakin bu halda zəncirdə istifadə edilən izolyatorların sayı iki dəfə artır. V asqılarda asılmış izolyatorların ara bucağı  $100 \div 110^\circ$  götürülür.

İşçi gərginliklərdə etibarlı istismar şərtləri üçün izolyatorların sızma yolunun uzunluğu aşağıdakı kimi hesablanır:

$$L_{sız} \geq K\lambda_{ef} U_{ən\ böyük\ işçi} \quad (2.4.3)$$



Şək.2.4.1. Məfil-dayaq arası məsafənin hesabatına aid sxem

Cədvəl 2.4.2-də- 35 -750 kV, dəmir-beton və ya metal dayaqlarda çəkilmiş xətt izolyatorları üçün effektiv sızma yolunun boyu verilmişdir. (2.4.2) və (2.4.3) formulasını giriyanda zəncirində olan izolyatorların sayının hesablanmasına tətbiq etdikdə aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$n \geq \frac{K\lambda_{ef} \cdot U_{en\ boyukisci}}{L_{sız1}} \quad (2.4.4)$$

burada,  $L_{sız1}$ -bir izolyatorun həndəsi ölçələrinə görə sızma yolunun boyunun uzunluğudur,  $U_{ən\ böyük\ işçi}$  – fazlar arası ən böyük işçi gərginlikdir.

(2.4.4) formulasına görə hesablar aparılarkən alınmış nəticə vergüldən sonra 3 rəqəmi olduqda bir artığma yuvarlaqlaşdırılır. Ehtibarlılığı və elektrik möhkəmliyini artırmaq məqsədi ilə, yüksəkliyi 1000 m-dən çox və çirklənmə dərəcəsi IV –dən böyük olan ərazilərdə çəkilmiş elektrik veriliş xətləri üçün hesablanmış  $n$  izolyatorlar sayına, bir və ya iki ədəd izolyator əlavə edilir.

Hava xətlərində cərəyan ötürücü və torpaqlanmış hissələr arasında ən qısa izolyasiya məsafələri cədvəl 2.4.1 verilmişdir.

*Hava xətt gərginlikləri ( kV) üçün ən kiçik məsafələr cədvəli – sm-lə*  
Cədvəl 2.4.1

<i>Hesabat şərtləri</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>35</i>	<i>110</i>	<i>220</i>	<i>330</i>	<i>500</i>
<i>İldırım ifrat gərginliklərinə görə:taxma izolyator üçün</i>	<i>15</i>	<i>25</i>	<i>35</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
<i>asma izolyator üçün</i>	<i>20</i>	<i>35</i>	<i>40</i>	<i>100</i>	<i>180</i>	<i>260</i>	<i>320</i>
<i>Daxili ifrat gərginliyə görə</i>	<i>10</i>	<i>15</i>	<i>30</i>	<i>80</i>	<i>160</i>	<i>215</i>	<i>300</i>
<i>İşçi gərginliyə görə</i>	<i>-</i>	<i>7</i>	<i>10</i>	<i>25</i>	<i>55</i>	<i>80</i>	<i>115</i>
<i>Dayağa çıxan personalın təhlükəsizliyi üçün</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>150</i>	<i>250</i>	<i>350</i>	<i>450</i>

Deyildiyi kimi, güclü çirklənən rayonlarda zəncirdə olan izolyatorların sayını artırmaq və ya bu rayonlar üçün xüsusi çirklənməyə davamlı izolyator tipləri işlətmək lazımdır.

Xətt və yarımqərsəli izolyatorlarında defektli izolyatorların vaxtında tapılması elektrik qurğularının qəza baş vermədən işləməsi üçün əsas şərtlərdəndir.

Asma izolyatorlar zəncirəsinə bir-birinin sonuna birləşmiş kondensatorlar kimi baxmaq olar. Hər bir izolyatorun məxsusi tutumundan  $C_d$ , əlavə onların yerə  $C_{yer}$  və qonşu xəttə görə  $C_X$  tutumları da əvəz sxemində daxil olur şəkl.2.4.3.  $C_{yer}$  və  $C_X$  tutumları təsirdən potensialın izolyasiya zəncirəsi boyu müntəzəm paylanması mümkün olmur.

Zəncirə boyunca gərginliyin paylanması nəticəsində, xətt məfiliyə yaxın olan izolyatorların potensialının böyük olması səbəbindən, onlarda tac

boşalması əmələ gəlir. Onun qarşısını almaq üçün izolyasiya zənciri boyunca potensialın paylanması bərabərləşdirirlər. Bunun üçün zəncirin xətlə birləşən ucuna və bəzi hallarda dayaqda birləşən ucuna da bərabərləşdirici metal həlqələr – *ekranlar* taxılır.

Zəncirədə defektli izolyatorları yoxlamaq üçün nəzarət ştanqları, kürəvi boşaldıcılar, ölçü hərəkət maşınları və yüksək tezlikli ölçü cihazlarından istifadə edilir. Ştanqlar vasitəsi ilə ayrı-ayrı elementlərin gərginliyi bir başa ölçülür.

*35 -750 kV-luq asma izolyator zənciri və açıq paylayıcı qurğularda xüsusi effektiv sızma- $\lambda_{ef}$  yolu üçün normativ qiymətlər cədvəli*

*Cədvəl 2.4.2*

<i>Atmosfer çirklənmə Dərəcəsi</i>	<i><math>\lambda_{ef}</math>, effektiv sızma yolu, sm/kV Hava xəttləri üçün,</i>			<i>Açıq paylayıcı qurğular, kV</i>	
	35	110- 220	330- 750	35	110- 750
I	1.7	1.3	1.3	1.7	1.5
II	1.9	1.6	1.5	1.7	1.5
III	2.25	1.9	1.8	2.25	1.8
IV	2.6	2.25	2.25	2.6	2.25
V	3.5	3.0	3.0	3.5	3.0
VI	4.0	3.5	3.5	4.0	3.5

#### **2.4.2. Asma xətt izolyator zəncirinin mexaniki hesabı**

Normal istismar şəraitlərində həm anker dayaqları, həm də aralıq dayaqlarına vertikal qüvvələr təsir edir. Bu qüvvələrə, mətil və izolyatorların çəkisi, buzlaşma və üfüqi istiqamətdə təsir edən küləyin təzyiqi aiddir. Qəza rejimlərində, məsələn bir mətilin qırıldığı halda, anker dayağı və onun dərzi izolyatorları aşırımın qeyrisimmetrik qüvvələrini öz üzərinə götürür. Mətili asılı və ya dartılmış şəkildə saxlayan izolyator zəncirəsi də bu qüvvələrə davam gətirirlər.

Buz təbəqəsinin müxtəlif anlarda və fərqli yerlərdən qopması, məfillərin burulmasına və bağlantı nöqtələri ətrafında dönmələrinə səbəb olur. Ona görə, sıxacların ölçü və konstruksiyaları elə olmalıdır ki, dönərkən izolyatorlar zədələməsin.

Eyni zamanda asma izolyatorlar elektrik veriliş xətt (EVX) məfillərini, dayaqlar və travslərdən izlə etmək üçün olan konstruksiya yığılmasında istifadə edilir. Nimçə şəkilli izolyatorlar asma girlyanda zəncirəsinin tərkibində sıra ilə yığıldıqlarından, ayrı-ayrı izolyatorlar üçün hesabat aparılmır. Ona görə, asma xətt izolyatorları üçün ayrılıqda nominal gərginlik verilmir. Hər bir izolyatora düşən işçi gərginlik, xəttin gərginlik

sinfından və izolyatorun zəncirdəki sırasından asılı olur. Ümumiyyətlə, ayrılıqda asma izolyatorun işçi gərginliyi 20-40 kV arasında dəyişir. Sınaq edildikdə izolyatorlara 63-110 kV boşalma gərginliyi tətbiq edilir. İzolyatorların zəncirdə olan sayı ən böyük faz gərginliyinə görə hesablanır (2.4.3). Bu zaman izolyatorun alt çubuğunun yuvarlaq başlığı digər izolyatorun şapqasında olan yuvaya taxılır və sancaqlanır. Şapkanın forması başlığın xarici səthinin şəklini təkrarlayır, lakin şapkanın daxili diametri başlığın xarici diametridən 5-10 mm böyük götürülür. Dirsəkli şarnir qaydasında sıra ilə birləşdirilmiş bu izolyatorlar əsasən dartılma qüvvəsinə işləyirlər. Dartı qüvvəsi faz məftilinin en kəsiyi və dayaqararası aşırımların uzunluqlarından asılıdır

Zəncirənin ümumi uzunluğu isə, ardıcıl bağlanmış izolyatorların sayından, birləşdirici armatura və asqı sıxaclarının uzunluqlarından asılıdır. Bu uzunluq, xətt məftili ilə travers arasındakı məsafəni əhatə edir. İzolyator zəncirəsinin mexaniki möhkəmliyi isə, bağlanmış hər bir izolyatorun möhkəmliyi ilə təyin edilir. Empirik usulla təklif edilən hesabatlara görə, qırıcı qüvvəyə qarşı müqavimət momentinin farfor gövdənin en kəsiyindən asılılığı aşağıdakı eksponensial funksiya ilə ifadə edilir:

$$F_{qir} = 20 \cdot e^{-0.00015s} \quad (2.4.5)$$

burada  $s$ - en kəsik sahəsidir,  $m^2$ -la ölçülür.

İzolyatorun çuqun başlığının hündürlüyü nəzərə alınmaqla çiyin hissəsinə düşən maksimal qırıcı momenti aşağıdakı dusturla hesablanır:

$$P_{qir} = \frac{F(H - H_0)}{k} \quad (2.4.6)$$

burada,  $H_0$ - şapkanın bərkidilmə nöqtəsindən çiyin hissəsinə qədər olan məsafədir,  $k$ -izolyator başlığının qonşu izolyatorun çubuğu ilə birləşməsinə nəzərə alan əmsəldir:-  $k = 1.2 \div 1.6$ .

İzolyatorun əsas qabarit ölçülərini  $H/D$  nisbətindən təyin edirlər.  $H/D$  nisbəti 0.6–0.64 qiymətləri arasında götürülür. Əksər izolyatorlar üçün isə, bu əmsal 0.47-0.5 arasında götürülür. Çıxarılmış şəraitlərdə işlədilən izolyatorlarda  $H/D$  nisbət 0,7-0,8 arasında olmalıdır. Bu kəmiyyətlər seçildikdən sonra izolyatoru elə lahiyənedirirlər ki, sızma cərəyanının yolunun uzunluğuna görə olan izolyasiya məsafəsi təmin edilsin. İzolyatoru lahiyələndirdikdə səthin hamar olması və öz-özünə təmizlənmə bilməsi şərti də nəzərə alınır. Başlıq və çubuğun konstruksiyaları elə seçilir ki, izolyasiya gövdəsi əsas sıxılma qüvvəsinə işləsin şəkl 2.2.1. Asma izolyator zəncirəsi, dayağa şarnirli birləşdirilir. Ona görə yandan əsən küləyin təsiri ilə, izolyator zənciri vertikal vəziyyətindən meyil edərək, dayağa yaxınlaşır. Boşalma

qorxusu yaradan yaxınlaşmanın qarşısını almaq üçün, xətt izolyasiyasını gücləndirən müxtəlif modifikasiyalar tətbiq edilir. *Məsələn V şəkilli konstruksiyada xətt məftili traversin iki nöqtəsinə bərkidilmiş izolyator zəncirələrindən asıldığı üçün xəttin oxuna nəzərən tərpənməz olub, daha möhkəm və küləyin təsirinə qarşı dayanıqlı olurlar.*

Əgər hesablanmış mexaniki yük standart izolyatorun möhkəmliyindən böyük olarsa, iki və üç zəncirli girlyandalar istifadə edilir.

Çubuğun diametri qırılmada mexaniki möhkəmlik şərtindən təyin edilir (2.4.6).

Çubuğun və farfor (şüşə) gövdənin başlıq hissəsini adətən konik formada hazırlayırlar. Konusluq bucağı elə seçilir ki, çubuqla izolyatorun başlığı və başlıqla şapka arasında temperatur təsirlərindən müəyyən qədər yerdəyişmə baş versin. Bu şərti təmin etmək üçün,  $\sigma_{qır} = \sigma / 15$  götürülür, (şək. 2.4.1). Sürtünmə əmsalını azaltmaq məqsədi ilə çubuğun başlıq hissəsinə bitum sürtülür.

#### **2.2.4. İzolyatorların elektrik möhkəmliklərinə görə təyin edilən forma və ölçüləri**

Xətt və aparat izolyatorlarının hesablarında elektrik, mexaniki möhkəmlik, istilik xassələri kimi parametrlər təyin edilir. Bütün yüksək gərginlikli xarici izolyasiya sistemlərində standartlara uyğun izolyasiya məsafələri olur.

Xarici izolyasiya üçün 9920-76 DÜİST-də  $L_{süz}/U$  nisbətinin nəmlənməmiş izolyasiyanın boşalma gərginliyinə görə fərqləri verilməsə də, bu nisbətə izolyasiyanın çirklənmə dərəcəsinə və yağmur boşalma gərginliyinə təsiri böyükdür. 50%-li yağmur boşalma gərginliyinin ən böyük işçi faz gərginliyinə  $U_{ənbf}$  nisbəti, izolyatorun işçi gərginliyə olan ehtiyat əmsalından az olmamalıdır. İzolyatorların ehtiyat əmsalı -  $K_{ehiş} = 1,5 \div 1,6$  elektrik möhkəmliklərinin statistik parametrlərinə əsasən hesablanır. İzolyatorun səthi üzrə boşalma gərginliyi üçün əsas parametr, izolyatorun üst və alt elektrodları arasındakı ən qısa məsafə – *boşalma məsafəsidir.*

Ona görə, izolyasiyanın hesablanması və layihələndirilməsi zamanı boşalma məsafəsi ilə (*hündürlük*) yanaşı onların forma və ölçüləri də təyin edilir. Materialına görə hesablar dəyişir. Ən çox işlədilən farfor və şüşədən hazırlanan izolyatorlar elektrik möhkəmliklərinə görə müəyyən boşalma aralıqlarına malikdirlər. Bu parametərə görə standartlarda DÜİST 9920 -76 və s. izolyatorlar üç kateqoriyada hazırlanırlar:- A, B, V. Açıq atmosferdə işləyən keçid və dayaq tipli, izolyatorların malik olduqları boşalma məsafələri sənaye tezlikli sınaq gərginliklərinə görə aşağıdakı iki şərtdən hesablanır:- a) *quru və təmiz şəraitdə*, b) *yağmurlu və çirklənmiş şəraitdə*. Hər iki halda



hesabat, 1 *dəq* saxlanan sınaq gərginlikləri ilə yoxlanır. Nəticədə hesabat aşağıdakı kimi aparılır:

$$\ell_{bos} = \frac{1,1 \cdot U_{sin} - 20}{335}, \text{ m} \quad (2.2.5)$$

$$\ell_{yagbos} = \frac{U_{yagbos} - 20}{205}, \text{ m} \quad (2.2.6)$$

Hesablanmış bu məsafələr izolyatorlara tətbiq edilir.

Yuxarıda göstərilmiş aparat izolyatorlarında səthi boşalmalar bir sıra keyfiyyət xarakteristikasına malikdirlər. Məlumdur ki, onlarda boşalma gərginlikləri bircinsli sahədə olan gərginliklərdən daha aşağı olur şəkl.2.2.5. Əyriyədən görünür ki, hamar səthə malik olan dayaq izolyatorlarının səthi boyu boşalma gərginliyinin qiyməti, həmin elektrodlar arasında hava olduğu haldakından kiçikdir. Boşalma gərginlikləri sahənin bircinsliliyindən, səthin nəmlənmə dərəcəsi və dielektrik nüfuzluluğundan da asılı olur.

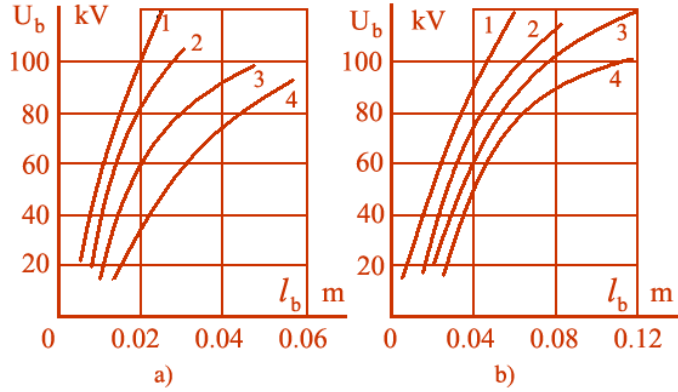
Keçid izolyatorunu xarici radiusu  $r_x$  və daxili radiusu  $r_d$  olan silindrik kondensator kimi qəbul etdikdə onun xüsusi səthi tutumu aşağıdakı kimi hesablanır:

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_n}{r_x \cdot \ln \frac{r_x}{r_d}}, [F/m] \quad (2.2.7)$$

burada  $\epsilon_n$  – nisbi dielektrik nüfuzluluğudur. Daxili boşluğu hava olan keçid izolyatorlarının üç nöqtəsi fərqli gərginliklərə malik olur: cərəyan keçiricisinin səthi, izolyatorun daxili divarı və izolyatorun xarici divarı. Onlar silindrik izolyasiya qatları kimi hesablanır şəkl.2.2.5 a. Bu zaman daxili divarın hava təbəqəsi ilə toxunan nöqtələrində aşağıdakı sahə gərginliyi meydana çıxır:

$$E_{h-f} = \frac{U}{r_{c.kec} \cdot \epsilon_h \left( \frac{1}{\epsilon_h} \ln \frac{r_h}{r_{c.rtc}} + \frac{1}{\epsilon_f} \ln \frac{r_f}{r_h} \right)} \quad (2.2.8)$$

Əgər  $E_{h-f}$  -un qiyməti 24,5 kV/sm –aşarsa, keçid izolyatorunun daxili divarının yaxınlığında ionlaşma və taclanma baş verə bilər.



Şək.2.2.5. Boşalma gərginliklərinin məsafədən asılılıqları a)50 Hs tezlikli bircinsli sahə, b)50 Hs tezlikli qeyri bircinsli sahə, 1-Hava; 2-parafin, 3-karton, 4-şüşə.

Alman alimi Tepler keçid və dayaq izolyatorlarının səthində boşalmanın inkişaf mexanizmləri və onların bir sıra qanunauyğun xassələrini tapmışdır. Aparılan təcrübələrdə, taclanma və sürüşən boşalmada lokal ionlaşma gərginlikləri üçün prosesin keyfiyyətcə eyni olduğu sübut edilmişdir. Taclanma gərginliyinə xarici elektrodun materialının da təsir etdiyi müşahidə edilmişdir.

İti uclara malik metal flanesi olan keçid izolyatorlarında taclanma yaranan gərginliyin qiyməti aşağıdakı kimi hesablanır:

$$U_{tac} = 7,2 \cdot 10^{-7} / C^{0,45} \quad (2.2.9)$$

Həmin izolyatorun səthində sürüşən boşalma yaranan gərginlik isə, aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$U_{surbos} = 6,37 \cdot 10^{-6} / C^{0,45} \quad (2.2.10)$$

İzolyatorun qalınlığı kiçik olduqda,  $d=r_x-r_d$ , onun xüsusi səthi tutumu müstəvi kondensatorların tutumuna uyğun şəkildə hesablanır:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_n / d \quad (2.2.11)$$

Bu ifadə nəzərə alınarsa, (2.2.9) və (2.2.10) düsturları aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$U_{tac} = 6,75 \cdot 10^{-2} \sqrt[0,45]{\varepsilon_n} \quad (2.2.12)$$

$$U_{surbos} = 0,59 \cdot \sqrt[0,45]{\varepsilon_n} \quad (2.2.13)$$

$U > U_{tac}$  olduqda, Tepler formulasına uyğun olaraq, sürüşən boşalmada yaranan səthi qıçılıcının uzunluğu aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$l_{surbos} = kC^2 \cdot U^5 \cdot \sqrt[4]{\frac{dU}{dt}} \quad (2.2.14)$$

Təcrübi hesabatlarda isə, sürüşən boşalma üçün aşağıdakı sadə ifadə istifadə edilə bilər:

$$l_{surbos} = 10 \cdot \frac{U - U_{tac}}{k_\varepsilon} \quad (2.2.15)$$

Sürüşən boşalma uzun müddət təsir etdikdə bərk izolyatorun, xüsusi ilə farforun səthində erroziya baş verir. İzolyatorun səthində temperaturun artımları isə onlarda çatların yaranmasına səbəb olur.

(2.2.15) ifadəsindəki  $k_\varepsilon$  -nin qiymətləri aşağıdakı cədvəl 2.2.2-də verilmişdir:

*Cədvəl 2.2.2*

$\varepsilon$	1	2	3	4	6	8	10
$k_\varepsilon$	15	10	7,7	6,5	5,05	5	5

Sürüşən boşalmaların təsirdən üzvi dielektriklər daha intensiv dağılmaya məruz qalırlar. Onların səthində boşalma qıçılıclarının kömürləşmiş izləri qalır. İzlər dərinləşdikcə izolyatorun qövsə qapanma gərginliyi azalır.

Bəzən, yüksək gərginlikli keçid izolyatorları kağız-bakelitdən hazırlanır. Kağız əsaslı izolyasiya gövdələri üzərlərində farfor çarxlar olmadan istifadə edilir. Məsələn, 1,2,5 kateqoriyalı keçid izolyatorlarının daxili izolyasiyası buna misaldır.

Dəyişən gərginliklər təsiri ilə kağız-bakelit tərkibli izolyatorlarda boşalma məsafəsi və gərginlik arasında, normal atmosfer şəraitlərində aşağıdakı empirik ifadələrlə hesabatlara aparılır:  $U_{boş} = 0,05 + 0,3 \cdot l_{boş}$  ; burada  $0,2 \leq l_{boş} \leq 2$  m; və  $U_{boş} = 0,8 \cdot l_{boş} - 1,25 \cdot l_{boş}^2$  ; burada  $l_{boş} \leq 0,2$  m asılılıqları istifadə edilir.

(2.2.14) formulasına görə sürüşən boşalma gərginlikləri üçün aşağıdakı ifadəni almaq olar:

$$U_{surbos} = k \cdot \sqrt[5]{\frac{l_{surbos}}{C^2}} \sqrt[20]{\frac{dU}{dt}}$$

Bu ifadədə  $20 \sqrt{\frac{dU}{dt}}$  gərginliyin artım sürətinin təsirini göstərir. 50 Hs gərginlikdən 1 mksan - lik impuls gərginliyə keçdikdə onun boşalma gərginliyinə təsiri 1,5 olur. İlk yaxınlaşmada onu  $k$  əmsalına aid etmək olar, yekun  $k = 50$  Hs üçün 57,5; müsbət impuls üçün 64,5, mənfi impuls üçün 76,0 qəbul edilir.

### 2.2.5. İzolyatorların mexaniki möhkəmliklərinə görə təyin edilən forma və ölçüləri

Dayaq və keçid izolyatorları kimi, aparat izolyatorlarının mexaniki möhkəmlikləri əyilmə qüvvələrinə qarşı hesablanır. Əyici qüvvələr bu izolyatorların § 2.2.4-də (2.2.5) və (2.2.6) ifadələri ilə hesablanmış -  $l_{boş}$  boşalma məsafələrinə uyğun hündürlükdə tətbiq edilir. Həmin hündürlükdə əyici qüvvə və məsafəyə uyğun qüvvə momenti yaranır:  $-M_{əy} = P_{əy} \cdot l_{boş}$ .

Dayaq və keçid izolyatorlarının şəkl.5.6 mexaniki hesabatında bütün qüvvənin farfor gövdəyə təsir etdiyi, içliyin isə mexaniki qüvvə daşmadığı nəzərdə tutulur.

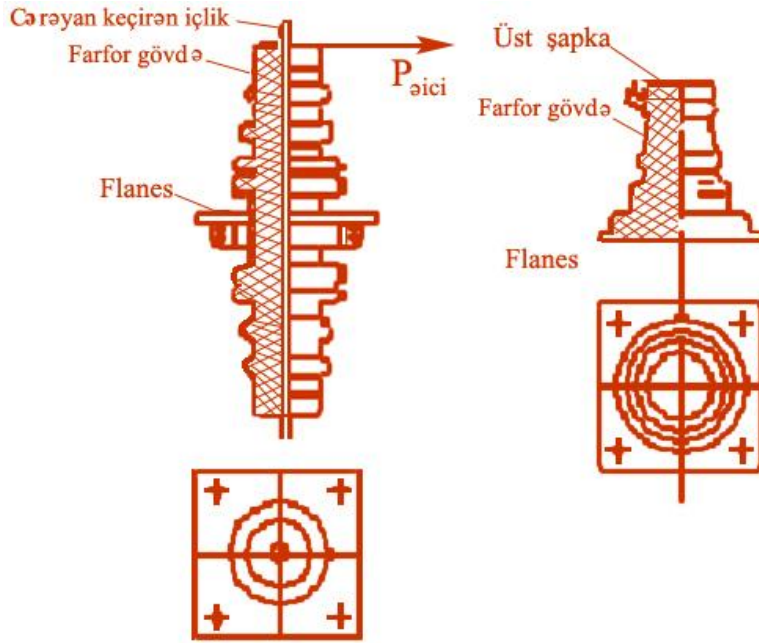
Mexaniki möhkəmliyə görə izolyatorların eninə ölçüləri, daxili və xarici diametrləri tapılır. Farfor gövdənin daxili diametri aşağıdakı formuladan təyin edilir:

$$d = 2 \cdot r_f + 2 \cdot \Delta_a$$

burada  $r_f$ -daxili izolyasiyanın flanes yaxınlığındakı xarici radiusu,  $\Delta_a$  – daxili izolyasiya ilə farfor gövdə arasında qalan iç məsafəsidir.

Bu zaman izolyatorun hazırlandığı materialın müxtəlif mexaniki təsirlər görə möhkəmlik həddləri nəzərə alınır. Deyildiyi kimi, elektrotexniki farfor üçün hesabatlarda əsasən əyilmədə mexaniki möhkəmlik həddi istifadə edilir.

Hesabatlarda möhkəmlik şərti kimi,  $\sigma_{əym} \leq \sigma_{dağqöv} [MPa/m^2]$  qəbul edilir. Silindrik formalı farforun əyilmədə müvəqqəti müqavimət momenti:  $\sigma_{müq} \approx 2,43 \cdot 10^6 \cdot S^{-0,377}$  kimi hesablanır.



Şək.2.2.6. Ənənəvi formalı keçid və dayaq izolyatorları

Doğrudan da real avadanlıqlar və xəttlərdə dayaq və keçid izolyatorları əsasən əyilmə qüvvəsinə işləyirlər. Bu halda çubuq şəkilli konsol bərkidilmiş (tir) izolyatorun diametri:

$$D_{cub} = \sqrt[3]{\frac{4,4P_{dag} \cdot H_{bos}}{\pi \sigma_{dag}}} \quad (2.2.16)$$

burada  $P_{dag}$  - dağdııcı dartı qüvvəsi;  $\sigma_{dag}$  – izolyator materialına aid mexaniki dağdııcı gərginlik,  $H_{bos}$  – səth üzrə elektrik möhkəmliyinə uyğun olan boşalma məsafəsidir,  $P_{dag} \cdot H_{bos} = M_{əy}$ - əyici momentdir.

Ehtiyat əmsalları və çəki ilə kütlə arasında sərbəst düşmə təcili nəzərə alındıqda, kök altı ifadəni 0,102-yə bölürlər. Onda ənənəvi formalı dayaq izolyatorlarının mexaniki möhkəmliyə görə hesablanan xarici diametri aşağıdakı kimi olar:

$$D = \sqrt[3]{\frac{38,4 \cdot P_{dag} \cdot H_{bos}}{\pi \cdot \sigma_{dag}}} \quad (2.2.17)$$

Keçid izolyatorlarında daxili radiuslar və ya aşağı hissəsində silindrik oyuğu olan dayaq izolyator konstruksiyaları üçün hesablar aşağıdakı kimi aparılır:

$$d = \sqrt[4]{\frac{D \cdot \sigma_{ey} \cdot D^3 - 38,4 \sigma_{ey} \cdot P_{ey} \cdot H_{bos}}{\pi \cdot \sigma_{ey}}} \quad (2.2.18)$$

(2.2.16), (2.2.18) ifadələrində  $H_{bos}$  izolyatorların boşalma məsafəsi (hündürlüyü) olub, (2.2.5) və (2.2.6) ifadələrindən alınmış ən böyük qiymət qəbul edilir. Qarşılıqlı yaxınlaşma metodu ilə, bu izolyatorların xarici diametrə görə qalınlıqları hesablanır. Sonra qalınlığa görə en kəskin sahəsi, en kəsiyinə görə farfor üçün empirik əyrilərdən əyilmədə möhkəmlilik həddinin  $\sigma_{aym}$ - əmsalı tapılır [16] şəkl.2.2.7. Sonra (2.2.18) formulası ilə son nəticə hesabı aparılır. Verilmiş en kəsiyində mexaniki gərginlik aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$\sigma_{ay} = M_{ay} / W \quad (2.2.19)$$

burada  $W$  - dairəvi en kəsiyinə malik olan izolyasiyanın əyilmədə müqavimət momentidir:-  $W = 2I / D$  və  $I = \pi(D^4 - d^4) / 64$  kimi hesablanır.

Taxma farfor izolyatorlarının  $\delta$  qalınlıqları aşağıdakı təqribi ifadədən təyin edilir:

$$\delta = U_{des} / E_{des} \quad (2.2.20)$$

burada  $E_{des} = 4 \div 5 \text{ kV/sm}$  – farfor üçün orta sahə gərginliyidir.

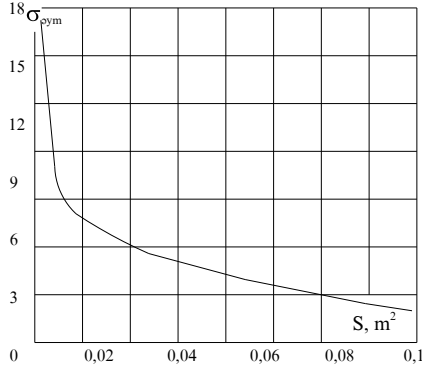
Dayaq və keçid izolyatorlarında  $E_{des}$ -n qiymətləri izolyasiya materialına görə hesablamaq olur. Məsələn, orta keyfiyyətli farfor üçün  $E_{des}$  - n qiyməti aşağıdakı kimi hesablanır:

$$E_{des} = 0,8 / \sqrt{\delta} \quad (2.2.21)$$

$$\text{Yüksək keyfiyyətli farfor üçün : } E_{des} = 1,72 / \sqrt[3]{\delta} \quad (2.2.22)$$

$$\text{Epoksid qətranları üçün isə, } E_{des} = 1,83 / \sqrt{\delta} \text{ olur.} \quad (2.2.23)$$

(2.2.21-2.2.23) ifadələrdə izolyasiyanın qalınlığı  $\delta$ , m-lə götürülmüşdür.



Şək.2.2.7 Əyilmədə farforun möhkəmlik həddinin- $\sigma_{\gamma m}$  , onun qorxulu en kəsiyindən asılılığı.

Keçid və ya içində alt tərəfdən konus şəkilli oyuğu olan ənənəvi dayaq izolyatorlarının qalınlıqları mexaniki hesablardan başqa səthi deşilmə sınaq gərginliklərinə görə ( $U_{qal}=1,6 \cdot U_{deşsəthi}$ ) də hesablanmalıdır. Bunun üçün standartlardan hər gərginlik sinfinə uyğun səthi deşilmə  $U_{deşsəthi}$  sınaq gərginliyi tapılır və 1,6 gəfə artırılaraq  $U_{qal}=U_{deş}$  kimi (2.2.19) formulasında nəzərə alınır.

### 2.3. Atmosfer havası parametrlərinin elektrik qurğularının xarici izolyasiyasına təsiri

Açıq havada işləyən izolyasiyanın əsas üstünlüklərindən biri, onlarda boşalmadan sonra gərginlik götürüldükdə (kəsildikdə) elektrik möhkəmliyinin bərpa olunmasıdır.

Xarici izolyasiyanın boşalma gərginliyi dedikdə, hava aralığı və izolyator gövdəsi arasında baş verən elektrik boşalması düşünülür. Bu gərginlik havanın təzyiqi, temperaturu və nəmliyindən asılı olaraq dəyişir. Bu zaman izolyatorların konstruksiyaları, ölçü və formaları da vacib rol oynayırlar. 45 sm-ə qədər hündürlüyü olan izolyatorlarda (35 kV-a uyğun olan) elektrik boşalma gərginliyini kənarları dairələnmiş elektrodlarla artırmaq olur. Aşağıda bu məsələlərin həllinə baxılır.

### 2.3.1. Atmosfer şəraitlərində sınaq gərginlikləri

Atmosfer şərtlərinin nəzərə alınması iki xarakterik hal üçün əhəmiyyətlidir:- birincisi, sınaqlarda alınan boşalma gərginliklərini müqayisə etmək üçün, bu zaman boşalma gərginlikləri eyni şəraitə (təzyiq, temperatur və nəmliyə) gətirilir. İkincisi, konkret sınaq şəraitləri üçün hesablanan gərginliklər, normal atmosfer şəraitləri üçün standartlarda verilmiş qiymətlərə nisbətən təyin edilir.

Sınaq şəraitləri üçün boşalma və ya sınaq gərginlikləri ilə, normal atmosfer şərtləri üçün olan sınaq gərginlikləri arasında asılıq aşağıdakı formula ilə yazılır:

$$U = U_0 \cdot \frac{k_p \cdot k_t}{k_\gamma} \quad (2.3.1)$$

burada  $U$ -təcrübə şəraitinə görə hesablanan boşalma və ya sınaq gərginlikləri,  $U_0$ - normal atmosfer şəraitinə görə boşalma və ya sınaq gərginlikləri,  $k_p$ ,  $k_t$  və  $k_\gamma$ - uyğun olaraq havanın təzyiq, temperatur və nəmliyinə görə aparılan düzəliş əmsallarıdır.

Bu əmsallar, bir sıra yüksək gərginlik laboratoriyaları tərəfindən, müxtəlif atmosfer şəraitlərində çoxlu sayda ölçülmüş gərginliklər üzərində aparılmış analizlərin nəticələrinə görə təyin edilmişdir. Elektrodlar arası məsafələrin böyük olduğu kəskin qeyri bircinsli elektrik sahələrində atmosfer təsirlərinin azalması müşahidə edilir. Bu xarakter sənaye tezliklə dəyişən və müsbət qütblü impuls gərginlikləri üçün doğrudur. Bu hadisə hələlik öz mahiyətinin həqiqi izahını tapmamışdır. Mənfi qütblü kommutasiya impulsları üçün düzəlişlər aparılmır. Nəmli atmosfer şəraitlərində düzəliş əmsalları boşalma gərginliklərinə praktiki olaraq təsir etmirlər. Təzyiq və temperatura görə olan düzəliş əmsalları DÜİST 1516.2-76-ya əsasən aşağıdakı formulalar ilə hesablanır:

$$k_p = \left( \frac{p}{p_0} \right)^m \quad (2.3.2)$$

$$k_t = \left( \frac{293}{273 + t} \right)^n \quad (2.3.3)$$

burada  $p$  və  $t$  –sınaq zamanı atmosferin təzyiqi və temperaturudur  $^{\circ}C$  ilə,  $m$  və  $n$ - cədvəl 2.3.1 və şəkil 2.3.1 ilə təyin edilən qüvvət dərəcələridir.



Quru vəziyyətdə xarici izolyasiyada aparılan sınaqlar zamanı  $m=n$  götürülür. Cədvəl 2.3.1 – dən də görüldüyü kimi, bir çox hallarda  $m=n=1$  olduğundan quru boşalma gərginliyi havanın nisbi sıxlığı  $\delta=k_p \cdot k_T \cdot \gamma$  mütənasib olur.

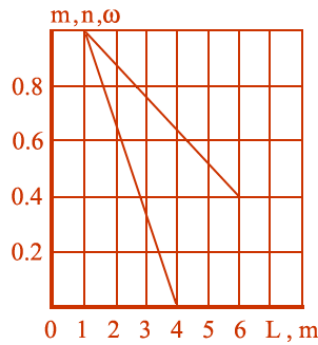
Yağış suyu və onun temperaturu, praktiki olaraq yağmur boşalma (nəm boşalma) gərginliyinə təsir etmir. Təzyiqin təsiri isə, havada boşalma məsafəsinin, izolyatorun səthi üzrə boşalma məsafəsinin nisbətində bərabər dərəcədə olur. Ona görə, yağış altında sınaqlar aparılarkən, elektrodlar arası məsafədən asılı olmayaraq,  $m=0,5$  və  $n=0$  qəbul edilir.

Xarici izolyasiya quru vəziyyətdə sınaq edildikdə, havanın mütləq nəmliyinə uyğun aşağıdakı düzəliş əmsalı istifadə edilir:

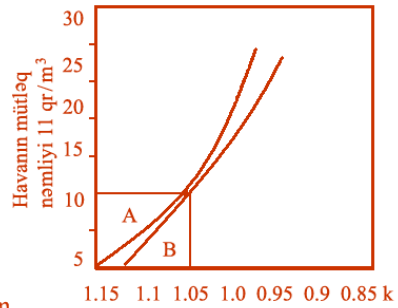
$$k_\gamma = k^\omega \quad (2.3.4)$$

burada  $k$  – cədvəl 2.3.1 və şəkil 2.3.2-dən təyin edilən köməkçi əmsaldır,  $\omega$  cədvəl 2.3.1 və şəkil 2.3.1-dən təyin edilən dərəcə üstüdür.

Şək.2.3.2 dən görüldüyü kimi, havanın nəmliyi normal nəmlikdən çox olduqda,  $k < 1$  olur. Bu, nəmliyin artması ilə boşalma gərginliklərinin də müəyyən qədər artması deməkdir.



Şək.2.3.1.  $m, n, \omega$  dərəcələrin elektrodlar arası məsafədən asılılıqları



Şək.2.3.2.  $k$  əmsalının havanın mütləq nəmliyindən asılılığı

Boşalma gərginliyinin artması su buxarlarının elektromənfiliyi ilə izah edilir. Havanın tərkibində olan elektromənfə hissəciklərin sayı artdıqca onlar elektronları tutaraq, daha çox mənfi yüklər yaradırlar. Nəticədə ionlaşdırıcı hissəciklərin sayı azaldığından boşalma gərginliyi artır. Elektrodlar arası məsafə azaldıqca (aşağı gərginliklərdə) və ya böyük aralıqlara qısa müddətli impuls gərginliklər tətbiq edildikdə, havanın nəmliyinin təsiri azalır. Bu

asılıqlar çox saylı təcrübələrin statistik emalı və nəticəsi kimi aşağıdakı şəkillərdə verilmişdir şəkl. 2.3.1 və 2.3.2 .

Müəyyən edilmişdir ki,  $U < 141$  kV olarsa düzəliş əmsalı aşağıdakı kimi yazılır:

$$K_{\gamma} = 1 + (k^{\omega} - 1) \cdot U / 141 \quad (2.3.5)$$

İmpulsların təsir müddəti azaldıqca nəmlik əmsalı yenə azalmış olur.  $t_{bos} < 10$  mksan –lik kəsilməmiş impuls olarsa:

$$k_{\gamma} = 1 + 0,1 \cdot t_{bos} \cdot (k^{\omega} - 1) \quad (2.3.6)$$

Hər iki hal birlikdə baş verdikdə, yəni  $U < 141$  kV və  $t_{bos} < 10$  mksan olduqda isə:

$$k_{\gamma} = 1 + 0,1 \cdot t_{bos} \cdot (k^{\omega} - 1) \cdot \frac{U}{141} \quad \text{olar.} \quad (2.3.7)$$

*Təzyiq, temperatur və nəmliyin təsirinə aid cədvəl*

*Cədvəl 2.3.1*

<i>Dərə cə üst- ləri, əmsallar</i>	<i>Nisbətən bircinsli elektrik sahəsi olan izolya siya kons- truksi-yası</i>	<i>Kəskin qeyri bircinsli elektrik sahəsinə malik olan izolyasiya konstruksiyaları</i>							
		<i>Dəyişən gərginlikləri n təsiri</i>	<i>Rəqsi kommutasiya impulsların təsiri</i>		<i>Aperiodik kommutasiya impulsların təsiri</i>		<i>İldırım impulsların təsiri</i>		
			<i>Müs- bət qütblü</i>	<i>Mənfi qütblü</i>	<i>Müs- bət qütblü</i>	<i>Mənfi qütblü</i>	<i>Müsbət qütblük</i>	<i>Mənfi qütblük</i>	
								<i>Simmetrik elektrik sahəsi</i>	<i>Qeyri simmetrik elektrik sahəsi</i>
<i>m, n k</i>	1,0	<i>Şəkil 2.3.1, 1 əyrisi</i>		0	<i>Şəkil 2.3.1, 1 əyrisi</i>	0	1,0		
	1,0	<i>Şəkil 2.3.2, A əyrisi</i>		1,0			<i>Şəkil 2.3.2, b əyrisi</i>	1,0	<i>Şəkil 2.3.2, A əyrisi</i>
	0	<i>Şəkil 2.3.1, 2 əyrisi</i>		0	<i>Şəkil 2..31-1 əyrisi</i>	0			1,0

### 2.3.2. Nəmlənmə və çirklənmə şəraitində izolyatorların işləməsi

Açıq atmosferdə çirklənmə və nəmlənmə təsir etdikdə izolyatorların səthində elektrolitik keçirici pərdə yaranır. Belə keçirici pərdənin təsirindən sızma cərəyanının qiyməti artır. Sızma cərəyanının keçdiyi izolyasiya səthinin müqaviməti aşağıdakı kimi təyin edilir:-

$$R_{\text{qiz}} = \rho_{\text{qiz}} \frac{l_{\text{siz}}}{\pi D_{\text{qiz}} \Delta} \quad (2.2.1)$$

İşçi gərginliyin təsiri ilə yaranan sızma cərəyanının qiyməti isə, həmin müqavimətlə tərs mütənasib olacaqdır:

$$I_{\text{siz}} = \frac{U}{R_{\text{qiz}}} = \frac{U \cdot \pi D_{\text{qiz}} \Delta}{\rho_{\text{qiz}} \cdot l_{\text{siz}}} \quad (2.2.2)$$

Göründüyü kimi, sızma yolunun boyu dəyişdikcə izolyatorların hündürlüyü boyu çirklənmə pərdəsinin xüsusi müqaviməti -  $\rho(h)$  və diametri -  $D(h)$  də dəyişir. Lakin, bu ifadələrlə hesablar aparmaq çətindir. Çünki, çox hallarda izolyasiyada müxtəlif səth təbəqələrində çirk qatının qalınlığını təyin etmək mümkün olmur. Ona görə, hesabatlarda çirklənmiş izolyasiyanın xüsusi səthi keçiriciliyi:  $\gamma_s = \Delta / \rho(h)$  istifadə edilir. Onda, çirklənmiş səthi müqavimət aşağıdakı kimi ifadə ediləcəkdir:

$$R_s = \frac{1}{\gamma_s} \int_0^{l_{\text{siz}}} \frac{dl}{\pi D(h)} = \frac{k_f}{\gamma_s} \quad (2.2.3)$$

Məlumdur ki, diametrin dəyişməsi formadan asılı olaraq təyin edilir. Ona görə izolyatorlarda yuxarıdakı inteqralla təyin edilən  $-k_f$  forma əmsalı tətbiq edilir. Sızma cərəyanını azaltmaq üçün izolyatorun hündürlüyü artırılmalı və en kəsiyi isə azaldılmalıdır. Bu isə, konstruksiyanın mexaniki davamlılığını zəiflədir. (2.2.3) –də göstərilən forma əmsalı aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$k_f = \frac{1}{\pi} \int_0^L \frac{dl}{D(L)} \quad (2.2.4)$$

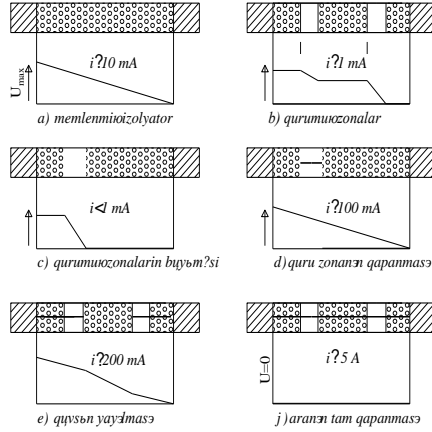
Müxtəlif markalı asma xətt izolyatorlarının forma əmsalları 0,6-0,95 arasında qiymətlər alır [23].

Sızma cərəyanı artdıqca izolyatorun səthində quruma baş verir. Lakin quruma bütün səthi bürüyə bilmir və ayrı-ayrı ləkələr şəkilində olur. Bu

zaman həmin qurumuş ləkələrin üzərindən sıçrayan boşalmalar, «*səthi qismi boşalma*»-lar, müşahidə edilir. Yaranan boşalma qığılımlarının müqavimətləri azalır və sızma cərəyanının yolunda, ardıcıl olan qurumamış hissələrdə, onun qiyməti yenidən artır. Bu qayda ilə, nəmlənmiş və çirklənmiş izolyator səthində *qismi səth boşalmaları* inkişaf edir. Müəyyən çirklənmə və nəmlənmə şərtlərində bu boşalmalar bütöv izolyasiya zəncirini bürüyərək xəttin açılmasına səbəb ola bilər şək. 2.2.4.

Şəkillərdə izolyasiyanın nəmlənmiş səthində baş verən dəyişikliklər və bu zaman inkişaf edən elektrik prosesləri göstərilmişdir. Göründüyü kimi nəmlənmənin ilkin vəziyyətində izolyasiyanın səthində gərginlik paylanması xətti olur şək.5.3 a). Nəmlənmə təsirindən artan sızma cərəyanı itkiləri izolyasiyanın səthini qurudur. Quruyan izolyasiya səthi böyüyür. Tez quruyan hissələrdə səth müqaviməti artır və gərginlik düşgüsü çoxalır şək. 2.2.4.b,v). İki nəmli parça arasında olan izolyasiya səthində qığılımlı qövs yaranır şək.2.2.4 q). Cərəyan artır və yeni quruyan sahələr çoxalır şək.2.2.4 d). Həmin sahələrdə gərginliklər artır və yeni qığılımlı boşalmalar meydana çıxır. Deyilənlər eyni qaydada açıq havada quraşdırılmış dayaq sütunlarına və çox elementli aparat izolyatorlarına da aiddir. Ona görə izolyatorlara verilən fomalər elə olmalıdır ki, onların həm çirklənməsi, həm də çirklənmiş səthin nəmlənməsi bircinsli olsun. Lakin mürəkkəb formalı izolyatorlarda şək. 2.2.1 və şək. 2.2.2. bunları yaratmaq çətindir. Bu mənada, izolyatorların konstruksiyalarında tərtib olunan əmək və qabırğalar yaxşı təsir edirlər. Çünki onların vasitəsi ilə,  $L_{siz}/H$  nisbəti xeyli dəyişdirilə bilər. Onlar sızma cərəyanlarının yolunu artırmaqla izolyatorlarda islanmayan və yağmurdan qorunan gizli, əmək altı çıxıntılar yaradırlar. Bu hissələrdə izolyatorların hündürlüyə düşən tutumları da artır. Nəticədə, həmin yerin gərginliyi azalır. Sənaye tezlikli gərginliklər üçün elektrik boşalması kommutasiya gərginliklərindən kiçik olur. Bunun səbəbi ikincinin təsir müddətinin qısa olması və istilik proseslərinin tam sona çatmamasıdır.

Nəmlənmə və çirklənmə şəraitlərində izolyatorlarda ətkələr xüsusi ilə müsbət rol oynayırlar. Ətkələr olan ətrafda izolyatorun səthinin sızma cərəyanının yolu və elektrik tutumu artır. Onların üst səthi izolyatorun oxuna perpendikulyar istiqamətdə  $20 - 25^0$  bucaq təşkil edir. Ətkələrin çıxıntı uzunluqları  $a=30 \div 50 \text{ mm}$ , ətkələr arası məsafələri isə,  $t=50 \div 100 \text{ mm}$  boyunda hazırlanır (göründüyü kimi  $t \approx 2 \cdot a$  olur). Ətkələr sayı nominal gərginliyə görə təxmini olaraq aşağıdakı kimi hesablanır:-  $n \approx 1,5 + 0,065 \cdot U_{nom}$ .



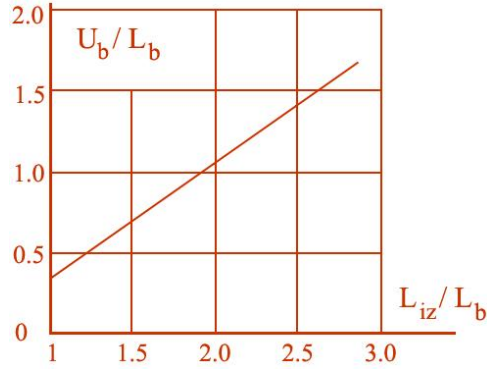
Şək.2.2.4. Çirklənən izolyasiya səthində elektrik qılgıcm boşalmalarının yaranması və qövsün inkişafı

Xarici atmosfer şəraitində işləyən çirklənmiş izolyatorun səthində inkişaf edən boşalma, çirklənən sahədə qismi boşalma yaranan səth hissəsinə ardıcıl qoşulmuş müqavimətdən asılı olur §2.3.1. Müqavimət artdıqca gərginliyin qiyməti artır. Bu səbəbdən çirklənmiş rayonlarda işlədilən izolyatorlar elə layihələndirilir ki, onların səthi çirklənmə müqavimətləri  $R_{sç}$  böyük olsun.

Eyni çirklənmə parametrlərində izolyatorların müqaviməti onların konfigurasiyası və səthin hamarlığından asılıdır. Xüsusi izolyatorların əsas parametrlərindən biri sızma yolunun boyudur  $L_{süz}$ . Bu izolyatorun səthi üzrə elektrodlar arasındakı ən qısa məsafədir. Çox hallarda izolyatorun xarakteristikası sızma yolunun boyunun onun hündürlüyünə olan nisbəti ilə təyin olunur ( $L_{süz} / H$ ). Eyni dərəcədə çirklənmiş və nmlnmis izolyatorlarda aparılan təcrübələr göstərmişdir ki şək.2.3.3 boşalma gərginliyi -  $U_{boş}$ , sızma cərəyanının yolu artdıqca xətti qanunla artır. Boşalmada, orta elektrik sahə gərginliyinin asılılığı da xətti olacaqdır, Şək.2.3.3. Ona görə çirklənən atmosferli rayonlarda sızma cərəyanının yolu böyük olan izolyatorlar işlədilir. Məsələn, adi qaydada normal izolyasiya ilə hazırlanmış izolyatorlarda  $L_{iz}/H$  nisbəti 2.2, xüsusi izolyatorlarda isə, 2.5÷2.8 qiymətləri arasında dəyişir. Hazırda,  $L_{iz}/H=3$  və mexaniki mökəmliyi 200 kN olan izolyatorlar buraxılır. Yivli çubuğu ( şırlı ONŞ 35-2000 ) olan dayaq izolyatorları çirklə zonalarda yaxşı istifadə edilir. Onların oturacaq flaneləri anker boltlarla metal konstruksiyalara bərkidilir.

İzolyatorun gövdəsi yağmur təsirindən islanmayan ikinci bir izolyator səthinə (ətək) malik olduğundan, çirкли zonalarda onların səthi müqaviməti və boşalma gərginlikləri yüksək olur. Digər tərəfdən, mürəkkəb formalı gizli qabırğalar tədricən daha çox çirkləndiyi üçün, layihələndirmə zamanı yağış və küləkdən öz-özünə təmizlənmə xassəsi nəzərə alınır.

Bu cəhətdən PFQ6-A və PSQ6-A tipli izolyatorlar daha yaxşı xassələrə malikdirlər. Onlarda  $L_{iz}/H=3$  -yüksək izolyasiya səviyyəsi olduğundan, ixtiyari dərəcədə çirklənməsi olan zonalarda işlədilə bilərlər.



### Şək.2.3.3. Boşalma gərginliyinin sızma cərəyanının boyundan asılılığı

İzolyatorlar layihələndirildikdə, şoran torpaq zonalarında onların aerodinamik və öz-özünə təmizlənmə xassələri nəzərə alınmalıdır. Məlumdur ki, çirklənmə ən çox izolyatorların elə hissələrinə yığılır ki, orada havanın sürəti sıfır olsun və ya burluğanlı hərəkət olsun. Buna görə də küləklə yaxşı sovurulan, eninə qabırğaları və dərin batıqları olmayan, hamar və sığallı izolyator səthləri daha üstündürlər. Son zamanlar hamar və konik səthə malik olan izolyator səthləri layihələndirilmişdir. Cədvəl 2.3.2 -də asma xətt izolyatorlarının texniki parametrləri verilmişdir.

Atmosfer çirklənmələri şəraitində izolyasiyanın seçilməsi və istismarına aid baş göstərişlər tərtib edilir. Atmosferin çirklənməsi altı dərəcəyə bölünür.

Elektrik qurğu və aparatların çirklənmə mənbəinə nəzərən yerləşməsinə, çirklənmənin keyfiyyət və kəmiyyətinə görə ərazilər müxtəlif dərəcələrə bölünürlər. Bu zaman, açıq paylayıcı qurğular və hava xətləri çirklənmə mənbəi olan sənaye obyektlərindən minimal mühafizə məsafələrində yerləşdirilirlər. Çirklənmə mənbəinə 300 m yaxın məsafə maksimal (VII –dərəcə) çirk zonasıdır. Sonra 9000 m aralıqlar müxtəlif dərəcələrə bölünür:- M/9-1000 m-lik məsafə, M/6-1500 m-lik məsafə, M/3-3000 m-lik məsafə kimi zonalara bölünürlər.

Beləliklə rayonların çirklənməsi aşağıdakı xarakteristikalara malikdirlər:  
- 1 dərəcəli çirklənmə - xüsusi təmiz rayonlardır, çirklənmə mənbəindən 9000 m uzaqda yerləşir. Bu rayonlar otlaq və meşə sahələri ilə örtüldüyü üçün orada havaya tozlar və digər təbii çirkləndirici hissəciklər də qalxmır. Bu rayonlarda başqa təbii və sənaye çirklənmə mənbələri də olmamalıdır. 2-ci dərəcəli çirklənmə əkinçilik rayonlarıdır. Həmin rayonlarda torpağın üst qatında az miqdarda ion birləşmələri və qarışıq hissəciklər olur. Kənd təsərrüfatı rayonlarında çoxlu kimyəvi maddələr gübrələr və herbisidlər işlədildiyindən onlar M/6 sənaye zonasına ekvivalent çirklənmə yaradırlar. Çirklənmə zonasının minimal mühafizə məsafəsi M/3 –dən böyük intervallardan uzaqda yerləşən və duz tozları ilə çirklənməyən sənaye rayonları da 2-ci dərəcəli çirklənməyə aid edilir. Orada torpağın üst qatında həll olunmuş duzların miqdarı 0,5 % dən çox olur.

3, 4-cü dərəcəli çirklənmələr - sənaye müəssisələrinin çirkləndirmə dərəcəsinə, duzlu və şoran qatları olan zonaların təhlükəliliyinə görə, açıq paylayıcı qurğular –APQ və hava xətləri –HX -nə yaxın olan su ambarları və hövzələrinə görə təyin olunur.

Çirklənmələri nəzərə almaqla, izolyasiyanın seçilməsində əsas xarakteristika kimi, sızma yolunun xüsusi effektiv uzunluğu- $\lambda$  götürülür. *DÜİST 9920-75*-ə əsasən xarici qurğularda sızma yolunun uzunluğuna görə 3-750 kV gərginlikli elektrik izolyasiya konstruksiyaları üç kateqoriyada hazırlanır: A kateqoriyası-normal səviyyəli, B kateqoriyası-1 ci dərəcəli gücləndirilmiş və V kateqoriyası - xüsusi gücləndirilmiş izolyasiyadır.

Aşağıdakı cədvəl 2.3.2- də *DÜİST 1516.1-76* ya əsasən APQ-da və HX-də işlədilən izolyatorların və onlardan ibarət müxtəlif izolyasiya kateqoriyaları üçün, elektrik avadanlığının xarici izolyasiyasının sızma yolunun xüsusi uzunluqları, kritik taclanma gərginlikləri və forma əmsalları verilmişdir.



Cədvəl 2.3.2

<i>İzolyatorların markası</i>		<i>Elektromexaniki dağdııcı qüvvə, <math>F_d</math> kN·sm</i>	<i>İzolyator, hündürlük <math>H</math>, sm</i>	<i>Diametri <math>D</math>, sm</i>	<i>Sızma yolunun boyu, <math>L_{sız}</math>, sm</i>	<i>Forma əmsalı, <math>K_f</math></i>	<i>Kritik taclanma gərginliyi <math>U_{tac}</math>, kV</i>
<i>Yeni</i>	<i>Köhnə</i>						
PF6 -A	P-4,5	60	17,0	27,0	27,0	0,7	-
P - 7		95	18,5	30,0	31,0	0,72	-
P-8,5		110	20,3	32,0	35,0	0,82	-
P -11		145	21,5	35,0	36,0	0,80	-
PFQ6	HS-2	60	19,8	27,0	41,0	0,95	-
PFQ8	HZ-6	80	21,5	30,0	44,0	0,90	-
PFQ-5A	PR-3,5	50	19,4	25,0	41,0	0,85	-
PF6	PM-4,5	60	14,0	27,0	26,0	0,63	-
PM-8,5		110	18,5	31,5	34,5	0,74	-
PF6-V	PFE-4,5	60	13,9	27,0	32,0	0,80	35
--	PFE-11	145	18,0	32,0	40,0	0,81	40
PF20-A	PFE-16	200	19,0	35,0	42,0	0,82	-
PS6-A	PS-4,5	60	13,0	25,5	25,0	0,62	28
--	PS-8,5	110	15,0	29,0	29,0	0,57	-
PSQ6-IV	PSQ-4,5	60	13,0	25,5	36,0	0,79	-
PF16-A	--	160	17,3	28,0	35,5	1,2*	-
PS12-A	--	120	14,0	26,0	32,5	1,2*	35
PS16-B	--	160	17,0	28,0	38,7	1,2*	40
PS22-A	--	220	20,0	32,0	39,0	1,2*	40
PS30-A	--	300	19,0	32,0	42,5	1,1*	45
PS40-A		400	19,0	33,0	44,5	1,1*	50

\* işarəsi sızma yolunun boyundan istifadə üçün düzəliş əmsəlidir.

### 2.3.3. İstismar şəraitində izolyasiyanın elektrik möhkəmliyinin azalması

Xarici izolyasiyanın əsas xarakteristikası onların istismar şəraitində, atmosfer təsirləri ilə elektrik möhkəmliyinin azalmasıdır. Atmosfer şəraitləri yüksək gərginlik avadanlığının coğrafi yerləşmə şərtindən, yerindən, o cümlədən mövsüm, gündəlik və həmçinin konkret meteoroloji vəziyyətdən asılıdır. Dünyanın bir çox laboratoriyalarında müxtəlif yüksəkliklər üçün təcrübələr aparılmışdır. Nəticədə müxtəlif yüksəkliklərdə  $\delta/k$  nisbəti və yağışlı hava üçün təzyiqa görə  $k_{pyaq}$  düzəliş əmsalları arasında asılılıq tapılmışdır. Açıq atmosferdə, yağışlı havada işləyən izolyatorlar üçün  $k_{pyaq}$  aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$k_{pyaq} = 0,5 \cdot \left(1 + \frac{P}{P_0}\right) \approx \left(\frac{P}{P_0}\right)^{0,5} \quad (2.3.8)$$

Dəniz səviyyəsindən müxtəlif yüksəkliklər üçün,  $\delta/k$  və  $k_{pyaq}$  arasında hesabat asılılığı aşağıdakı ədədlər sırası ilə verilmişdir:

<i>Dəniz səviyyəsindən</i>					
<i>yüksəklik, m</i> .....	150	500	1000	2000	3000
<i><math>\delta/k</math> nisbəti</i> .....	0,94	0,89	0,84	0,74	0,64*
<i><math>k_{pyaq}</math> yağışlı hava,</i>					
<i>təzyiq əmsali</i> .....	0,985	0,965	0,94	0,89	0,84*

*Göstərilmiş ədədlər sırasında ulduzlu rəqəmlər ekstropolyasiya usulu ilə təyin edilmişlər.*

Verilmiş bu rəqəmlər açıq atmosferdə müxtəlif dəniz səviyyələrində işləyən elektrik avadanlığı və HX-nin xarici izolyasiyasının boşalma gərginliklərinin istismar şəraitində azalmasını göstərirlər. Gətirilmiş rəqəmlər əsasən uzunluğu 1 m - ə qədər olan izolyasiya elementlərinə aiddir. Daha böyük uzunluqlarda onların tətbiqi boşalma gərginliklərinin xeyli artıq ehtiyatla hesablanmasına səbəb olur. Çünki, yuxarıdakı əmsallar təyin edilərkən, elektrodlar arası məsafənin 1 m - dən çox olduğu halda, havanın nəmliyi və nisbi sıxlığının dəyişməsinin göstərdiyi təsirlər nəzərə alınmamışdır.

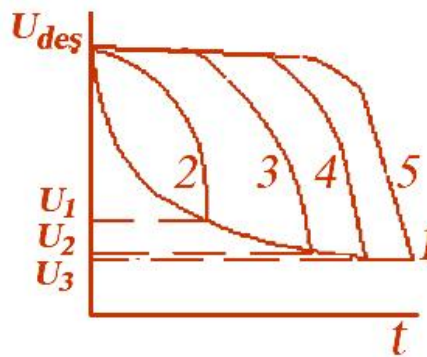
Daxili izolyasiyanın elektrik möhkəmliyinin dəyişməsi əsasən qismi boşalmaların  $QB$  təsirindən baş verir. Bu dəyişməni təsir edən gərginliyin amplitudası və saxlanma müddəti ilə aydın müşahidə etmək olur. Deşilmə gərginliyinin təsir müddətindən asılığını iki usulla təyin edirlər. Birinci usulda izolyasiyaya, müəyyən qiymətli, verilmiş sınaq gərginliyi tətbiq edilir və

deşilmə baş verənə qədər həmin qaydada saxlanılır. Tətbiq edilən bu gərginliyin qiymətini dəyişməklə, alınan elektrikdeşilməsinin zamandan asılılığı çıxarılır. Bu asılılıq çökük əyri şəkilində olur, *şək.2.3.4 1 əyrisi*. Göründüyü kimi, təsirin kiçik saxlanma müddətlərindədeşilmə gərginliyinin qiyməti sürətlə azalır və əksinə uzun müddətlərdədeşilmə gərginlikləri zəif dəyişmə ilə müşahidə edilir.

İkinci üsulda sınaq olunan nümunəyə verilən gərginlik bir müddət saxlandıqdan sonra səlissə olaraq artırılır.

Beləliklə, verilmiş gərginlik altında müəyyən müddət saxlanılan izolyasiya, təzə izolyasiya üçün normaldeşilmə müddətindən daha az zamanlardadeşilir. Belə təsir altındadeşilmə gərginliyinin zaman asılılıqları təyin edilir. Bu asılılıqlar qabarıq 2-5 əyriyə xarakterində olur. Əyriyələrin kəşimə nöqtələri 1 usulu ilə alınandeşilmə gərginliklərinin ordinatlarına uyğun olur.

Ona görə, gərginlik təsirlərindən, elektrik möhkəmliyinin dəyişməsinin analizləri üçün ən çox 1 asılılığı istifadə edilir. Bu təcrübələrdə seçilən saxlanılan sınaq gərginliklərideşilmə gərginliyinin formasına uyğun olu. Lakin,  $U_{deş}=f(\tau)$  asılılığının çıxarışı uzun müddət təcrübələrin aparılmasını tələb edir. Təcrübələr 100 saatlarla vaxt aparır. Təcrübələri sürətləndirmək üçün, saxalanan sınaq gərginliyi, işçi gərginlikdən 3 dəfə böyük götürülür.deşilmə gərginliyinin saxlanma müddətindən asılılıq:-  $U_{deş}=A \cdot \tau^{-1/n}$  kimi dəyişir. Burada  $n$  izolyasiya konstruksiyasının xarakterindən və təsir edən gərginlikdən asılı olan əmsaldır. Bu əmsal izolyasiyanın köhnəlmə xarakterini və yaranan kritik qismi boşalmaların oblastını göstərir. İrəlidə göstəriləcəkdir ki, bu əmsal həm də boşalma ehtimalını ifadə edir. Məsələn, sənaye tezlikli gərginliklərdə kondensator izolyasiyası üçün  $n=4 \div 8$ , yağ-baryer izolyasiyası üçün isə,  $n=55 \div 80$  arasında dəyişir.



*Şək.2.3.4.deşilmə gərginliyinin təsir edən gərginliyin saxlanma müddətindən asılılığı 1-təsir edən gərginliyindeşilməyə qədər saxlandığı hal; 2-5 təsir edən gərginliyin bir müddətdən sonra səlissə olaraq artım halı*

İşçi sahə gərginliyinə yaxın gərginliklərdə meydana çıxan köhnəlmə prosesi ilkin *qismi boşalmalar* və onların kritik qiymətlərə keçməsi ilə bağlı olur.

Qısa müddətli kommutasiya və ya atmosfer impuls gərginlikləri təsir etdikdə bərk izolyasiyada mikroçatlar yaranır. Şüşə, konifol, sellüloid və s. kimi, amorf tərkibli maddələrdə bu çatlar istilikdən əriyərək öz-özünə dolur. Təkrar gərginlik impulsları təsir etdikdə isə başqa yerlərdə yeni çatlar yaranır. Belə dielektriklərdə deşilmə gərginlikləri tətbiq olunan impulsların sayından asılı olmur.

Bir sıra dielektriklərdə isə təkrar impulsar əvvəlki çatlarda boşalmalar yaradırlar. Nəticədə çatlar tədricən genişlənir və impulsların sayı artdıqca izolyasiyanın elektrik möhkəmliyi azalır. Bu hadisə izolyasiyada zədələrin toplanmasına (kumulyasiya) səbəb olur.

### **13. YÜKSƏK GƏRGİNLİK KABELLƏRİ. KABEL MUFTALARI**

#### **13.1.1. Yüksək gərginlik kabelləri və muftalar haqqında ümumi məlumat**

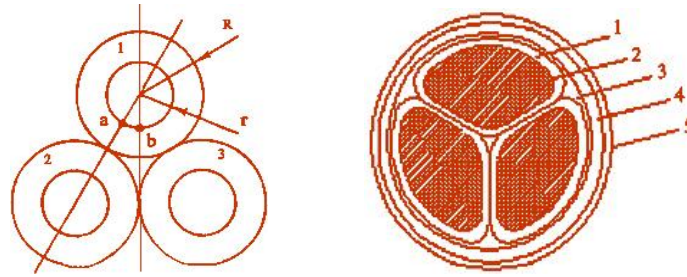
Güc kabelləri izolə edilmiş keçirici damarları, mühafizə örtüyü və xüsusi hallarda lent və ya dairəvi polad məftillərdən ibarət zirehi olan konstruksiyalardır. Kabel muftaları isə, elektrik enerji ötürülməsinin etibarlılığına bilavasitə təsir edən və ən çox istifadə olunan, vacib izolyasiya qovşağıdır. Yüksək gərginlikli kabellər istehsal edilərkən, zavod avadanlığının texnoloji xarakterinə uyğun olaraq müəyyən *tikinti uzunluqlarında* buraxılırlar.

Elektrik xəttləri kabel və kabel armaturları ilə qurulur. Kabel armaturları aşağıdakı 4 qrupa bölünür:

- a) binada və açıq atmosferdə montaj edilən kabellərin sonluq armaturları,
- b) kabellərin müxtəlif tikinti uzunluqlarını öz aralarında birləşdirən muftalar,
- c) kabel xəttlərinin seksialaşdırılması və ya yağ durdurucu muftalar,
- e) kabel xəttlərində yağın və ya qazın təzyiqini verilmiş həddlərdə saxlayan təzyiq armaturları.

Kabellər və onun elementləri bütövlükdə yüksək elastikliyə və çevikliyə malik olmalıdırlar ki, onlar barabanlara asanlıqla sarınıb-açılsınlar. Barabanlarda kabellər rahat daşır və çəkilişləri asan olur. Çəkiliş zamanı kabellərin ayrı-ayrı tikinti uzunluqları *birləşdirici muftalar* vasitəsi ilə birləşdirilir. Duru yağla soyudulan kabellərin çəkiliş trasında relyef fərqi olduqca yağın aşağı axmasını və müəyyən uzunluqlar arasında yağın təzyiqini

saxlamaq üçün, seksiyalaşdırıcı (yağ durducu) muftalar istifadə edilir. Şəkildə ənənəvi konstruksiyalı damar, damar və qurşaq izolyasiyasına malik olan 6-35 kV gərginlikli güc kabellərinin görünüşü verilmişdir Şək.13.1.1. Dəyişən gərginlik hava və kabel xəttləri bir tərəfdən yarımstansiya avadanlıqları və digər tərəfdən işlədicilərə birləşdirilərək şəbəkə yaradırlar. Yüksüz rejimdə sabit elektrik sahəsində kabellərin işi, dəyişən gərginlik kabellərin elektrik sahəsinə oxşayır.  $KX$  – də elektrik, parametrləri əsasən tutum və keçiricilikdən ibarət sxem kimi götürülür.



*Şək.13.1.1. Ənənəvi formalı, üç damarlı 6-35 kV kabellərin izolyasiya hesabat sxemi və konstruksiyası*

Lakin, damarların Coul itkisi hesabına qızması, izolyasiyanın xüsusi elektrik keçiriciliyini radiusdan asılı olaraq dəyişdirir. Temperaturun müəyyən intervallarda artımı kabellərin plastmass izolyasiya keçiriciliyinin eksponensial qanunla artmasına səbəb olur. Kağız izolyasiyalı kabellərdə isə keçiricilik temperaturdan asılı olaraq dəyişmir. Kabellər gərginlik sinfi, konstruksiyası və təyinatlarına görə bir çox qruplara bölünür. Məlumdur ki, telefon, kompüter, yanqın həyəcan siqnalı, kamera və televiziya siqnalları üçün olan kabellər və digərləri zəif cərəyanlı, yüksək tezlikli kabellər qrupuna aiddirlər. Onlarda tələb olunan əsas texniki parametr siqnalların faza dəyişməsi və sönməsinin minimal həddlərdə olmasıdır. Bu parametrlər həmin kabellərin seçilən xüsusi izolyasiyası, damarları, ekranlar və digər konstruktiv xassələri ilə əldə edilir.

### **13.1.2. Kabel xəttləri. Kabellərin təsnifatı və markaları**

Dəyişən gərginlikli HX-nə nisbətən yüksək gərginlikli kabel xəttləri az istifadə edilir. Azərbaycanda vaxtı ilə yalnız bir ədəd, iki dövrəli, 21 km uzunluğunda 110 kV (Dağlıq-Müşfiq yarımstansiyaları arasında), yağ doldurulmuş kabel xətti ilə enerji ötürülməsi reallaşdırılmışdı. Bu kabel kağız

izolyasiyalı, qılafı və zirehli alçaq təzyiqli MNSK markalı kabeldir. İkinci kabel xətti 36 km uzunluğunda olan 35 kV-luq Bakı- Neft daşları magistral xəttidir. Hər iki kabel dairəvi zirehə malik idi. Hazırda Dağlıq-Müşfiq xətti yeni XLPE markalı kabellərlə əvəzlənmişdir.

IEC və VDE 0255 standartlarına görə kağız izolyasiyalı kabellər NAKRA ilə markalanır və ya mis damarlı olduqda NKRA ilə markalanır: *N* – mis damar, *K*- qurğuşun qılaf, *R*- dairəvi zireh, sonuncu *A*-bitumlu jqut mühafizə örtüyünü göstərir. Plastik izolyasiyalı Polivinixlorid (Protodur –PVC hərfi işarəsi *Y* ilə yazılır İnsulation) və ya Polietilen (Poliyester-PE işarəli) kabellər isə, VDE 0271 standartı ilə *NYHSY- S hərfi mis ekran olduğunu göstərir*. Kabel zirehli olduqda *NYHFGbY* ilə markalanırlar. *N*-kabelin mis damarlı, *Y*- izolyasiyanın polivinixlorid, *H*-damarın üstündə elektrik sahəsinin bərabərləşdirici ekranı olduğunu, *F*-qalvanizli, lent şəkilli polad zireh, *Gb*-yastı polad zirehi, sonuncu *Y* –PVC şlanq olduğunu göstərir. *NAKBA* markası damarın aliminum, izolyasiyasının isə hopdurulmuş kağız olduğunu, *K*-qurğuşun qılaf, *B*-lent şəkilli polad zireh, *A*-bitumlu cqut mühafizə örtüyü olduğunu göstərir. *NAKBY*- markası da eyni ilə oxunur, lakin sona yazılmış *Y* üst mühafizə örtüyünün *PVC* olduğunu göstərir. Ruslarda istehsal edilən, bunlara uyğun orta 6(10) kV və yüksək 35-110 kV gərginlikli güc kabellərinin markalanması aşağıda verilmişdir.

Elektrik şəbəkələrində enerjinin, mənbədən nisbətən az uzaqlıqda olan işlədicilərə ötürülməsi üçün, güc kabelləri istifadə edilir. Texniki-iqtisadi səmərəsi üçün bu kabellər həm gərginliyin, həm də cərəyanın kifayət qədər yüksək qiymətlərinə hesablanır. Onlar bir və ya bir neçə cərəyan keçirici damarlardan ibarət olurlar. Damarlar biri-birindən və yerdən xüsusi tərkibli dielektrik materiallarla izolə edirlər. İzolə edilmiş damarlar əlavə olaraq qurşaq izolyasiyası ilə qurşadılır. Kabellər və onun bütün elementləri kifayət qədər çevikliyə malik olmalıdır ki, daşınan zaman onları barabana sarımaq, xətti işlədikdə isə düzgün olmayan trasda asanlıqla çəkmək mümkün olsun. Ona görə güc kabellərinin damarları çoxlu sayda burulmuş naqillərdən hazırlanır.

Hesabatlarda əvvəlcə təxmini olaraq verilən cərəyana və ya yükə görə kabellərin damarlarının en kəsiyi təyin edilir. Plastik və rezin izolyasiyalı kabellər üçün :

$$S = 0,02 \cdot I^{1,6} \quad (13.1.1)$$

Plastik izolyasiya amorf maddə olduğundan onların dəqiq ərimə temperaturu yoxdur və qızdırıldıqca yumşalaraq tədricən əriyirlər. Plastik izolyasiyalı kabellərin işçi temperaturları (70-80<sup>0</sup> C) kağız izolyasiyaya nisbətən (50-65<sup>0</sup> C)

böyük olur. Rezin izolyasiyalı kabellər isə, 65 °C işçi temperaturasına malukdirlər.

Kağız izolyasiyalı kabellər üçün damarın en kəsiyi :

$$S = 0,012 \cdot I^{1,6} \quad (13.1.2)$$

Təxmini hesabatlardan sonra isə, standartlara görə olan yaxın ölçülər qəbul edilir.

Cərəyan keçirən damarların çəkisi, çəkiliş zamanı və ya barabana sarındığı zaman yaranan dartı qüvvələri kabellərin izolyasiyasına təsir edir. Ona görə kabel izolyasiyasına çevikliklə yanaşı, yüksək mexaniki möhkəmlilik də lazımdır. Kabelin izolyasiya elementi və onun qalınlığı, onlarda deşilmə gərginliyinə qarşı olan elektrik möhkəmliklərinin, istimdarda yarana bilən ən böyük təsir edici sahə gərginliyindən yüksək olması şərtindən təyin edilir.

Onların üzərindən metal və ya plastik qılaf, zireh, mühafizə örtükləri və s. kimi konstruktiv elementlər çəkilir. Çəkilmiş əlavə elementlər kabellərə müxtəlif təyinatlarda istifadə etməyə imkan verir. Məsələn, zirehlər ağır mexaniki şərtlərdə, ağır texnikanın intensiv hərəkəti olan yerlərdə, sualtı çəkilişlərdə, kimyəvi aqressiv mühitdə və s.-də lazım olan bir elementdir. Qılaf kabel izolyasiyasının keyfiyyətini saxlayan, yağın axmasını əngəlləyən, tərkibin stabilliyini təmin edən bir konstruksiya elementidir. Konstruksiyanın bu əsas elementləri ilə yanaşı kabellərdə əlavə *sıfır və torpaqlama naqilləri, doldurucu və kipləşdirici* kütlə, *ekranlar* və s. də olur (şək.13.1.1 a), b), c). Dörd damarlı kabellərin əsas faz damarları şək.13.1.1 c) sektor, dairəvi və seqment formalı ola bilər. Cərəyan keçirici damarların əsas funksiyası faz cərəyanlarını keçirmək və lazımi enerjini daşımağa xidmət edir. Sıfır damarlarından isə, fəzlər qeyri bərabər yükləndiyi halda yaranan əsas faz cərəyanlarının fərqi keçir. Ona görə sıfır damarının en kəsiyi əsas damarların yarısına bərabər götürülür. Sıfır damarları cərəyan mənbəinin neytralına birləşdirilir. Damarlarda olan tək telli məftillərin sayı və ölçüləri en kəsiyinə görə təyin edilir. Məsələn, en kəsiyi 25, 35, 50, 70 mm<sup>2</sup> olan damarlarda əvvəlcə 6 ədəd paralel məftil onların üzərindən isə, 12 ədəd bir qat burulmuş məftil çəkilir. En kəsiyi 95, 120 mm<sup>2</sup> olan damarlarda özəkdə 7 ədəd burulmuş məftil üzərindən isə 15 ədəd bir qat burulmuş məftillər gedir. 150 mm<sup>2</sup> və daha yüksək en kəsiyi olan damarlarda özəkdə yenə də 7 ədəd burulmuş məftil, ətrafda isə, iki qat burulmuş 15 ədəd məftil çəkilir. 95-120 mm<sup>2</sup> olan damarlarda xaricə çəkilmiş məftillərin en kəsiyi dəyişdirilə bilər. 150 mm<sup>2</sup> və böyük olan damarlarda isə məftillərin en kəsikləri dəyişmir.

Torpaqlama mühafizəsi üçün olan damarlar kabeldə köməkçi elementlər kimidir. Onlar elektrik qurğularının gərginlik altında olmayan metal gövdələrinə və cərəyan mənbələrinin mühafizə torpaqlaması olan konturuna

birdirilir. Yüksək gərginlikli avadanlıqlarda izolyasiyanın elektrik möhkəmliyinə qoyulan tələbatlar, güc kabellərinə də tətbiq edilir. İzolyasiyanın elektrik möhkəmliyi artdıqca kabelin izolyasiya qalınlığını azaltmaq mümkündür. Bu zaman istilik ötürmə yaxşılaşır, buraxıla bilən cərəyanın qiyməti artır və kabel daha çevik olur. Bu zaman, həm də kabelin hazırlanmasına çəkilən xərclər, metallik qılaf, zireh və mühafizə örtüyü üçün olan material sərfiyyatı da azalmış olur.

*Ekranlar* kabeldə elektrik sahəsinin bərabərləşdirilməsi və elektromaqnit dalğalarının kabeldən çıxaraq, xarici dövrələrə göstərdiyi təsirləri aradan qaldırmaq üçün istifadə edilir. *Doldurucular* kabelin konstruktiv elementlərinin arasını dolduraraq, kabelə lazımi görünüş vermək, mexaniki möhkəmliyi artırmaq və hermetikliyi təmin etmək üçün istifadə edilir. *Qılaflar* kabelin daxili elementlərini xarici təsirlərdən, kimyəvi aqressiv təsirlərdən və nəmlənmədən qoruyurlar. *Mühafizə örtükləri* kabel qılaflarını xarici təsirlərdən və nəmlənmədən qoruyur. 10-35 kV gərginlikli qılaflı və zirehli kabellər montaj zamanı xəndəkdə diametrlərinin müəyyən misli qədər olan bir radiusla ( $R=15\div 25d$ ) döndərilə bilər. Çünki daha kiçik radiuslarla əylmə zamanı kabelin yağ-kağız izolyasiya sarğıları daxildə sıxlaşar, xaricdə ayrılaraq izolyasiya bircinsliliyi poza bilər. Al və ya qurğuşun qılaf işə, qatlanaraq büzüşürlər. Kabellərin azan cərəyanlar, zəmin korroziyalarından mühafizəsi EQQQ və DÜİST 9.015-74 və TSN–(texniki sanitariya normalar) əsasən qoyulan tələbatlara uyğun olmalıdır.

Dairəvi damarlı qurşaq izolyasiyalı üçfazlı kabellərdə 1 və 2 damarları arasında gərginlik xətt gərginliyinə  $-U_x$  bərabər olduqda, ən böyük ESG fa nöqtəsində meydana çıxacaqdır. 1 damarında faz gərginliyi  $U_f$  –nə bərabər olduğu halda 2 və 3 potensialları  $0.5 U_f$  olacaqdır. Bu halda ən böyük sahə gərginliyi b nöqtəsində olacaqdır.

Maksimal sahə gərginliyi aşağıdakı formula ilə hesablanır:

$$E_{maks} = U_x \cdot \left( \frac{1}{2\Delta} + \frac{0.18}{r_0} \right) \quad (13.1.3)$$

burada  $\Delta=R-r_0$ , mm;  $U_x$ -xətti gərginlik , kV;  $r_0$ - damarın radiusu, mm;  $E_{maks}$ -elektrik sahə gərginliyi, kV/mm.

A nöqtəsində olan maksimal sahə gərginliyini kabel qılaflarının təsirini nəzərdən atmaqla paralel silindrlər arasında elektrik sahəsinin tənliyi ilə hesablayırlar:



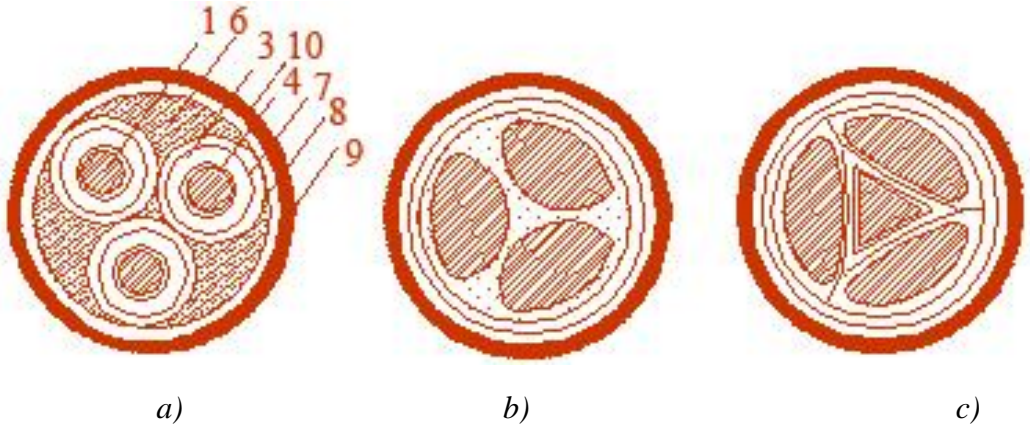
$$E_{a \max} = \frac{U \sqrt{\frac{N+1}{N-1}}}{2r_0 \ln \left( \sqrt{N+1} + \sqrt{N^2-1} \right)} \quad (13.1.4)$$

Burada  $N=R/r_0$ -kimi qəbul edilmişdir.

Yüksək gərginliklərdə *dərəcələnməmiş* izolyasiya tətbiq edilir. Bu kəbellər, dielektrik nüfuzluluqları fərqli olan iki qat izolyasiyadan hazırlanır. Qatlarda elektrik sahə gərginliyi radiusun artması ilə azalır. Bu səbəbdən radiusun artması ilə kağızın qalınlığı artırılır, dielektrik nüfuzluluğu isə azaldılır. İzolyasiyanın qalınlığı aşağıdakı formula ilə hesablanır:

$$N = \frac{R}{r_0} = kf \cdot e^{\frac{1}{k} \left( \frac{U}{r_0 E_{1h}} - \ell n f k \right)} \quad (13.1.5)$$

burada  $r_1 = fkr_0$ ,  $k = \varepsilon_1/\varepsilon_2$ ,  $f = E_{1h}/E_{2h}$  ifadələrindən təyin edilir.



Şək.13.1.3. Güc kəbellərinin en kəsiyi a), b) ayrı-ayrı qılafı və qurşaq izolyasiyası olan 3 damarlı kəbellər; c) 4 damarlı sektor formalı və üçbucaq formalı sıfır damarı olan kəbelin en kəsiyi

Kəbelin konstruksiyasından asılı olaraq ortüklərin tərkibində daxili yastıq, zireh örtüyü və xarici örtük kimi elementlər olur. Markalanmada kəbellərə müxtəlif hərfi işarələr verilir. Bu hərfi işarələrin sırası ilə onların ifadə etdikləri parametrləri cədvəl 13.1.1. –də verilmişdir.

*Kağız və plastik izolyasiyalı kabellərin konstruksiya elementlərinin və materiallarının hərfi işarə və indekslərinə aid cədvəl*

*Cədvəl 13.1.1*

<i>İndeks</i>	<i>Kabelin markasında indeksin yeri</i>	<i>İndeksin təyinatı-damar, izolyasiya, qılaq, zireh altı yastıq, zireh, xarici örtük sırası ilə oxunur</i>	<i>Kabelin markası, və standartı TSE –Türk, QOST-Rus, BS-İngilis, VDE- Alman, İEC-Beynəlxalq</i>
<i>A</i>	<i>QOST I yerdə, İEC və BS standartı ilə II-ci yerdə</i>	<i>Aluminium Damar</i>	<i>AABlu- lent zireh, AAŞVu vinil şlanq,u- mülayim iqlim NAKRA</i>
<i>Yoxdur</i>	<i>- N-Zirehsiz (Not street), Ruslarda Q-qolty işarəsi sonda yazılır- VVQ və ya AVVQ.</i>	<i>Mis</i>	<i>AblU, SBU, VVQ-(Rus marka QOST) NVV, NYM-PVC izolyasiyalı YXV, YXZ2V-XLPE izolyasiyalı (TSE-9760,VDE-0250,BS-6004, İEC-60227)</i>
<i>Oj (IEC-standart-A hərfi)</i>	<i>İşarənin sonunda</i>	<i>Tək damarlı</i>	<i>AABLU3x120 (oj) (IEC-standartı ilə –NYAF kimi işarələnir</i>

Hesabatlar həm 50 Hs sənaye tezlikli hesabat gərginliklərinə və impuls hesabat gərginliklərinə görə aparılır. Burada  $k=k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4$  layihələndirilən kabel izolyasiyasının qalınlığının hesabı üçün gərginlik əmsəlidir:  $-U_{hes} = k \cdot \frac{U_{nom}}{\sqrt{3}}$ . Burada  $k_1$ -işçi gərginliyin

mümkün olan artımlarını nəzərə alır;  $k_2$  – kabel izolyasiyasının deşilmə gərginliyinin orta qiymətlərdən fərqlənməsini nəzərə alır;  $k_3$  – kabel xəttində daxili ifrat gərginliyin səviyyəsini nəzərə alır- 110 kV-a qədər 3.1, 220-330 kV-da 2.8 qəbul edilir;  $k_4$  – yağın təzyiqi azaldıqda deşilmə gərginliyinin azalmasını göstərir.

Bəzən, elektrik sahəsinin radiallığını saxlamaq və kabelin ölçülərini kiçiltmək məqsədi ilə damarları oval şəkilli hazırlayırlar. Oval şəkilli damarın ən böyük ESG –yi ovalın böyük oxunun A nöqtəsi üzərində olacaqdır. Damarın üstündə olan ixtiyari çıxıntı yerli ESG - nin artmasına səbəb olur.

Kabel xətlərində izolyasiya müqaviməti 2500 V – luq meqommetrlə ölçülür. Ölçmə dövrədən açılmış və yükü boşaldılmış KX üçün aparılır. Metal ekranı olmayan, torpaqda çəkilmiş birdamarlı kabellərdə ölçmələr damar və yer arasında aparılır. Havada çəkilmiş bir damarlı kabellər üçün izolyasiya müqaviməti ölçülmür. Metal qılaf, örtük və ya zirehi olan bir damarlı kabellərin izolyasiya müqaviməti damarla onlar arasında ölçülür.

Montaj edilmiş kabellərin açıq ucunu yüksək gərginlik xəttləri və avadanlıqlara bağlamaq üçün *sonluq muftaları* istifadə edilir. Yüksək gərginlikli muftaların iki əsas konstruksiya hissəsi:- *xarici və daxili izolyasiya elementləri* vardır. Xarici izolyasiya farfor gövdədən, daxili izolyasiya isə, yağ-kağız sarğılı içlikdən ibarətdir. Gərginlik sinfindən asılı olaraq, daxili izolyasiya adi, hopdurulmuş kağız sarğılı və kondensator köynəkli sarğılar kimi hazırlanırlar. Kondensator tipli izolyasiyanın çəkiliş yerində sarınması zamanı oraya atmosferdən çirk (toz) düşməsi və nəmliyin nüfuz etməsi nəzərə alınmalıdır.

### 13.1.3. Yüksək gərginlikli kabel muftalarının elektrik hesabı

Yüksək gərginlikli kabelləri zavodlarda istehsal edərkən, avadanlığın və texnoloji prosesin xüsusiyyətlərinə uyğun olaraq müəyyən tikinti uzunluğunda buraxırlar. Kabellər dairəvi barabanlara sarınır və həmin vəziyyətdə çəkiliş yerlərinə gətirilir. Çəkiliş zamanı ayrı-ayrı tikinti uzunluqları bir-biri ilə kabel muftaları vasitəsi ilə birləşdirilir. Kabel xətlərində istifadə olunan muftalar birləşmə yerlərinə və işləmə funksiyalarına uyğun olaraq birləşdirici, dayandırıcı və sonluq muftalarına bölünür.

Birləşdirici muftalar ayrı-ayrı tikinti uzunluqları arasında quraşdırılır. Dayandırıcı muftalar yağ doldurulmuş kabellərdə müəyyən məsafələrdə yağın təzyiqini saxlamaq üçün və müxtəlif hündürlüklü, relyefli traslarda yağın aşağı istiqamətdə axmasını dayandırmaq üçün işlənilir.

Sonluq muftaları kabel xətlərinin sonunda, kabellərin transformator və digər aparatlara girişlərində işlənilir. Sonluq muftaları həm də kabellərin açıq uclarından yağın axmasının və izolyasiyasının çirklənməsinin qarşısını alır.

Konstruksiyasına görə yüksək gərginlik muftalarının iki izolyasiya hissəsi vardır. Xarici izolyasiya: – farfor gövdə, daxili izolyasiya: – yağ-kağız sarğılarından ibarətdir. Gərginliyin qiymətinə görə daxili izolyasiya adi sarğı tipli və kondensator tipli izolyasiyalara malik olurlar. Kondensator tipli yüksək gərginlikli muftaların izolyasiyasının hesablanması və layihələndirilməsi zamanı onların bir sıra xüsusiyyətləri nəzərə alınmalıdır. Bunların birincisi kabel izolyasiyasına nisbətən muftaların əl ilə montaj edilməsi ilə izah edilir. Kabel xətlərinin çəkiliş və ya təmiri zamanı çöl şəraitində montaj edilərkən atmosferdən izolyasiyaya tozlar və su buxarları düşməsi ehtimalı çox olur. İkincisi, muftalarda qeyri-bərabər elektrik sahələrinin və izolyasiyanın müxtəlif hissələrində tangensial elektrik sahə gərginliyinin (ESG) yaranmasıdır. Daxili izolyasiyası yağla hopdurulmuş kağız lent izolyasiyasından sarınmış

muftalarda tangensial elektrik möhkəmliyi, radial istiqamətdə elektrik möhkəmliyindən bir neçə dəfə az olur. Ona görə tangensial elektrik sahəsinin yaranması arzuolunmaz haldır.

Kabel və kabel muftalarının izolyasiyasının hesabları üçün verilmiş əsas parametrlər, gərginliyin hesabat qiyməti  $U_h$  və izolyasiyada elektrik sahə gərginliyidir ( $ESG$ ) –  $E_h$ . Mufta izolyasiyasının hesabı radial və tangensial  $ESG$  ilə aparıldığından, onlarda  $ESG$ -nin iki qiyməti radial və tangensial hesabat qiymətləri ( $E_{hr}$ ,  $E_{h\tau}$ ) təyin edilir.

Muftalarda gərginliyin hesabat qiyməti, bütün kabel xəttinin etibarlı işi nəzərə alınmaqla təqribi seçilir.

Bu şərt daxilində sonluq muftaların daxili izolyasiyasının elektrik möhkəmliyi, farfor çarxlardan ibarət xarici izolyasiyasının elektrik möhkəmliyinə nisbətən böyük olmalıdır.

$$U_h \approx (1,05 \div 1,1)U_{far.sm} \quad (13.1.7)$$

burada  $U_{far.sm}$  – farfor izolyatorun sınaq gərginliyidir.

Muftalarda hesablar impuls sınaq gərginliyinin bütöv dalğası üçün aparılır. Hesabat gərginliyi və farforun sınaq gərginliyinin (13.1.7)-də verilmiş münasibəti daxili izolyasiyasının elektrik möhkəmliyinin xarici izolyasiyasının elektrik möhkəmliyindən çox olduğunu göstərir. Bu ifadəyə görə, elektrik boşalması zamanı onların qövslə bürünmə ehtimalı farfor çarxının xarici səthi üzrə daha çox olar.

Muftaların izolyasiya sarğılarının elektrik möhkəmliyi kabelin elektrik möhkəmliyinə bərabər götürüldüyündən hesabat gərginliyi də kabellərdəkinə bərabər qəbul edilir.

Cədvəl 13.1.2 -də normal izolyasiya səviyyəsinə görə layihələndirilmiş farfor izolyatorların impuls və sənaye tezlikli sınaq gərginlikləri verilmişdir. Kabellərdə hesabat gərginliklərinin seçilməsi cədvəl 13.1.2-də göstərilmişdir.

Hesabat gərginliyi seçilərkən istismar müddətində kabellərə daxili və atmosfer (xarici) gərginliklərinin təsiri, kabelin uzunluğu boyu sarıman izolyasiya kağız lentləri arasında müxtəlif ölçüdə boşluqlar (qat aralıqları) olması, onların müxtəlif qatlarda üst-üstə düşmələri, defektləri və qabarcıqları olması nəzərə alınmalıdır. Ona görə kabel izolyasiyası seçilərkən sənaye tezlikli hesabat gərginliyi və impuls hesabat gərginliklərini müəyyənləşdirmək lazımdır. Çünki izolyasiyanın layihələndirilməsi hər iki gərginliyə əsasən yoxlanılır.

Hesabat gərginliyini təyin edən müxtəlif xarici amillər və defektlər uyğun əmsalların köməyi ilə nəzərə alınır. Sənaye tezlikli hesabat gərginliyi aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$U_{h\sim} = k_1 k_2 k_3 k_4 \frac{U_{nom}}{\sqrt{3}} \quad (13.1.8)$$

burada  $U_{nom}$  – kabel xəttinin nominal gərginliyidir,  $k_1$  əmsalı mümkün olan ən böyük işçi gərginliyi təyin edir. Cədvəl 13.1.3 -də müxtəlif gərginlik sinifləri üçün  $k_1$  və  $U_{an.b.iş}$  verilmişdir.  $k_2$  əmsalı layihələndirilən izolyasiyanın elektrik möhkəmliyinin real orta qiymətlərdən fərqi göstərir. Təcrübədə kağız lentlərin aralıqları statistik qanunauyğun şəkildə paylanır. Bu səbəbdən, kabel izolyasiyasının deşilmə gərginliyi 15÷20% hədlərində dəyişə bilər. Bunlardan əlavə əzilmə, bükülmə və kabelin hazırlanma texnologiyasının qeyri-mükəmməlliyi ilə yaranan başqa defektlər elektrik möhkəmliyini 10÷25% azaldır.

*Muftalar və aparatların xarici izolyasiya gövdələrinin hesablanması aid  
Cədvəl 13.1.2*

<i>Sənaye tezlikli sınaq gərginliyi, kV</i>	<i>İmpuls sınaq gərginliyi, kV</i>
---	------------------------------------

Ayrılıqda sınaq olunan farfor izolyator üçün, kV	Ayırıcıların bir qütübünün kontaktları açıq olduğu halda aradakı sınaq gərginliyi, kV		Ayırıcıların bir qütübünün kontaktları açıq olduğu halda aradakı sınaq gərginliyi, kV Tam və kəsilməmiş impuls	
	Ayrılıqda sınaq olunan farfor izolyatorlar üçün, kV		tam	kəsilməmiş impuls
3	25	28	44	50
6	32	40	60	65
10	42	53	80	90
15	57	70	105	115
20	68	85	195	280
35	100	130	480	570
110	265	355	660	720
150	340	460	950	850
220	490	675	950	1250
330	630	890	1200	1450
500	800	1225	1600	1800

Deyilənləri nəzərə alıqda  $k_2$  əmsalı üçün 1,25÷1,4 hədlərində qiymətlər seçilir.  $k_3$  əmsalı kabel xətlərinə təsir edən daxili ifrat (kommutasiya) gərginliklərini nəzərə alır. Kabel xətlərinin istismar təcrübələri göstərir ki, onlarda ifrat gərginlik səviyyəsinin qiymətləri cədvəl 13.1.3- də göstərilmiş həddlərdə dəyişir.  $k_4$  əmsalı kabeldə yağın təzyiqinin hesabat qiymətindən ən kiçik buraxıla bilən qiymətinə qədər dəyişməsi halında deşilmə gərginliyinin azalmasını göstərir,  $k_5$  qaz və yağ doldurulmuş kabellər üçün uzun müddətli təsir edən dəyişən gərginliklərdə 1,10÷1,20 hədlərində qiymətlər alır. Beləliklə, yüksək gərginlik kabellərində izolyasiyanın elektrik möhkəmliyinin ehtiyat əmsalı 3,3÷5,0 qiymətləri həddi arasında götürülə bilər.

Elektrik möhkəmliyinin ehtiyat əmsalının aşağı qiyməti, şəbəkənin ifrat gərginliklərindən etibarlı mühafizə olunduğu və yüksək keyfiyyətli izolyasiya materialları işlədildiyi hallarda tətbiq edilir. Hesabat impuls gərginliyi isə aşağıdakı düstur ilə seçilir:

$$U_{h.imp} = K_{im} U_{imp} \quad (13.1.9)$$

burada,  $U_{imp}$  – impuls sınaq gərginliyidir.  $K_{im}$  – əmsalı, izolyasiyanın qeyribircinsliliyi və impulsların sayının artması ilə deşilmədə elektrik möhkəmliyin azalmasını nəzərə alır,  $K_{imp} = 1,10 \div 1,20$ .

Müxtəlif gərginlik sinifi kabel muftalarının elektrik hesablatları üçün gərginliklər cədvəl 13.1.3-də verilmişdir.

Hesabat gərginlikləri üçün  $k_1$  və  $k_2$  düzəliş əmsallarının cədvəli  
Cədvəl 13.1.3

$U_{nom}, kV$	3	6	10	20	35	110	220	330	500	750
$U_{an.b.iş} kV$	3,6	6,9	11,5	23	40,5	126	252	366	525	787
$k_1$	1,15							1,1	1,05	
$k_2$	5,2	4,6	3,8	3,5	3,2	3	2,7	2,5	2,1	

#### 13.1.4. Muftaların elektrik sahə gərginliyinin hesabat qiymətləri

Elektrik sahə gərginliyinin hesabat qiymətləri muftaların yaşama əyrisindən təyin edilir. Təcrübə göstərir ki, dəyişən cərəyan kabel və muftalarında ESG-nin hesabat qiymətləri arasında aşağıdakı asılılıq ödənilir [19]. Sonluq və dayandırıcı muftalar üçün:

$$E_h = 0,5 \cdot E_{hk} = 25, \quad E_t = 0,04E_h \quad (13.1.10)$$

Burada,  $E_{hk}$  – kabel izolyasiyasının maksimal hesabat qiymətidir,  $V$ - birləşdirici muftalar üçün:

$$E_h = 0,6E_{hk}; \quad E_t = 0,04E_h \text{ olur.} \quad (13.1.11)$$

Texniki ədəbiyyatlarda təcrübələrin nəticələrinə əsasən tapılmış müxtəlif tip dəyişən cərəyan muftalarının izolyasiyasında yaranan ESG-nin hesabat qiymətləri cədvəl 13.1.4-də verilmişdir.

Kabellərdən fərqli olaraq dəyişən cərəyan kabel muftalarının elektrik hesabı yalnız sənaye tezlikli gərginlik üçün aparılır. Muftaların impuls gərginliklərə qarşı möhkəmliyinə qoyulan tələblər isə, yüksək olmadığı üçün birinci hesabatlardan ödənilir.

Sabit cərəyan kabel muftalarında ESG-nin hesabat qiymətlərinin seçilməsi, təcrübə nəticələrin az olması üzündən çətinləşir. Təxmini hesabatlar üçün cədvəl 13.1.4-də verilmiş qiymətlərdən istifadə etmək olar.

Sonluq muftaların elektrik hesabında daxili (kağız lentlərin sarğısı) və xarici (fərfor çarxın) izolyasiyasının ölçüləri və onların konstruksiyası təyin edilir. Sonluq muftaları daxili izolyasiyasına görə adi (qeyri kondensator tipli) və kondensator tipli növlərə malikdir § 13.1.5.

*Muftalarda daxili izolyasiyanın buraxıla bilən ESG hesabat qiymətləri  
Cədvəl 13.1.4*

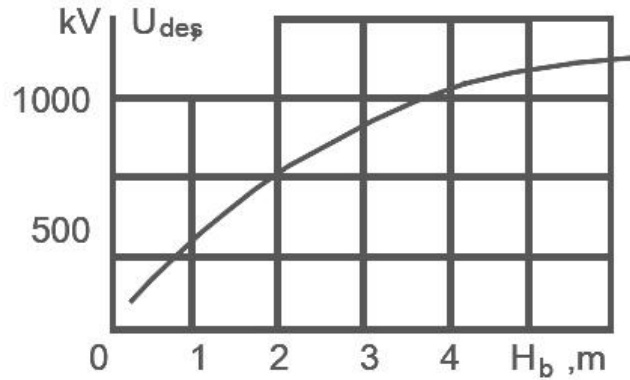
Kabelin tipi	Kabel izolyasiyası ESG-nin hesabat Qiyməti	Muftada ESG-nin hesabat qiyməti, kV/mm			
		Radial		Tangensial	
		Yağ durducu sonluq muftası	Birləşdirici muftalar	Yağ durducu sonluq muftası	Birləşdirici Muftalar
Yüksək təzyiqli yağ doldurulmuş kabel (15 atm)	50	25	30	1	1,2
Aşağı və orta təzyiqli yağlı kabel	30	15	18	0,6	0,7
Qaz doldurulmuş yüksək təzyiqli kabel (15 atm)	15	7,5	9	0,3	0,35

### 13.1.5 Sonluq muftasının xarici izolyasiyasının hesabı

1000 kV –a qədər gərginliklərdə havada işləyən hissədə  $H_{b,f}$ -nin hesablanması (13.1.12) ilə yanaşı, aparat izolyasiyası üçün, təcrübələrdə alınmış aşağıdakı əyrilərin köməyi ilə də yoxlama aparılır Şək.13.1.7.

Farfor çarxının elektrik hesabında məqsəd onun uzunluğunun, qabırğalarının sayı və formasının təyin edilməsidir.

Çarxın uzunluğu onlarda səthi boşalmaların qarşısını alır. Çarxların radial ölçüləri isə, konstruktiv mülahizələrə görə, daxili izolyasiya sargısı və ekranların konstruksiyasından asılı olaraq təyin edilir. Sonluq muftalarının hesablanmasında cədvəl 13.1.5, 13.1.6 və 13.1.7 istifadə edilir.



Şək.13.1.7 Aparatların xarici izolyasiyasının təyin edilməsinə aid boşalma gərginliyinin məsafədən asılılığı.

Farfor çarxların uzunluğu dəyişən cərəyanda boşalma gərginliyinə və standartlarda göstərilən tələblərə görə təyin edilir cədvəl 13.1.5:

Cədvəl 13.1.5

*Quru–təmiz və yağış altında boşalma gərginliklərinin cədvəli*

Smaq Parametri	Gərginlik sinfi, kV		
	110	220	500
Dəyişən cərəyanda quru boşalma gərginliyi $U_{qur.b.}$ , kV	315	610	925
Dəyişən cərəyanda yağış altında boşalma gərginliyi, $U_{yaş.b.}$ , kV	220	430	700

Quru boşalma və yağ (nəm) vəziyyətdə boşalma elektrik gərginliyinə uyğun sonluq muftalarının elektrik hesablarında ESG-nin hesabat qiymətləri aşağıdakı kimi seçilir.

*Müxtəlif kateqoriyalı izolyatorların sızma yolunun boyu:*

$$E_{qur.b.h.} = 0,33 \div 0,43 \text{ kV/mm} \quad (13.1.12)$$

$$E_{yaş.b.h.} = 0,23 \div 0,26 \text{ kV/mm}$$

*Kabel və muftaların elektrik möhkəmliklərinin hesabat cədvəli*

Cədvəl 13.1.6

Gərginlik sinfi, kV	Ən böyük işçi gərginlik, kV	Neytralin iş rejimi	Müxtəlif kateqoriyalı izolyatorların sızma yolunun uzunluğu, sm		
Kabelin tipi	Kabelin elektrik möhkəmliyinin hesabat qiyməti, kV/mm	Muftada radial ESG-nin hesabat qiyməti, kV/mm	Nominal gərginlikdə işləyən muftanın tangensial ESG-nin hesabat qiyməti, kV/mm		
			200	400	600
Alçaq və orta təzyiqli yağ doldurulmuş kabellər	120	60	2,0	1,7	1,2
Özülü hopdurucusu olan kabellər	80	40	2,0	1,7	1,2

Farfor çarxlarının uzunluğu ( $H_{b,f}$ ), farforun səthi üzrə boşalma məsafəsindən 10-15% böyük götürülür. Hesabat gərginlikləri üçün aksial sahə gərginliyinin qiyməti isə 3-3,5 kV/sm qəbul edilir.

Farfor izolyatorun konfigurasiyasının seçilməsində sızma cərəyanının yolunun uzunluğu əsas olur. İzolyatorun səthi üzrə sızma cərəyanının yolunun boyu isə aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir:

*Sızma yollarının uzunluqlarına aid cədvəl*

*Cədvəl 13.1.7*



			A	B	V
3	3,6	Neytral izolə edilmiş	6	9	12,5
6	7,2		12	18	25
10	12		20	30	42
15	17,5		30	45	62
20	24		40	60	84
35	40,5		70	105	140

$$L_{sız} \geq l_{x.ef.uz} U_n \quad (13.1.13)$$

burada,  $l_{x.ef.uz}$  – sızma cərəyanının yolunun xüsusi effektiv uzunluğudur.

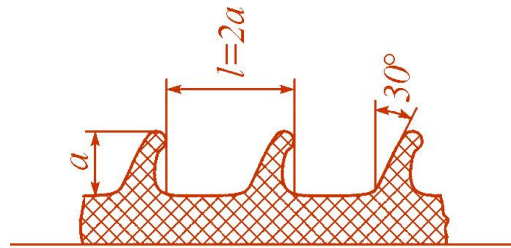
Bu parametr izolyatorların hansı üslubda hazırlanmasından asılıdır. Atmosferin çirklənməsi şəraitinə görə izolyatorlar üç kateqoriyada hazırlanır: A, B, V.

A kateqoriyası – normal hazırlanmış

B kateqoriyası – 1-ci dərəcədə gücləndirilmiş

V kateqoriyası – xüsusi gücləndirilmiş

Bu ətklərin konfigurasiyası və ölçüləri aşağıdakı təkliflərdən təyin edilir şəkl.13.1.8:  $\alpha$  – ətklərin çıxıntı uzunluğu  $a=0,5 \cdot l$ ,  $l$  – ətkələr arası məsafədir.  $a$ -nın  $0,5 l$ -dən çox olması boşalma gərginliyinin qiymətinin artmasına təsir etmir. Adətən  $a$  üçün 50-60 mm götürülür. Buradan qabırğalar arası məsafə üçün 100-120mm götürmək olar. Ətkələrin izolyatorun silindrik səthə nisbətən meyli  $25-30^\circ$  bucaq qədər götürülür. 9920-96 DÜİST-ə əsasən elektrik avadanlığının izolyasiyasının sızma yolunun minimal ölçüləri hər bir kateqoriya üçün təyin edilmişdir.



Şəkil 13.1.8. Farfor çarxlarda ətkələrin konfigurasiyası

a) A kateqoriyasında normal hazırlanmış izolyasiya

b) B kateqoriyasında 1 dərəcədə gücləndirilmiş izolyasiya

v) V kateqoriyası isə xüsusi gücləndirilmiş izolyatordur üçün verilmiş qiymətlərdir.

Hesablandığı gərginlikdən asılı olaraq muftalar, bir və ya bir neçə elementli farfor çarxlardan ibarət olur. Müxtəlif kateqoriyalı izolyatorlar üçün gərginlik siniflərinə aid farfor çarxlarda olan izolyatorların sayı cədvəl 13.1.8-də göstərilmişdir.

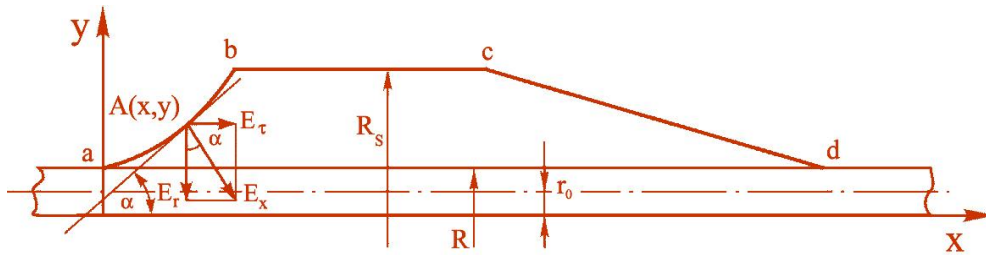
*İzolyatorların kateqoriyalarına uyğun tərkibi və gərginlik sinfinə uyğun sayları cədvəl 13.1.8*

Gərginlik sinfi, kV	Sızma cərəyanının yolu, sm	Muftada çarxların sayı	Elektrik avadanlığının kateqoriyası
---------------------	----------------------------	------------------------	-------------------------------------

110	246	1	A
220	457	2	A
380	803	3	B
500	952	3	A

### 13.1.6. Muftaların daxili izolyasiyasının hesabı

Adi tipli (qeyri kondensator) sonluq muftaları sadə daxili izolyasiyaya malikdir. Kabelin qurtaracağında izolyasiyanı gücləndirmək üçün istifadə olunan bu muftalar üç hissədən ibarətdir: bərabərləşdirici konus ( $ab$ ) – kabelin zavodda hazırlanan izolyasiyasından, səlis olaraq muftanın gücləndirilmiş izolyasiyasına keçid təşkil edir; silindrik hissə ( $bc$ ) və tərs konik hissə ( $cd$ )-dir. Tərs konik hissə, öz növbəsində izolyasiyasının maksimal diametridən səlis olaraq damara keçid təşkil edir şək. 13.1.9.



Şək. 13.1.9. Muftaların daxili izolyasiya konstruksiyaları və hesabat elementləri

Sonluq muftasının hesablanmasında məqsəd onun xarici diametrinin və birləşdirici ( $ab$ ) konusunun forma və uzunluğunun təyin edilməsidir. Silindrik hissənin və tərs konik hissənin ( $cd$ ) ölçülərini sonluğun sarğısının farfor çarxlar içərisinə yerləşdirilməsindən sonra təyin edirlər. Bu zaman muftanın daxilində yaranacaq boşalma prosesi nəzərə alınır.  $cd$  hissəsinin ümumi uzunluğu elə olmalıdır ki, bu sonluq hissələrdə səth üzrə də boşalma yaranmasın. Sarğının diametri  $D_s$  və ya radiusu  $R_s$  radial ESG-nin maksimal qiymətinin hesabat qiymətindən böyük olması şərtindən təyin edilir. Əgər mufta izolyasiyası üçün kabel izolyasiyasının sarğılarında işlədilən kağız istifadə edilərsə, sarğının radiusunu aşağıdakı formuladan hesablamaq olar:

$$E_h = \frac{U_h}{r_0 \ln \frac{R_s}{r_0}}; R_s = r_0 \cdot e^{\frac{U_h}{r_0 \cdot E_h}} \quad (13.1.15)$$

Laplas tənliyinin həllinin (13.1.15) ifadəsi, muftanın oxu istiqamətində potensialın dəyişməsinin nəzərə alınmaması səbəbindən, ESG-nin radial istiqamətindəki hesabatları təqribi nəticələrə gətirir.

Əgər kabel dərəcələnməmiş izolyasiyaya malikdirsə və muftanın izolyasiyası kabelin izolyasiyasının xarici qatındakı kağızdan hazırlanmış olarsa, sarğının radiusu aşağıdakı tənlikdən hesablanır:

$$E_h = \frac{U_h}{r_0 \varepsilon_{r1} \left( \frac{1}{\varepsilon_{r1}} \ln \frac{r_1}{r_0} + \frac{1}{\varepsilon_{r2}} \ln \frac{R_s}{r_1} \right)} \quad (13.1.16)$$

burada,  $\varepsilon_{r1}$  və  $\varepsilon_{r2}$  – daxili radiusları  $r_0$  və  $r_1$  olan hopdurulmuş kağız izolyasiya qatlarının dielektrik nüfuzluqlarıdır.

Bərabərləşdirici konusun uzunluğu və formasını təyin etdikdə muftada tangensial ESG-ni nəzərə almaq lazımdır. Tangensial ESG-nin maksimal qiymətləri izolyasiyanın bərabərləşdirici konusun yerlə birləşdirilmiş ekranla toxunduğu nöqtələrində olacaqdır. Ona görə, bərabərləşdirici konusun  $a$ - $b$  əyrisi, ESG-nin tangensial konusun səthi üzrə sabit qalması və ESG-nin hesabat qiymətini aşmaması ( $E_t < E_h$ ) şərtindən tapılır.  $ab$  əyrisinin səthində ixtiyari  $A(x, y)$  nöqtəsi götürülürsə, həmin nöqtədə ESG-nin tangensial qiyməti üçün yazmaq olar:

$$E_\tau = E_h \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (13.1.17)$$

$A(x, y)$  nöqtəsində radial ESG-nin qiymətini nəzərə alsaq (13.1.17) ifadəsini başqa şəkildə yazmaq olar:

$$E_\tau = \frac{U_h}{y \ln \frac{y}{r_0}} \cdot \frac{dy}{dx} \quad (13.1.18)$$

Dəyişənlərinə ayırdıqdan sonra (13.1.18) ifadəsi aşağıdakı şəkllə düşür:

$$dx = \frac{U_h}{E_\tau} \cdot \frac{dy}{y \cdot \ln(y/r_0)} \quad (13.1.19)$$

İzolyasiyanı bircinsli qəbul edib (13.1.19) ifadəsini inteqralladıqda  $ab$  bərabərləşdirici səthinin əyrisi üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$\int_0^x dx = \frac{U_h}{E_\tau} \int_y^R \frac{dy}{y \ln(y/r_0)} \quad (13.1.20)$$

$$x = \frac{U_h}{E_\tau} \cdot \ln \frac{\ln(y/r_0)}{\ln(R/r_0)}$$

Bərabərləşdirici konusun uzunluğunu  $L_{ab}=x$  təyin etmək üçün (13.1.20) ifadəsində cari  $y$  koordinatı əvəzinə  $R_s$  yazmaq kifayətdir:

$$L_{ab} = \frac{U_h}{E_\tau} \ln \frac{\ln(R_s/r_0)}{\ln(R/r_0)} \quad (13.1.21)$$

Əgər sarğının izolyasiyası sıxlığına görə dərəcələnməmiş kabel izolyasiyasına uyğun olmazsa,  $x$  üçün aşağıdakı ifadə alınır:

$$x = \frac{U_h}{E_\tau} \frac{\varepsilon_{r2} \ln(R/r_0) + \varepsilon_{r1} \ln(y/R)}{\varepsilon_{r2} \ln(R/r_0)} \quad (13.1.22)$$

burada  $\varepsilon_{r1}$  – kabel izolyasiyasının dielektrik nüfuzluluğu,  $\varepsilon_{r2}$  – sarğının izolyasiyasının dielektrik nüfuzluluğudur.

Əgər sarğının izolyasiyası, kabelin dərəcələnməmiş izolyasiyasının son qatının sıxlığına bərabər kağızdan hazırlanırsa, (13.1.21) ifadəsini aşağıdakı şəkildə yazmaq olar:

$$x = \frac{U_h}{E_\tau} \ln \frac{\varepsilon_{r2} \ln(R/r_0) + \varepsilon_{r1} \ln(y/r_1)}{\varepsilon_{r2} \ln(r_1/r_0) + \varepsilon_{r1} \ln(R/r_1)} \quad (13.1.23)$$

Nəhayət, sarğı üçqatlı və müxtəlif sıxlıqlı ( $\varepsilon_{r1}$ ,  $\varepsilon_{r2}$ ,  $\varepsilon_{r3}$ ) kağız izolyasiyasından təşkil olunarsa,  $x$  üçün aşağıdakı hesabat düsturu alınır:

$$x = \frac{U_h}{E_r} \ln \frac{\varepsilon_{r2}\varepsilon_{r3} \ln(r_1/r_0) + \varepsilon_{r1}\varepsilon_{r3} \ln(r_2/r_1) + \varepsilon_{r1}\varepsilon_{r2} \ln(y/r_2)}{\varepsilon_{r2}\varepsilon_{r3} \ln(r_1/r_0) + \varepsilon_{r1}\varepsilon_{r3} \ln(r_2/r_1)} \quad (13.1.24)$$

Əgər üçüncü qatın daxili radiusu, kabelin zavod izolyasiyasının xarici radiusuna uyğun olarsa, (13.1.20) ifadəsində  $y=R_2$  yazırlar.

### 13.1.7. Kondensator tipli daxili izolyasiyanın hesabatı

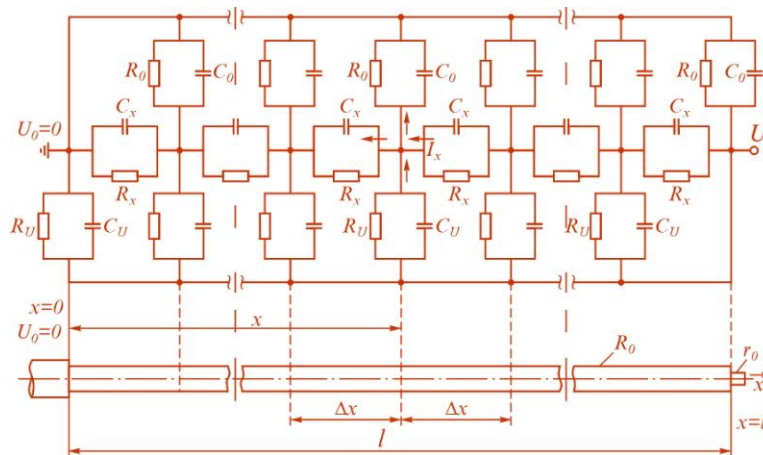
Sonluq muftasının kondensator tipli daxili izolyasiyasını hesablamaq üçün şəkl. 13.1.10-da verilmiş elektrik əvəz sxemi istifadə edilir. Elektrik sahəsinin tənzimlənməsinə xidmət edən kondensator köynəkləri yerə, bir-birinə və damara nəzərən tutumlar yaradır. Alınmış tutumların  $k$  elementi üçün aşağıdakı tənlikləri yazmaq olar:

$$\begin{cases} \frac{dU_k}{dx} = \frac{i_{k(k+1)}}{\omega C_{k(k+1)}} \\ \frac{di_{k(k+1)}}{dx} = \omega C_k (U_k - U) + \omega C_0 U_k = \omega U_k (C_k + C_0) - \omega C_k U \end{cases} \quad (13.1.25)$$

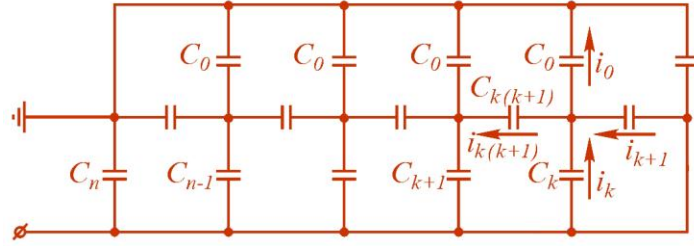
(13.1.25) sistem tənliyini həll edərək, aşağıdakıları alırlar:

$$\frac{d^2 U_k}{dx^2} = a^2 U_k - A \quad (13.1.26)$$

$$a^2 = \frac{C_k + C_0}{C_{k(k+1)}}; \quad A = \frac{C_k}{C_{k(k+1)}} \cdot U$$



Şəkl.13.1.10. Kondensator tipli daxili izolyasiyanın tutum elementləri



Şək.13.1.11. Kondensator sarğılarının elektrik əvəz sxemi.  $C_0$  – yerə nəzərən,  $C_k$  – damara,  $C_{k(k+1)}$  – köynəklərinin biri-birinə nəzərən tutumları

(13.1.27) differensial tənliyinin həlli aşağıdakı ifadəni verir:

$$U_x = \frac{U}{(C_k + C_0)sh al} \left[ \int_0^x sh ax - C_k sh a(l-x) + C_k sh al \right] \quad (13.1.27)$$

(13.1.27) ifadəsini  $x$  - ə nəzərən differensialladıqda elektrik sahə gərginliyinin aşağıdakı  $x$  - dan asılılıq funksiyası alınır:

$$E(x) = -\frac{aU}{(C_k + C_0)sh al} \left[ \int_0^x ch ax + C_k ch a(l-x) \right] \quad (13.1.28)$$

Axırıncı ifadədən görünür ki, muftanın montajı üçün açılmış (soyulmuş) kabel damarının uzunluğu boyu ESG-nin bərabər paylanması  $al \leq 0,5$  olduqda mümkündür. Doğrudan da bu halda  $sh al \cong al$  və  $U_x = \frac{U}{l} x$  götürülə bilər. Bu şərtlərdə isə ( $al \leq 0,5$ ) qiyməti ödəyir.

$$l \sqrt{\frac{C_k + C_0}{C_{k(k+1)}}} \leq 0,5 \quad \text{- alınır} \quad (13.1.29)$$

$$\text{və ya } C_{k(k+1)} \geq \frac{C_k + C_0}{0,25} l^2 \quad (13.1.30)$$

olduqda ödəyə bilər:

Lakin (13.1.30) formulu ilə hesablanan tutumlar çox böyük ola bilər. Kondensatorların tutumunun azaldılması isə muftada uzununa elektrik sahəsinin təhrif olunmasına səbəb olur. Tutumların müəyyən hədlərdə azaldılması zamanı, buraxıla bilən minimal qiymətləri, torpaqlanmış sonuncu köynəyin kənarında yaranan elektrik sahə gərginliyinin maksimal qiymətinin izolyasiyada ESG-nin tangensial təşkiledicisindən böyük olmaması şərtindən tapılır. (13.1.28) tənliyindən  $x=0$  olduqda  $E_x = -aU \cdot cth al$  və ya  $E_x = aU$  ( $al \geq 2, cth al \cong 1$ ) alınır.

Onda ,

$$C_{k(k+1)} > \frac{(C_k + C_0)U^2}{E_r^2} \quad (13.1.31)$$

olacaqdır.

Beləliklə kondensatorların tutumları aşağıdakı kimi seçilə bilər:

$$\frac{(C_k + C_0)U^2}{E_r^2} \leq C_{k(k+1)} \leq \frac{(C_k + C_0)l^2}{0,25} \quad (13.1.32)$$

Muftanın uzunluğu boyu ESG-nin bərabərliyini eyni kondensatorların birləşdirilməsi ilə yanaşı, müxtəlif kondensatorların tutumlarının müəyyən qanunauyğunluqla dəyişdirilməsi ilə də almaq olar.

Doğrudan da (13.1.25) tənliklər sistemindən  $E = \frac{dU_x}{dx} = \frac{U}{E}$  şərtində  $x=0$  olduqda,

$$U_x = \frac{U}{l} x, \quad \frac{di_{k(k+1)}}{dx} = 0 \quad \text{və} \quad C_{k(k+1)} = C_{01} \quad (13.1.33)$$

$$C_{k(k+1)} = C_{01} + \frac{(C_k + C_0)x^2}{2} - C_k l x$$

və ya hündürlüyü  $h$ , tutumu  $C_{k(k+1)}$  olan  $n$  element üçün

$$C_{k(k+1)el} = C_{01el} + \frac{(C_{k21} + C_{0el})\kappa^2}{2} + C_{kel}nh$$

$$C_{k(k+1)el} = \frac{C_{k(k+1)}}{h}, \quad C_{01el} = \frac{C_{01}}{h} \quad (13.1.34)$$

$$C_{kel} = hc_k, \quad C_{0el} = hc_0$$

götürülmüşdür.

Tutumlar arasında (13.1.34)-də alınmış asılılıqlar kabelin mufta üçün təmizlənən ucluğunu və sonluq muftasının hündürlüyünü ölçülərini təyin edir. Damara görə olan  $C_k$  tutumu və torpağa nəzərən  $C_0$  tutumunu silindrik kondensatorlar kimi hesablayırlar. Bu zaman  $C_0$  tutumu, 300 sm radiusda torpaqlanmış silindrlə, damarın bütün uzunluğunda yaratdığı şərti bir kabel tutumu kimi hesablanır. Bu halda  $C_0$  ilə torpaqlanmış silindr arasında olan yağ qatı və farfor örtüyün yaratdıqları tutumlar nəzərə alınmır. Çünki onların qiymətləri nəticəni az dəyişdirir.

Kondensator elementləri olan sonluq muftalarının hesablarını aşağıdakı ardıcılıqla aparırlar:

1. Kondensator elementlərinin sayının hesablanması:

$$N = \frac{U_f}{U_{el}} \quad (13.1.35)$$

burada  $U_f$  – faz gərginliyi,  $U_{el}$  – kondensator elementinin gərginliyidir.

2. Açılmış kabel ucluğunun uzunluğunun hesablanması:

$$L = N \cdot h \quad (13.1.36)$$

burada  $h$  – kondensator elementlərinin çıxıntı uzunluqlarıdır.

3. Sonluq kabel ucluğunun xarici diametrinin  $D$  hesablanması:  $D$ -nin qiyməti sonluq muftasında ionlaşma olmaması şərtindən tapılır.  $D$ -ni yüksək gərginlikli keçid izolyatorları və transformator girimlərində elektrik sahəsinin empirik düsturlarına görə hesablamaq olar. Bu halda izolyasiyanın iti uclu elektrodlar arasında işləməsinə nəzərə alaraq aşağıdakı formula istifadə edilir:

$$U_f = k_t \sqrt{\Delta} \quad (13.1.37)$$

burada  $k_t=5,2$ ;  $U_f$  – faz gərginliyi, kV;  $\Delta$  – damar və torpaqlanmış köynək arasındakı izolyasiyanın qalınlığıdır.

4. Bərabərləşdirici konusun uzunluğu və formasının hesablanması.  $L_{ab}$ -nin qiymətinin hesablanmasında (13.1.33) kondensator elementləri arasında olan izolyasiyanın keyfiyyətinin yüksək olması səbəbindən, ESG-nin tangensial təşkilədisini  $E_{\tau}=6 \text{ kV/mm}$  götürmək olar.

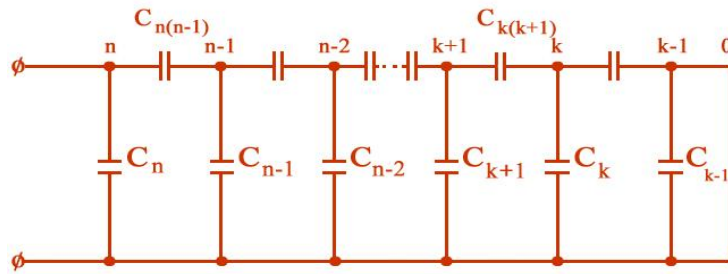
$$L_{ab} = \frac{U_{hes}}{6} \cdot \ln \frac{\ln \frac{R_{sar}}{r_0}}{\ln \frac{R_{43}}{r_0}} \quad (13.1.38)$$

5.  $C_{kel}$  – nin tutmalarının hesablanması.  $C_{kel}$ -in qiymtlərinin hesablanması (13.1.33) və (13.1.34) formulaları və şərtləri ilə aparılır.

Kondensator tipli sonluq sarğılarının hesabında məqsəd, bərabərləşdirici  $ab$  konusunun uzunluğu və formasının təyini şək.13.1.9, həmçinin sonluq muftasında elektrik sahəsinin tənzimlənməsi üçün olan kondensator köynəklərinin sayı və yerləşdirilməsinin tapılmasıdır.

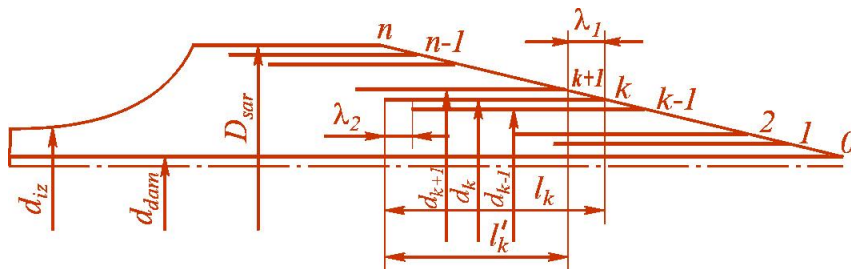
Müxtəlif hallar üçün bərabərləşdirici konusun forma və ölçüləri yuxarıda verilmiş (13.1.21-13.1.24) formulalardan və daha sadələşdirilmiş şək.13.1.11 şəkildə hesablanıla bilər.

Kondensator köynəklərinin seçilməsi və yerləşdirilməsində metallik köynəklərlə damar arasında kondensator, qatlarının tutumlarının nisbətləri, həmçinin hər bir köynəyin çıxıntıları ilə yaratdığı tutum nisbətlərini nəzərə almaq lazımdır. Bu məqsədlə sonluq muftasının kondensator sarğılarının sadə əvəz sxemindən istifadə edirlər. Sxemdə metal köynəklərin bir-birinə nəzərən yaratdığı tutumlar  $C_{01}, C_{12}, \dots, C_{k(k+1)}$ -lə, köynəklərlə damar arasındakı tutmlar isə  $C_1, C_2, \dots, C_k, \dots, C_n$ -lə işarə edilmişdir.



Şək. 13.1.11. Kondensator köynəklərinin sadə əvəz sxemi

Əgər kabel izolyasiyası üzərinə kondensator köynəyi sarınmış olarsa, kondensator sarğılarının sıfırcı köynəyi kimi kabelin damarı götürülür. Birinci köynək metallaşdırılmış bakelit üzərində olarsa onu yenə də sıfırcı kimi qəbul edirlər. Axırcı hal, zavod şəraitində ayrıca hazırlanmış sonluq sarğılarına aiddir. Montaj edildikdə belə sarğılar bilavasitə kabel izolyasiyası üzərinə qoyulur və sıfırcı köynək kabel damarı ilə elektriki birləşdirilir.  $n$ -ci köynək kimi,  $D_{sar}$  diametrlili sonluq sarğısının silindrik hissəsi üzərindəki köynək qəbul edilir.



Şək.13.1.12. Kondensator köynəklərinin hesablanması üçün parametrlərin izahat sxemi

$k$ -cı köynəyin uzunluğu  $l_k$ -dir.  $k$ -cı köynəyin  $k+1$ -ci köynəklə əmələ gətirdiyi silindrik kondensator hündürlüyünə  $k$ -cı köynəyin işçi uzunluğu deyilir və  $l'_k$ -lə işarə edilir. Şəkildən görüldüyü kimi  $l_k = l'_k + \lambda_1$ , burada  $\lambda_1$  – kondensator lövhəsinin xarici çıxıntısıdır. Adətən  $\lambda_1$  bütün kondensator köynəkləri üçün sabitdir.

Köynəklərin damarla silindrik kondensator əmələ gətirən hissəsi daxili çıxıntı adlanır və  $\lambda_2$  ilə işarə edilir.  $\lambda_2$  də bütün köynəklər üçün sabit götürülür. Bunlardan başqa şəkl.13.1.12-də  $d_{dam}$ – kabelin damarının diametri;  $d_{k-1}$ ,  $d_k$ ,  $d_{k+1}$  – uyğun olaraq  $k-1$ ,  $k$ ,  $k+1$ -ci köynəklərin diametrləridir.

Sadə əvəz sxeminin (şəkl. 13.1.12) ixtiyari  $k$  nöqtəsi üçün Kirxhov qanuna görə aşağıdakı tənliyi yazmaq olar:

$$(\varphi_{(k+1)} - \varphi_k) \cdot \omega C_{k+1} = (\varphi_k - \varphi_{k-1}) \cdot \omega C_{k(k-1)} + \varphi_k \cdot \omega C_k \quad (13.1.39)$$

burada  $\varphi_{k-1}$ ,  $\varphi_k$ ,  $\varphi_{k+1}$  –  $k-1$ ,  $k$  və  $k+1$  nöqtələrinin potensiallarıdır.

Qatlardakı gərginlik paylanması bərabər olduğunu qəbul etsək, hər bir qatın gərginliyi üçün  $U/n$  alırıq:

$$\begin{aligned} \frac{U}{n} \omega C_{k(k+1)} &= \frac{U}{n} \cdot \omega C_{k(k-1)} + \frac{U}{n} \cdot k \omega C_k \\ C_{k(k+1)} &= C_{k(k-1)} + k \cdot C_k \end{aligned} \quad (13.1.40)$$

olar.

Əgər (13.1.40) ifadəsində  $C_{k(k+1)}$ ,  $C_k$  və  $C_{k(k-1)}$  tutumları hesablanarsa, onda kondensator qatlarının həndəsi ölçüləri arasında münasibət təyin edilir. Bu halda qatlara düşən gərginliklər bərabər və mufta izolyasiyası bütün aralıqlarda  $\varepsilon$ -u eyni olan kağızdan sarınmış olduğu nəzərdə tutulur:

$$\frac{l'_k}{\lg \frac{d_{k+1}}{d_k}} = \frac{l'_{k-1}}{\lg \frac{dk}{d_{k-1}}} + k \cdot \frac{\lambda_2}{\lg \frac{d_k}{d_{dam}}} \quad (13.1.41)$$

(13.1.41) ifadəsini kondensator köynəklərinin ölçülərinin və yerləşdirilməsinin hesabları üçün tətbiq etdikdə, 6 məchuldan 5-i ( $d_k$ ,  $d_{k-1}$ ,  $l_{k-1}$ ,  $l'_{k-1}$ ,  $l'_k$ ,  $\lambda_2$ ) məlumlar kimi qəbul edilməlidir.

Kondensator sarğılarının layihələndirilməsinə keçməzdən əvvəl, hansı parametrlərin verilənlər kimi götürülməsini müəyyənləşdirirlər.

Əgər sarğılarda hesabata  $ESG$ -nin qalınlığı üzrə sabit qalması şərti ilə aparılırsa, kondensator qatlarının qalınlığı və uyğun olaraq  $d_k$ ,  $d_{k+1}$  və s., hər bir aralıqdakı orta və ya maksimal sahə gərginliklərinə görə asanlıqla hesablanabilir. Bu halda axtarılan kəmiyyətlər kondensator köynəklərinin uzunluqları olur. Sonluq sarğılarının bu üsulla layihələndirilməsində muftanın diametrini kiçiltmək mümkündür. Lakin muftanın boşalma xarakteristikası bu halda bir qədər pisləşir.

Sonluq sarğılarını həmçinin  $ESG$ -nin, sarğının səthi üzrə sabitliyi şərtindən hesablamaq olar. Bu hesabatlarda sarğının radial ölçüləri böyük alınsa da, boşalma xarakteristikaları yaxşılaşır. Bu halda, bütün kondensator köynəklərinin uzunluqları məlum olur. Sonra isə (13.1.41) tənliyi  $d_{k+1}$ -ə görə həll edilir:



$$l g d_{k+1} = \frac{l'_k}{\frac{l'_{k-1}}{l g \frac{d_k}{d_{k-1}}} + k \frac{\lambda_2}{l g \frac{d_k}{d_0}}} + l g d_k \quad (13.1.42)$$

### 13.1.8. Kondensator köynəyinin ölçülərinin hesablanması

Kondensator köynəklərinin sayı buraxıla bilən elektrik sahə gərginliyinin hər bir qatda bərabərliyi şərtindən hesablanır:

$$N = \frac{U_h}{1,75 E_{or}} \quad (13.1.43)$$

Muftaların layihələndirmə təcrübələrinə görə  $N$ -i gərginliyə görə aşağıdakı kimi seçirlər: 110 kV– 6-8 ədəd; 220 kV– 14-16-ədəd; 330 kV – 24 ədəd, 500 kV üçün isə 30-a qədər götürülür. (13.1.43) ifadəsində  $U_h$  – hesabat gərginliyi, kV-la;  $E_{or}$  – muftanın orta radial sahə gərginliyi ( $E_{or}=0,9E_r$ ), kV/mm; 1,75 – vuruğu texnoloji səbəblərdən seçilmiş kondensator qatlarının minimal qalınlığıdır.

ESG-nin tangensial təşkiledicisinin sabitliyi şərtində muftaların hesabatları aparıldıqda bütün qatlarda daxili və xarici çıxıntılar eyni olmalıdır, lakin müxtəlif texnoloji səbəblərdən  $\lambda_1 \neq \lambda_2$  olur. Ona görə  $N$ -ci lövhənin uzunluğunu və  $\lambda_1, \lambda_2$  - nin qiymətlərini qəbul etdikdə aşağıdakı formuladan  $l_k$ -ni hesablamaq olar:

$$l_k = l_n + (\lambda_1 - \lambda_2) (N - k) \quad (13.1.44)$$

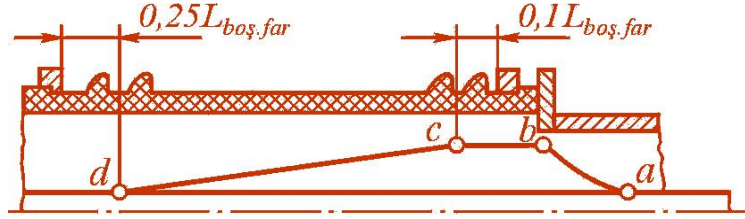
Ekranlaşdırma effekti və boşalma gərginliyinin artırılması məqsədi ilə sonuncu kondensator köynəyinin ( $l_n$ -nin) uzunluğu, farfor gövdənin xarici armaturundan 15-20 % böyük ( $0,15 \div 0,2 L_{boşfar}$ ) götürülür (şək.13.1.13,  $b$  nöqtəsi). Yenə həmin şərtlərə uyğun olaraq, torpaqlanmış  $N$ -ci köynəyin sonuncu nöqtəsi (şək. 13.1.13,  $d$ -nöqtəsi) farfor çarxın torpaqlanmış flanesindən  $L_{boşfar}$ -un 10-15%-i qədər artıq olacaqdır. Təcrübələr göstərir ki, daxili izolyasiyanın belə yerləşdirilməsi boşalma xarakteristikasını yüksəldir. Daxili elektrik sahəsinin tənzimlənməsinin bu şərtləri XLPE izolyasiyalı 110 kV və yüksək gərginlikli kablərin kompozit «RAYXEM» muftalarının montajında istifadə edilir. Bu mülahizələrdən sıfırcı köynəyin sonu damarın potensialına malik olub (şək. 13.1.13) metallik armatura hissəsindən  $L_{boşfar}$ -un 20-25%-i qədər məsafədə yerləşir. Onda bütün kənar çıxıntıların cəminə bərabər olan  $L_{on}$  uzunluğu

$$L_{on} = \lambda_1 N \approx (0,5 \div 0,6) L_{boşfar} \quad (13.1.45)$$

$$\lambda_1 = \frac{0,5 \div 0,6 L_{boşfar}}{N}$$

olacaqdır. Silindrik kondensator köynəyinin daxili çıxıntısı -  $\lambda_2$ , aşağıdakı bərabərlikdən tapılır.

$$\lambda_2 = U_{hes} / E_{\tau} N \quad (13.1.46)$$



Şək.13.1.13. Kondensator sarğılı içliyin farfor çarx (xarici izolyasiya) içərisində yerləşdirilməsi

(13.1.42) düsturuna görə, ikinci, üçüncü və s. qatların diametrlərini ardıcıl olaraq hesablayırlar. Bu zaman birinci qatın qalınlığı və diametri verilmiş olur. Adətən birinci qatın qalınlığı  $2,5 \div 3$  mm götürülür.

Kondensator köynəklərinin diametrləri təyin edildikdə, axırncı qatların qalınlıqları texnoloji qaydaların əksinə olaraq 1,75 mm-dən kiçik alma bilər. Bu halda (13.1.44) düsturuna görə həmin qatların ölçülərində düzəliş aparırlar. Belə ki, qatın qalınlığı artıqda tutumun azalmaması üçün ya sıxlığı daha çox olan kağızdan, ya da uzunluğu böyük olan kondensator köynəklərindən istifadə edilir. Əgər bunlar arzu olunan nəticə verməzsə, birinci qatın qalınlığını torpaqlanmış son köynəyin uzunluğu və çıxıntılarını dəyişdirib hesabı yenidən təkrar edirlər. Sahənin tənzimlənməsinə aid aparılmış hesabların nəticələri OHVT tipli «RAYXEM» muftalarında xüsusi ölçülü yarımkəçirici silikon konusların tətbiqi ilə həll edilmişdir §§ 13.1.7 və 17.1.4.

Kabel armaturlarından elektrik, istilik və konstruktiv hesabatlarına görə mürəkkəb - kondensator tip izolyasiya kimi, hesablanan sonluq muftasıdır. Adi izolyasiyalı (sadə sarğılı) sonluq və birləşdirici muftaların hesabatları isə, daha asandır. Onların hesabat alqoritmləri kondensator tipli izolyasiyası olan muftanın tərkib hissəsidir. Ona görə, kondensator tip izolyasiyası olan sonluq muftasının hesabatına baxaq.

Hesabatlara daxili kondensator tip izolyasiyanın həndəsi ölçülərindən başlayırlar. Hesabatlarda, verilən kabelin həndəsi parametrlərinə əsasən, tapılması istənilən mufta parametrləri, kondensator köynəklərinin ölçüləri, bərabərləşdirici konus və bütün izolyasiya sarğısının ölçüləri təyin edilir. Kondensator qatlarının və ümumi sarğıların ölçüləri ardıcılıqla hər bir qatın qalınlığının tapılması ilə aparılır.

Muftalar kabel damarlarının açılmış izolyasiyasız səthindən başlayaraq əl ilə izolə edilən bir konstruksiyadır. Ona görə, birləşdirici və sonluq muftalarında mərkəzdən başlayaraq üç əsas izolyasiya hissəsinə xüsusi diqqət edilir: -  $ab$ ,  $bc$ ,  $cd$  şək.13.1.13.

Boşalmaların qarşısını almaq üçün onların arasına keçirici lövhələr (kondensator köynəkləri) sarınır şək.13.1.6. Bu lövhələr kağız qatlı izolyasiyanın 4-6 mm qalınlıqlarından bir  $r_i$  radiusları üzrə sarınır və elektrik sahə gərginliyinin tənzimlənməsinə səbəb olur.  $r_i - R_x$  - ə bərabər olduqda, muftanın daxili sarğısının ən böyük radiusu -konik hissənin sonu və silindrik hissənin radial ölçüsü alınır. Silindrik hissənin uzunluq ölçüsü  $BC$  muftanın daxili ekranlaşma şərtlərinə görə təyin edilir. Sonra bu yüksək gərginlik muftasının -  $CD$  tərs konik hissəsi montaj edilir. Bu yolla montaj edilmiş daxili izolyasiya muftanın mis gövdəsi üzərisinə yerləşdirilərək hermetik qaydada qapadılır. Muftanın üst hissəsində yağ doldurulması üçün dəlik və klapan vardır.

Muftaların hesabatlarının ilk addımlarında verilənlərin dəyişdirilməsi ilə onlara düzəlişlər edilə bilər. Nəticələrə görə aparılan bu düzəlişlərin səbəbi, muftaların montajını mütərəqqi texnologiyə və texniki imkanlara uyğunlaşdırmaqdır. Hesabatlar kifayət qədər zəhmətli və həcmli olduğundan onların kompüterlərdə aparılması məqsədə uyğundur. Hesabatlar üçün (13.1.42)-yə analogi olan aşağıdakı ifadələr istifadə edilir[25]:

$$\ell n d_{k+1} = \frac{\ell'_k}{\frac{\ell'_{k-1}}{\ln d_k/d_{k-1}} + k \frac{\lambda_2}{\ln d_k/d_0}} + \ell n d_k \quad (13.1.47)$$

$$L_{ab} = \frac{U_{hes}}{E_\tau} \ell n \frac{\varepsilon_2 \ell n D_1/d_0 + \varepsilon_1 \ell n D_s/D_1}{\varepsilon_2 \ell n D_1/d_0 + \varepsilon_1 \ell n D/D_1} \quad (13.1.48)$$

burada  $k$  - kondensator köynəyinin nömrəsi (damardan ekrana tərəf artır);

$d_k$  – hər bir kondensator qatının diametridir;

$d_0$  – damarın diametridir;

$l_k$  -  $k$ -cı kondensator köynəyinin uzunluğudur;

$l_{k-1}$  -  $k-1$ -ci köynəyin tutum yaradan işçi uzunluğudur;

$\lambda_2$  - kondensator köynəyinin daxili çıxıntısıdır;

$U_{hes}$  - izolyasiya üçün hesabat gərginliyidir, kV;

$E_\tau$  – tangensial hesabat sahə gərginliyidir, kV/mm;

$\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  - dərəcələnməmiş kabel kağız izolyasiyasının birinci və ikinci qatlarının dielektrik nüfuzluluqlarıdır;

$D$  – dərəcələnməmiş kabel izolyasiyasının ikinci qatının diametridir;

$D_1$  – dərəcələnməmiş kabel izolyasiyasının birinci qatının diametridir;

$D_s$  – izolyasiya sarğısının diametridir;

(13.1.47) formulasında olan həndəsi ölçülərə aid kəmiyyətlər aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$H_{bm} = 1,15 \cdot U_{qb}/E_{qb}; \quad l_k = l_n + (\lambda_1 - \lambda_2)(n-k); \quad l'_k = l_k - \lambda_1; \quad L_n = 0,2 \cdot h_{bm}$$

$$\lambda_1 = \frac{0,6 \cdot h_{bm}}{n}; \quad \lambda_2 = \frac{U_{hes}}{E_v \cdot n} \quad (13.1.49)$$

burada  $n$  - kondensator köynəyinin ümumi sayı;

$l_s$  – sonuncu kondensator köynəyinin uzunluğu;

$\lambda_1$  - kondensator köynəyinin xarici çıxıntısıdır;

$h_{bm}$  - farforun hündürlüyü ilə boşalma məsafəsidir;

$U_{qb}$  - farfor izolyatorun quru boşalma sınaq gərginliyidir, kV;

$E_{qb}$  - buraxıla bilən quru boşalma sınaq gərginliyidir, kV/mm;

Təyin olunmuş həndəsi ölçülərin optimal olduğunu yoxlamaq üçün, kondensator sarğılarında radial elektrik sahə gərginliyini  $E_{rk}$  hesablamaq lazımdır:

$$E_{rk} = 2 \cdot \frac{U_f}{\varepsilon_1 d_k \left( \frac{1}{\varepsilon_1} \ell n D_1/d_0 + \frac{1}{\varepsilon_2} \ell n D_n/D_1 \right)}, \quad (13.1.50)$$

burada  $E_{rk}$  -  $k$ -cı kondensator köynəyinin maksimal radial sahə gərginliyidir, kV/mm;

$U_f$  – şəbəkənin faz gərginliyidir, kV.

Hesabatlarda əvvəlcə (13.1.48), (13.1.49) formulalarına görə daxili kondensator köynəklərinin radial ölçüləri tapılır. Əgər, hesabatlarda tapılmış sonuncu kondensator izolyasiyasının qalınlığı  $\Delta_s$  texnoloji  $\Delta_t$  qalınlıqdan kiçik olarsa, hesabatı təkrar etmək lazımdır. Təkrar hesabatlarda birinci qatın izolyasiyasının 0,5 mm artırmaq lazımdır. Tapılmış

ölçülərin optimallığını yoxlamaq üçün (13.1.12) formulası istifadə edilir. Bu halda əgər, işçi sahə gərginlik buraxıla bilən gərginliyə yaxın olarsa hesabat bitmiş olur.

### 13.1.9. XLPE izolyasiyalı tək damarlı kabellər

XLPE üzvi quruluşlu dielektrikdir. Adi zincirvari quruluşda  $(C_2H_4)_n$  olan polietiləndən fərqli olaraq yan tikişli fəza quruluşlu bir maddədir. Son zamanlar Ukrayna, Rusiya kimi yaxın ölkələrdə 6(10) - 110 kV gərginliklərə XLPE izolyasiyalı kabellər hazırlanır. 2009-cu ildə Zirə kabel zavodunda 35 kV XLPE izolyasiyalı kabellərin istehsalına başlanmışdır. Konstruksiya elementlərinə görə bu kabellər nisbətən sadədir və koaksial sistemlərə oxşar quruluşa malikdirlər şəkl.13.1.15. İtaliya, Fransa və s. kimi xarici ölkələrdə isə, bu kabellərin 230-380 kV gərginliklərə olan çeşidləri istehsal edilir. Texniki iqtisadi göstəricilərinə görə onlar yağ doldurulmuş kabellərdən daha üstündürlər. Azərbaycanda daha böyük kabel istehsalı zavodu planlaşdırılır. Sumqait şəhərində yeni inşasına başlanmış zavodlar kompleksinin (Sumqait Texnoloji parkının) böyük bir sahəsi həmin markadan 330 kV-a qədər olan XLPE kabelləri istehsal edəcəkdir. Burada yüksək texnolojiyə malik xarici avadanlıqlar qoyulması nəzərdə tutulur.

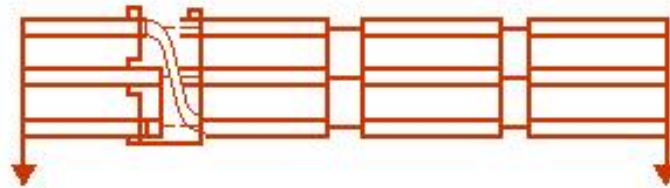
Çəkiliş və istimarı nisbətən asandır, əlavə qurğuların və yağ saxlayıcı muftalar və qurğuların olması tələb olunmur. Bu kabellərin hər 1 km məsafədə malik olduqları tutumun qiyməti aşağıdakı kimi hesablanır:

$$C_x = \frac{5,56 \cdot \varepsilon_n}{\ln \frac{D}{d}} \cdot 10^{-2} \quad \mu F / km \quad (13.1.51)$$

Kabelin bir fazının malik olduğu tutum cərəyanı isə  $I_0 = U_0 \omega C_x$  olur.

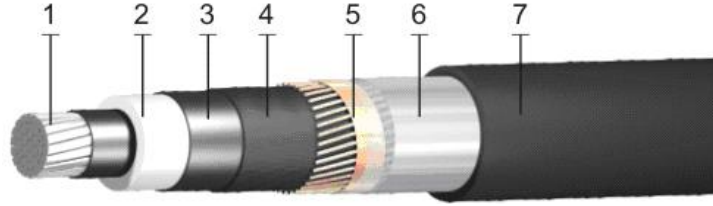
Uzun məsafələrə çəkildikdə XLPE izolyasiyalı kabelin müəyyən məsafələrdə torpaqlanması və transpozisiya edilməsi lazım gəlir. Bunun məqsədi induktiv və tutum parametrlərinin balanslaşdırılması uzunluq boyu yığılan statik yüklərin və onların yaratdığı gərginliklərin qiyməti və paylanmasının tənzimlənməsidir.

Bu kabellərdə induktiv müqavimət:  $x=0,145 \cdot \ln(D_0/d)$ , induktivlik isə  $L=4,44 \cdot 10^{-4} \ln(D_0/d)$  olur, burada  $D_0$  – üç fazlı çəkilişdə kabellərin arasındakı orta həndəsi ölçü,  $d$  – bir damarlı kabelin diametridir.



Şəkl.13.1.14. Tək damarlı XLPE izolyasiyalı kabellərin çəkilişində kabellərin transpozisiyası və torpaqlanma sxemi

XLPE kabellərinin nazik lentşəkilli ekranları çox kiçik en kəsiyinə və bu səbəbdən böyük elektrik müqavimətinə malik olduqlarından, QQ rejimlərində böyük güc itkilərinə və qızmaya səbəb olurlar. Bu səbəbdən həmin ekranların altında dairəvi en kəsiyinə malik olan mis və ya alüminium naqillər buraxılır, şəkl.13.1.15 – 4 və 5.



- 1 - damar
- 2 - izolyasiya
- 3 - ekran
- 4 - dairəvi Al məftil örtük
- 5 - nəmlik mühafizə strifleks örtüyü
- 6,7 - mühafizə PVC şlanq örtüyü.

*Şək.13.1.15. 35 kV XLPE izolyasiyalı kabelin konstruksiya elementləri*

Əgər müəyyən məsafələrdə torpaqlanma aparılırsa, həmin yerlərdə də transpozisiya aparılması tövsiyə edilir şək.13.1.14. Bunun üçün kabel trasını 3 yerə bölüb uyğun məsafələrdə düyün quyuları inşa edilir və orada həmin əməliyyatlar aparılır.

Yüksək gərginliklərdə XLPE izolyasiyalı kabellərin damarla izolyasiya arası və izolyasiya ilə lent şəkilli ekranları arasında yarımkeçirici örtüklər qoyulur. Damarın üzərinə çəkilmiş yarımkeçirici örtük elektrik sahə gərginliyinin bərabərləşdirilməsi və izolyasiyanın damara toxunan səthində qismi boşalmaların qarşısının alınması üçün vacib bir əhəmiyyətə malikdir.

### **13.1.10. İstilikdən büzüşən plastik izolyasiyalı muftalar**

Son zamanlar 10-35 kV kavelələrdə birləşdirici və sonluq muftaları kimi «RAYXEM» firmasının plastik məmulatları geniş tətbiq edilir. Bu muftaların izolyasiya materialları istilikdən büzüşmə xüsusiyyətlərinə malikdirlər şək.13.1.8. Komplektdə olan izolyasiya və hermetikləşdirici materiallar ağ, sarı və qırmızı rənglərdə olur. Onların montaj qaydaları əlavə təlimatla izah edilir.

Şəkil 13.1.8 -də sonluq «RAYXEM» muftasının əsas elementləri göstərilmişdir. Bu muftalar həm kağız, həm də plastmass izolyasiyalı kablərə qoyulur. Onun 12 adda müxtəlif elementləri vardır. Deyildiyi kimi, burada olan elementlər həm rəngləri, həm də çeşidlərinə və kabel damarının en kəsiyindən asılı olaraq fərqlidirlər. Məsələn, 70-150 mm<sup>2</sup> en kəsiyi olan kabel üçün: 1) 4 ədəd kiçik ölçüdə 50-120 mm qalınlığı 1.2 mm olan izolyasiya lentası, 2) həmin lentadan 500 mm ölçüdə 4 ədəd daha uzun parça, 3) 3 ədəd qırmızı rəngli izolyasiya borusu D-36 mm və L-900 mm ölçüsündə, 4) 3 ədəd D-24 mm, L-800 mm şəffaf yağa davamlı, istilikdən büzüşən borular, 5) 6 ədəd D-36 mm, L-200 mm olan qırmızı rəngli manjetlər, 6) bir ədəd yaylı-dairəvi polad lenta (torpaqlama üçün), 7) bir ədəd tel hörgülü, ucu delikli mis kabel bağlantı başlığı, 8) qalaylanmış sarğı məftili (bandaj üçün), 9) bir ədəd damarlar arası konik parafin və ya izolyasiya lentasından hazırlanmış tıxac, 10) bir ədəd silindrik, D-70 mm, L-180 mm qara rəngli boru, 11) bir ədəd bir tərəfdən 3 çıxışlı, digər tərəfdən açıq olan D-72 mm, L-180 mm olan, qara rənglə silindrik boru, 12) kipləşdirici lenta, qırmızı rəngli, eni 30 mm, uzunluğu 120 mm-li element vardır.

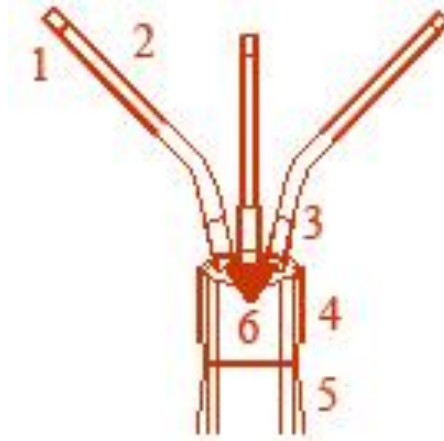
Elementlərin montajı üçün ardıcılıqla bir sıra texnoloji əməliyyat aparılır. Birinci kabel damarları (150-240 mm<sup>2</sup> en kəsiyi olan) 1100 mm uzunluğunda açılıb, soyulur. Soyulma kabelin mühafizə örtüyü, zirehi və qılafına aiddir. Bu zaman kabelin zirehi açılan ucundan başlayaraq, qılafdan 80 mm artıq, qılaf isə, yarımkeçirici örtükdən 5 mm artıq ölçüdə açılıb soyulur. Sonra kağız izolyasiyalı kablələrdə, qurşaq izolyasiyası tamamilə, dammar

izolyasiyası isə iki qatında soyulub atılır. Plastmass izolyasiyalı kəbellərdə isə, yarım keçirici örtük ekrana 5 mm qalmış qaşınıb təmizlənir. Bu zaman yarımkeçirici örtük üzərində olan qılafdan 5 mm məsafə saxlanmıslı olur ki, bu da elektrik sahə gərginliyinin kəskin dəyişməsinə qarşı olan bir tədbirdir.

6 (10) – 35 kV kəbellərdə isitilikdən büzüşən konstruksiyalı birləşdirici muftalar da son zamanlar geniş tətbiq edilir şək. 13.1.16.

Onlarda yuxarıda adları çəkilən bütün elementlərlə yanaşı, ümumi plastik örtük, kəbel damarlarını birləşdirən gilzalar, ayırıcı elementlər və hər iki tərəfə torpaqlama vermək üçün qalaylanmış, çox telli mis məftillər vardır.

Bəzi hallarda Rus markalı *SS*, *STEF*, *KMO*, *KNO* və s. markalı muftalar istifadə edilirlər. Onlarda soyulub izolyasiya edilmiş damarların kənarları epoksid, izolyasiya bitumları və s. kimi qətranlarla doldurulur. Muftaların içərisinə doldurulan kütlələr əvvəlcə duru vəziyyətdə, sonra isə tədricən qatılşan maye və nəhayət bərkiyən kütləyə çevirilir. Doldurucu kütlənin bərkiməsi və soyumasından sonra kəbel xəttinin işə qoşulmasına icazə verilir. Çünki, isti qətranın elektrik müqaviməti və elektrik deşilmə gərginliyi az olur. Aşağıdakı şəkil 13.1.17-də *SS* tipli RUS muftasının əsas elementləri göstərilir:



- 1-izolyasiyalı damar
- 2-istilik büzüşən izolyasiya
- 3-izolyasiya manjeti
- 4-istilik büzüşən üst örtük izolyasiya (üçbarmaq)
- 5-üst silindrik izolyasiya örtüyü
- 6-konik izolyasiya (damarlar arası tıxac)

Şəkil 13.1.16. 'RAYXEM' tipli muftanın əsas konstruktiv elementləri



## 10. ELEKTRİK İZOLYASIYA KONSTRUKSIYALARINDA İSTİLİK PROSESLƏRİ

Elektrik izolyasiya konstruksiyalarında istilik prosesləri, onların işinin etibarlılığına təsir edən əsas amillərdəndir. Əgər izolyasiyada və bütövlükdə konstruksiyada ayrılan istilik ətrafa ötürülməzsə və ya pis ötürülsə, onda bu qurğu davamlı olaraq qızar və nəhayət sıradan çıxar. Elektrik verilişində və ya işlədilməsində uzun müddətli fasilə yaranar.

Elektrik izolyasiya konstruksiyalarında aparılan istilik hesabları nəticəsində iki məsələ həll edilir:- müxtəlif iş rejimlərində izolyasiyanın maksimal temperaturları və elektrik izolyasiya konstruksiyasının istiliyə qarşı davamlılığının təyini.

### 10.1.1. İstilik ayrılmasının səbəbləri və mənbələri

İzolyasiya konstruksiyalarında istilik iki mənbədən yaranır:- konstruksiyayı təşkil edən izolyasiya gövdəsi və onun metal hissələri və armaturlarında ayrılan istiliklər. Metal hissələr və keçiricilərdə istilik, onlardan keçən işçi cərəyanların, artıq yüklənmə və qısa qapanma cərəyanlarının hesabına baş verir. Qısa qapanmada avtomatik mühafizə sistemləri şəbəkəni 0.5 san-dən, artıq yüklənmədə isə, onların xarakterindən asılı olaraq 5-10 san gec olmayaraq şəbəkədən açır. Elektrik izolyasiya sistemlərində bu hallarda baş verən isinmələr əhəmiyyətli dərəcədə olsa da, onların müddəti və yaranması entimalı az olduğundan və izolyasiya konstruksiyaları böyük istilik ətalətinə malik olduqlarından, bu cərəyanlardan yaranan istilik təsirləri bir sıra mühəndis hesablarında nəzərdən atılır. İşçi cərəyanların təsirindən yaranan, istilik isə aşağıdakı ifadə ilə hesablanır:

$$P = I^2 R_t = I^2 \frac{L}{S} \rho_{t_0} \left[ 1 + \alpha (t - t_0) \right] \quad (10.1.1)$$

burada,  $I$ - keçiricinin cərəyanı,  $R_t$ - $t$  temperaturunda keçiricinin müqaviməti,  $L$ -keçiricinin uzunluğu,  $S$ - keçiricinin en kəsiyi,  $\rho_{t_0}$  - keçiricinin materialının  $t_0$  temperaturunda malik olduğu müqaviməti,  $\alpha$  -müqavimətin temperatur əmsəlidir.

Dəyişən gərginlikdə, keçiricinin en kəsiyi üzrə cərəyanın qeyri bərabər paylanması və bu səbəbdən, müqavimətin səth effektindən artmasını nəzərə almaq lazımdır. Cərəyanın keçiricinin səthindən onun  $\Delta$  dərinliyinə nüfuz etməsi və bu zaman  $e$  dəfə azalmasını göstərən hesabat formulası aşağıdakı kimi yazılır:

$$\Delta = k \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r f}} \quad (10.1.2)$$

burada,  $\rho$ - metalın xüsusi müqaviməti;  $\mu_r$  - metalın nisbi maqnit nüfuzlulu,  $f$  – dəyişən cərəyanın tezliyi;  $k=507$ - sabit əmsəldir.

Səth effektini nəzərə almaqla, ixtiyari en kəsiyi olan keçiricinin  $t$  temperaturundakı müqaviməti:

$$R_t = \rho_t \frac{\ell}{\Delta \Pi} = \frac{\ell}{k \Pi} \sqrt{\mu_r f \rho_{t_0} \left[ 1 + \alpha (t - t_0) \right]} \quad (10.1.3)$$

burada –  $P$ - keçiricinin perimetridir.

Dairəvi en kəsiyində olan keçiricinin dəyişən gərginlikdəki müqaviməti, səth effekti hesabına artımı nəzərə alınmaqla aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$R_{t \approx} = R_{t=} F(\beta) \quad (10.1.4)$$

Qeyri maqnit materiallar üçün :

$$\beta = 1.407 D \sqrt{\frac{f}{\rho}} \quad (10.1.5)$$

burada, D-keçiricinin diametri, m; f- dəyişən cərəyanın tezliyi, Hz;  $\rho$  – keçiricinin xüsusi müqaviməti, mk Omm.

Əgər,  $\beta \leq 3$  olarsa,  $F(\beta)$  aşağıdakı cədvəl -10.1.1 üzrə təyin edilir:

Cədvəl 10.1.1.

B	0.5	1	1.5	2.0	2.5	3
F( $\beta$ )	1.00	1.01	1.03	1.08	1.18	1.30

Əgər,  $\beta > 3$  olarsa, onda  $F(\beta)$  aşağıdakı təqribi formuladan tapılır:

$$F(\beta) \approx \frac{\sqrt{2\beta + 1}}{4} \quad (10.1.6)$$

Dəyişən cərəyanlı, yüksək gərginlikli keçiricilərdə bütöv en kəsiyi olan materialların istifadəsi sərfəli deyildir. Burada, qalınlığı  $\Delta$  nüfuz etmə dərinliyə bərabər olan, içi boş keçiricilər işlətmək daha sərfəlidir. Bu halda səth effekti əmsalı da vahidə yaxın olur.

Bir sıra hallarda texnoloji aparatlar, zamana görə dəyişən cərəyan təsirlərində işlədilir. Bu zaman, onların keçirici hissələrində yaranan istilik ayrılımları da zamandan asılı olaraq dəyişəcəkdir. İstilik ayrılımlarının dəqiq hesabı, bu halda bütün dəyişən yüklərin nəzərə alınması ilə həll edilməlidir. Lakin, elektrik izolyasiyası böyük istilik ətalətinə malik olduğundan, əksər hallarda belə usullara ehtiyac qalmır və hesablar ekvivalent cərəyanların vasitəsi ilə aparılır:

$$I_{ekv} = \sqrt{\frac{1}{\tau_d} \int_0^{\tau_d} i^2 dt} \quad (10.1.7)$$

burada,  $\tau_d$  – yükün dəyişmə dövrləri müddəti,  $i$  - zamana görə dəyişən yük cərəyanlarıdır.

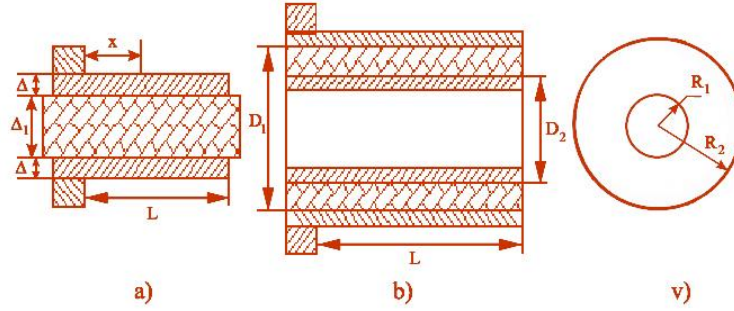
Xüsusi halda impuls formalı cərəyanın  $\tau_d$  - dövrü ilə dəyişən riyazi ifadəsini götürsək:  $i = I_0 \left( e^{-\tau/\tau_1} - e^{-\tau/\tau_2} \right)$ ,  $\tau_d \gg \tau_1$  və  $\tau_2$  olduğunu qəbul edərək (10.1.7) formulasına görə aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$I_{ekv} = \sqrt{\frac{1}{\tau_d} \int_0^{\tau_d} I_0^2 \left( e^{-\tau/\tau_1} - e^{-\tau/\tau_2} \right)^2 d\tau} = I_0 \sqrt{\frac{\tau_1 + \tau_2 - 4\tau_1\tau_2}{2\tau_d (\tau_1 + \tau_2)}}. \quad (10.1.8)$$

Zamana görə dəyişən yükləri ekvivalent cərəyanla əvəz edərək, istilik hesablarının aparılması o zaman doğru nəticələr verir ki, izolyasiyanın istilik zaman sabiti,  $\tau_d$  – dən çox b.yük olsun.

Məlumdur ki, kondensator tipli konstruksiyada keçiricilərin uzunluğu boyu cərəyanın qiyməti də dəyişir. Kondensatorlarda elektrod sisteminin izolyasiyaya görə yerləşmə vəziyyəti isə, aşağıdakı üç formada olur:-müstəvi, silindrik, disk şəkilli- Şək.10.1.1.





Şək.10.1.1. Müstəvi (a), silindrik (b) və disk (v) şəkilli kondensatorlar

Bütün hallarda elektrodlardan tutum cərəyanları keçir. Tutum cərəyanları tətbiq olunduğu nöqtədən, elektrodların sonuna qədər tutum keçiriciliyinin dəyişmə qanunu ilə azalır. Göstərilmiş hər üç kondensator sistemi üçün ekvivalent müqavimətləri təyin edək. Bu ekvivalent müqavimətlərdə real sistemdə olan enerji itkilərinə bərabər itkilər baş verəcəkdir.

Müstəvi kondensatorun köynəyinin uzunluğu boyu cərəyanın azalması aşağıdakı tənliklə ifadə edilir:

$$dI = -\frac{U\omega\varepsilon_0\varepsilon_n h}{\Delta_1} dx \quad (10.1.9)$$

İntegralladıqdan sonra aşağıdakı ifadə alınır:

$$I = -\frac{U\omega\varepsilon_0\varepsilon_n h}{\Delta_1} x + C_1 \quad (10.1.10)$$

burada –  $U$  tətbiq olunan gəginlik;  $\omega$  - dəyişən dairəvi bucaq tezliyi;  $\Delta_1$ - köynəklər arası izolyasiya qatının qalınlığı;  $\varepsilon_n$ - materialın nisbi dielektrik nüfuzluluğu;  $\varepsilon_0$ - elektrik sabiti;  $h$  - kondensator köynəyinin eni;  $x$  -cərəyanın tətbiq edildiyi nöqtədən, baxılan cari nöqtəyə qədər olan məsafədir. İntegral sabiti  $C_1$  -  $i$ , sərhəd şərtlərindən təyin etmək olar:-  $x=0$  olduqda,  $I=I_0=C_1$  olur. Onda, kondensator seksiyasına tətbiq edilən cərəyan:

$$I = I_0 \frac{L-x}{L} \quad (10.1.11)$$

Kondesator köynəyində istilik ayrılması:

$$P = \int_0^L I^2 \rho \frac{dx}{h\Delta} = \frac{\rho I_0^2}{h\Delta L^2} \int_0^L (L-x)^2 dx = \frac{I_0^2}{3h\Delta} \rho L \quad (10.1.12)$$

burada,  $\rho$  - kondensator köynəyinin materialının xüsusi müqaviməti,  $\Delta$ - köynəyin qalınlığıdır.

İstilik ayrılması başqa şəkildə aşağıdakı kimi hesablanır:

$$P = I_0^2 r_{ekv} \quad (10.1.13)$$

burada,  $r_{ekv}$  - köynəyinin ekvivalent müqavimətidir.

(10.1.12) və (10.1.13) ifadələrinin bərabərliyindən, köynəyin ekvivalent müqavimətini təyin edirlər:

$$r_{ekv} = \rho \frac{L}{3h\Delta} \quad (10.1.14)$$

Silindrik elektrod sistemləri üçün analogi hesablar və çevirmələr aparılırsa, daxili köynəklər üçün:

$$r_{ekvdax} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\rho L}{\pi \Delta (D_1 - \Delta)} \quad (10.1.15)$$

xarici köynəklər üçün:

$$r_{ekvxar} = \frac{1}{3} \cdot \frac{\rho L}{\pi \Delta (D_2 + \Delta)} \quad (10.1.16)$$

burada,  $D_1$  və  $D_2$  – uyğun olaraq izolyasiyanın daxili və xarici diametrləri;  $\Delta$  - köynəklərin qalınlığıdır.

Aralarında izolyasiya materialı olan disk şəkilli elektrodlar sistemi üçün ekvivalent müqavimət isə:

$$r_{ekv} = \frac{\rho}{8\pi \Delta} \cdot \left[ 1 + 4 \ln \frac{R_2}{R_1} - \left( 2 - \frac{R_1^2}{R_2^2} \right)^2 \right] \quad (10.1.17)$$

burada,  $\Delta$ -köynəklərin qalınlığı,  $R_2$ -disk elektrodunun xarici radiusu,  $R_1$ - cərəyan axan elektrodun radiusudur.

Elektrik izolyasiya konstruksiya sistemlərinin keçirici hissələrində işçi cərəyanlar ilə yaranan istilik prosesləri, qonşu fazların elektromaqnit induksiya cərəyanlarının hesabına da artır. Bu artım digər məmullara nisbətən, polad zirehli kabellərdə çox olur. Ona görə, əksər hallarda bir çox izolyasiya konstruksiyalarında, induksiya hesabına yaranan istilik nəzərdən atılır.

### 10.1.2. İzolyasiya gövdəsində istilik ayrılması

Elektrik izolyasiya konstruksiyalarının əsas hissəsini onların izolyasiya gövdəsi təşkil edir. Tərkib, forma və ölçülərinə görə onlar çox müxtəlif çeşidlərdə olurlar. Onlarda dielektrik itkiləri - $tg\delta$  və nüfuzluluq əmsalı-  $\epsilon_n$  mümkün qədər minimal qiymətlərdə olmalıdır.

İzolyasiya konstruksiyasını təşkil edən izolyasiya gövdəsində ayrılan istilik, dielektrik itkiləri hesabına baş verir və aşağıdakı formula ilə hesablanır:

$$P_{dt} = U^2 \omega C tg\delta_t \quad (10.1.18)$$

burada,  $P_{dt}$ -  $t$  temperaturunda dielektrik itkiləri hesabına izolyasiyada ayrılan gücdür;  $U$  - tətbiq edilən gərginlik;  $\omega$ - bucaq tezliyi;  $C$  - izolyasiyanın tutumu;  $tg\delta_t$  -  $t$  temperaturunda dielektrik itki bucağının tangensidir.

Hesabatlarda, tətbiq edilən  $U$  gərginliyinin ən böyük qiyməti götürülür. İzolyasiyanın təsadüfi və az bir zamanda təsir edən, ifrat gərginliklər hesabına qızması nəzərdən atılır. Güc şəbəkələrində istifadə edilən elektrik izolyasiya konstruksiyalarında istilik ayrılmasını hesabladıda gərginliyin təsiredici qiyməti sabit qəbul edilir. Elektrik izolyasiya konstruksiyalarının tutumunun zamandan və temperaturdan asılılığı da nəzərdən atılır. İzolyasiyanın temperaturu və dəyişən gərginliyin tezliyi əsasən  $tg\delta_t$ -ya təsir edir. Ona görə, (10.1.18) formulasında verilən  $tg\delta_t$ , işçi cərəyanının tezliyi və izolyasiyanın temperaturuna uyğun olaraq hesablanır.

(10.1.18) formulası sinusoidal gərginliklər üçün doğru olur. İstismar zamanı isə elektrik izolyasiyası bəzən, qeyri sinusoidal gərginliyə düşür məsələn, düzləndirilmiş

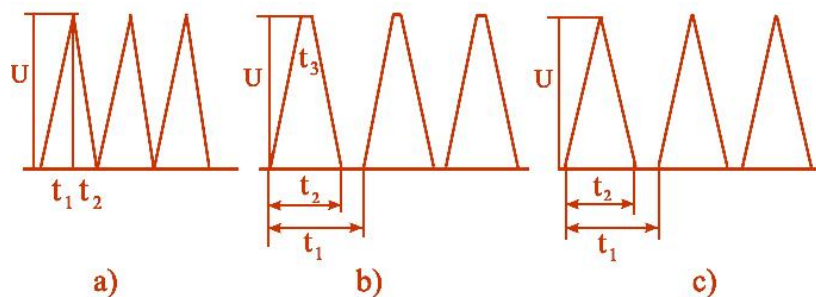
gərginlik və impuls verən qurğuların təsirlərinə məruz qalır. Bu zaman meydana çıxan yüksək harmonikalar nəticəsində elektrik izolyasiyasında güc itkiləri artır. Qeyri sinusoidal gərginliklər üçün istilik ayrılması aşağıdakı formuladan təyin edilir:

$$P_d = \sum_{i=1}^{i=n} U_i^2 \omega_i C \operatorname{tg} \delta_{ii} \quad (10.1.19)$$

burada,  $U_i$  və  $\omega_i$  –  $i$  harmonikanın gərginliyi və tezliyidir;  $\operatorname{tg} \delta_{ii}$  – verilmiş tezliyə və temperatura uyğun dielektrik itki bucağının tangensidir.

İtkiləri hesablamaq üçün, qeyri sinusoidal funksiyaları harmonikalara ayırır və sonra (10.1.19) formulası ilə dielektrik itkiləri təyin edilir.

Qeyri sinusoidal gərginliklər xüsusi hallarda aşağıdakı üç formada, texnikanın müxtəlif sahələrində geniş tətbiq edilən impuls şəkilində olurlar - Şək.10.1.2:



Şək.10.1.2. Müxtəlif formalı impuls gərginliklərin parametrləri a) mişarvari, b) trapes şəkilli, c) üçbucaq şəkilli

Təsir edən impuls gərginliklərin yaratdığı güc itkiləri aşağıdakı ifadələrlə hesablanır: - mişarvari impuls,

$$P_{dt} = \frac{U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta_t}{8} \cdot \frac{0.049 \cdot (t_1 - t_2)^2}{t_2^2}, \quad (10.1.20)$$

-Trapez şəkilli impuls üçün,

$$P_{dt} = \frac{U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta_t}{8} \cdot \frac{0.78 \cdot t_1^2}{t_2 - t_3}, \quad (10.1.21)$$

-Üçbucaq şəkilli impuls üçün,

$$P_{dt} = \frac{U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta_t}{8} \cdot \frac{0.78 \cdot t_1^2}{t_2^2}. \quad (10.1.22)$$

Sonuncu ifadələrdə verilmiş  $\operatorname{tg} \delta_t$ -nin qiymətləri impulsların dəyişmə iəzliliklərinə –  $\omega$ , uyğun olaraq götürülür. (10.1.20 – 10.1.22) formulaları  $\operatorname{tg} \delta_t$ -nin, mənbəin  $\omega$  tezliyindən asılı olmadığı hal üçün alınmışdır. Ona görə, bu formulalarla aparılan hesabatlarda alınan güc itkiləri nisbətən böyük qiymələrdə olur.

Qeyri sinusoidal gərginliklər təsiri ilə, istilik ayrılmasının dəqiq hesablarını aparmaq çox mürəkkəbdir. Ona görə, itkilərin hesablarını elektrik izolyasiyasının fiziki modelində yoxlamaq lazımdır.

Elektrik izolyasiya konstruksiyalarında kombinə edilmiş sistemlər geniş tətbiq edilir. Onlar paralel və ya ardıcıl qoşulmuş, müxtəlif xarakteristikali izolyasiya qatlarından ibarət

olur. Belə konstruksiyalarda istilik ayrılımalarının hesablarında sistemə daxil olan ayrı-ayrı izolyasiya qatlarının tutumlarını bilmək lazım gəlir. Adətən izolyasiya qatları, elektrik sahəsinin təsir istiqamətinə görə ardıcıl birləşmiş olurlar Şək.10.1.3.



Şək.10.1.3. Çox qatlı izolyasiyanın əvəz sxemi

Ardıcıl birləşmiş əvəz sxeminə uyğun olaraq, çox qatlı izolyasiya sisteminin  $tg\delta$  və tutumu üçün:  $-tg\delta=R\omega C$ ,

$$C = \frac{1}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{C_i}} \quad (10.1.23)$$

burada,  $R$ - əvəz sxemindən dəyişən cərəyan axarkən, real materialın dielektrik itkilərinə uyğun enerji itkilərini göstərən müqavimətdir,  $C$ -izolyasiyanın cəm tutumudur.

Ardıcıl birləşmiş sxemə görə:  $R = \sum_{i=1}^{i=n} R_i$  olur. Son ifadələrdən yekun olaraq  $tg\delta$  üçün aşağıdakı ifadə yazılır:

$$tg\delta = \frac{1}{\sum_{i=1}^{i=n} 1/C_i} \sum_{i=1}^{i=n} \frac{tg\delta_{i_i}}{C_i} \quad (10.1.24)$$

burada  $n$ - izolyasiya qatlarının sayı,  $tg\delta_{i_i}$  və  $C_i$  –i qatının dielektrik itki bucağının tangensi və tutumlarıdır. Məsələn, hopdurulmuş kağız izolyasiya qatı üçün (10.1.24) formulasını tətbiq edək. Hopdurulmuş dielektrikdə yağ, qatlar arasını dolduraraq kağız hüceyrələri ilə ardıcıl birləşmiş izolyasiya sistemi yaradırlar. Kağız qatları və hopdurucu yağ təbəqəsinin nisbi qalınlıqları və sıxlıqları arasında aşağıdakı nisbət asılıqları vardır:

$$\frac{\Delta_t}{\Delta} = \frac{\rho}{\rho_t}; \quad \frac{\Delta_y}{\Delta} = \frac{\rho_t - \rho}{\rho_t},$$

burada,  $\Delta$ ,  $\Delta_t$  və  $\Delta_y$  – uyğun olaraq, kağız, kağız toxuması və hopdurucu mayenin qalınlıqlarıdır;  $\rho$  və  $\rho_t$  – uyğun olaraq, kağızın və toxumalarının sıxlığıdır.

(10.1.24) –ə formulasına əsasən, iki qatlı izolyasiya üçün  $tg\delta$ -nin aşağıdakı hesabat ifadəsi alınır:

$$tg\delta = \frac{C_y}{C_y + C_t} tg\delta_t + \frac{C_t}{C_y + C_t} tg\delta_y$$

Hopdurucu yağın və kağız toxumasının tutumları:

$$C_y = \frac{\varepsilon_{yn} \varepsilon_0 S}{\Delta_y}; \quad C_t = \frac{\varepsilon_{tn} \varepsilon_0 S}{\Delta_t}.$$

Tutumların bu qiymətlərini,  $tg\delta$ -nin formulasında yazıb aşağıdakı yekun ifadəni almaq olar:

$$tg\delta = \frac{tg\delta_t}{1 + \frac{\epsilon_{tn} \rho_t - \rho}{\epsilon_{yn} \rho}} + \frac{tg\delta_y}{1 + \frac{\epsilon_{yn} \rho}{\epsilon_{tn} \rho_t - \rho}} \quad (10.1.25)$$

(10.1.25) formulasını hopdurulmuş dielektrikin  $tg\delta$ -nın hesablanmasında istifadə etdikdə, sıx qablaşmış dielektrikin  $\epsilon_{tn}$  nüfuzluluğu və  $tg\delta$ -sı məlum olmalıdır.

### 10.1.3. Elektrik izolyasiyasında istilik ötürmələri

İzolyasiya konstruksiyasının keçirici və dielektrik gövdəsində ayrılan istilik enerjisi ətraf mühitə ötürülür. İstilik, material və onun sərhəddini bürüyən mühitdən ətrafa istilik keçirmə, konveksiya və şualanma ilə verilir.

*İstilik keçirmə* bir cismin müxtəlif temperaturlu hissələri və ya müxtəlif cisimlərin toxunan səthləri arasında istiliyin molekulyar köçürülməsinə deyilir.

*Konvektiv istilik mübadiləsi* maddənin hissəciklərinin (atom və molekullarının) fəzada yerdəyişməsi ilə baş verir.

*Şualanma* ilə istilik ötürmə elektromaqnit şuaları ilə istiliyin verilməsinə deyilir.

*İstilik ötürmə* və ya istilik mübadiləsi istiliyin qızmış cisimdən soyuq cismə verilməsidir.

İstiliyin bərk cisimdən maye və ya qaz mühitinə ötürülməsinə *istilik vermə* deyilir.

İstilik ötürmənin mürəkkəb mexanizmlərini belə sadə hadisələrə ayırmaq məsələnin fiziki mahiyyətini açır və onun həllini asanlaşdırır. Həqiqətdə istilik hər üç mexanizmlə istilik keçirmə, şualanma və konveksiya ilə baş verir. Məsələn, elektrik izolyasiya konstruksiyalarının aralarında maye və ya qaz olan, bərk izolyasiya qatından təşkil olunan sistemlərində istilik hər üç mexanizmlə yayılır.

Elektrik izolyasiya konstruksiyalarında istilik adətən onun mərkəzindən ətraf mühitə ötürülür. Bu zaman istilik sahəsi üçün, bərk cisimdən *istilik keçirmə*, qazlardan *konveksiya və şualanma*, mayelərdən isə *istilik keçirmə və konveksiya* mexanizmləri qəbul edilir. Cisimdə temperatur qradienti olduğu halda, onun bir hissəsindən digər qisminə istiliyin öz-özünə ötürülməsi də mümkündür. Bu halda istilik cismin temperaturu çox olan hissəsindən az olan tərəfə daşır. Ümumi halda cismin temperaturu, həm koordinatlara həm də zamana görə dəyişən bir funksiyadır:  $t = \psi(x, y, z, \tau)$

Fəzanın bütün nöqtələrinə yayılmış temperaturun əhatə etdiyi yerlər (sahələr) bütövlükdə istilik sahəsi adlanır. Əgər fərqli nöqtələrdə, temperatur zamandan asılı olaraq dəyişirsə istilik sahəsi qərarlaşmamış - *qeyri stasionar*, sabit olursa qərarlaşmış və ya *stasionar* sahə adlanır. Elektrik izolyasiya konstruksiyalarında qeyri stasionar istilik sahəsi şəbəkəyə qoşulma, açılma və qurğuların işçi rejimlərinin dəyişməsi hallarında meydana çıxır. Bu hallarda istilik hesabı xeyli mürəkkəbləşir. Maye və polimerlərdən ibarət elektrik izolyasiya konstruksiyaları böyük istilik tutumuna malik olduqlarından, onlarda istilik ətaləti də çox olur. Böyük ölçü və həcmə malik olan elektrik izolyasiya konstruksiyalarda istiliyin zaman sabiti 50-60 dəqiqəyə çatır. Əgər dəyişən iş rejiminin periodu qızmanın zaman sabitindən kiçik olarsa, istilik ətaləti hesabına izolyasiyanın temperaturu müəyyən orta bir qiymət ətrafında dəyişəcəkdir. Temperaturun bu orta qiymətdən olan meylətmələri çox böyük olmadığından onları nəzərdən atmaq olar. Bu halda istiliyi, stasionar proses kimi, ayrılan istiliyi isə ekvivalent istilik ayrılması kimi, § 10.1.1 və 10.1.2-də verilmiş usullarla hesablayırlar.

İstilik ayrılmasının dəyişmə periodu qızmanın zaman sabitinə uyğun olarsa, proses qeyri stasionar hal kimi hesablanır. Əgər yükün dəyişmə periodu qızmanın zaman sabitindən çox böyük olarsa, onda hər dəyişmə periodundakı iş rejiminə stasionar hal kimi baxmaq olar. Adətən yükün dəyişmə periodu, qızmanın zaman sabitindən ya çox böyük, ya da çox

kiçik olduğundan istilik proseslərinə stasionar hal kimi baxırlar. Elektrik sahəsində olduğu kimi, temperatur sahəsi də bir, iki və üç ölçülü ola bilər. Temperatur sahəsinin həlli, elektrik sahələrində istifadə edilən usullarla həll edilir.

Bərabər temperaturlu nöqtələrin həndəsi yerinə, ekvipotensial elektrik sahəsinə uyğun olaraq, *izotermik* istilik sahəsi deyilir. Temperatur sahəsinə xarakterizə etmək üçün, temperatur qradienti istifadə edilir:

$$\text{grad } t = \frac{\partial t}{\partial n} n_0 = \nabla t \quad (10.1.26)$$

burada,  $n$  - izotermik səthə perpendikulyar olan  $n_0$  kimi, vahid vektordur.

Temperatur qradienti izotermik səthə normal vektor olub, temperaturun artım istiqamətində yönəlir. Vahid zamanda izotermik səthdən keçən istiliyin miqdarı istilik seli adlanır və  $Q$  ilə işarə edilir. İzotermik sahənin vahid səthindən keçən istilik miqdarına, istilik selinin *sıxlığı* -  $q$  deyilir. İstilik selinin sıxlığı -  $q$ , verilmiş nöqtədə temperaturun azalma istiqamətinə tərəf yönəlmiş vektordur. Deməli  $q$  istilik vektoru, onun qradientinin əksinə yönəlir. Ona görə, istilik keçirmə ilə istilik ötürülməsi halında, aşağıdakı Furiye tənliyini yazmaq olar[20] :

$$q = -\lambda \text{ grad } t \quad (10.1.27)$$

burada  $\lambda$  - maddənin *istilik ötürmə xassəsini göstərən əmsaldır*,  $1^{\circ}C$  temperatur qradientində, vahid izotermik səthdən ötürülən istiliyin miqdarına bərabərdir. İstilik ötürmə əmsalı materialın *quruluşu, sıxlığı, nəmliyi, təzyiq və temperaturundan* asılıdır. Sıxlıq, təzyiq və temperatur artdıqca istilik ötürmə əmsalı -  $\lambda$  artır. Elektrik izolyasiya materiallarının nəmliyi onların istilik ötürmə əmsallarını daha çox artırır. Ona görə məsələli materialları mayelərlə hopdurduqda, onların istilik ötürmə xassələri güclənir.

Bərk müstəvi dielektriklər üçün istilik hesabları aparıldıqda, onların divarını izotermik səth kimi qəbul edərək, bir ölçülü istilik sahəsinə keçirlər[21]. Belə sahədə istilik selinin sıxlığı üçün Furiye tənliyi aşağıdakı kimi yazılır:

$$q = -\lambda \frac{dt}{dx} \quad (10.1.28)$$

İntegralladıqdan sonra,  $qx = -\lambda t + C_1$  alınır. İntegral sabiti  $C_1$  sərhəd şərtlərindən təyin edilir:  $x=0$  üçün,  $t=t_1$  və  $C_1 = \lambda \cdot t_1$  alınır. Onda istilik selinin sıxlığı üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$q = \frac{\lambda}{x} (t_1 - t) \quad (10.1.29)$$

Əgər, müstəvi lövhənin qalınlığı  $x=\Delta$  olarsa,

$$q = \frac{\lambda}{\Delta} (t_1 - t_0) \quad \text{ifadəsi alınır.} \quad (10.1.30)$$

Burada  $t_1$  - dielektrik lövhənin ən çox qızmış tərəfinin temperaturu,  $t_0$  - bu lövhənin soyuq sərhəddindəki temperaturdur.

(10.1.30) ifadəsinin sağ və sol tərəfini lövhənin- $S$  səth sahəsinə vurduqda, istilik selinin miqdarı-  $Q$  alınır:

$$Q = \frac{\lambda}{\Delta} S \cdot (t_1 - t_0) \quad (10.1.31)$$

Elektrik izolyasiya konstruksiyalarının daxili izolyasiya qatlarında ESG təsirindən dielektrik itkiləri hesabına əlavə güc itkiləri meydana çıxır. Bu itkilər hesabına ümumi istilik seli dəyişir və  $x$  artdıqca o da artır. Müstəvi lövhənin bir tərəfindən  $q_1$  sıxlığında istilik seli keçdiyi hal üçün dəyişən gərginlik tətbiq edilmiş elektrik izolyasiya qatına baxaq. Burada, dielektrik itkiləri hesabına  $x$  nöqtəsində istilik selinin sıxlığının artımı üçün aşağıdakı ifadə yazıla bilər:

$$q_x = (E^2 \omega \varepsilon_0 \varepsilon_n \operatorname{tg} \delta) \cdot x \quad (10.1.32)$$

burada  $E^2 \omega \varepsilon_0 \varepsilon_n \operatorname{tg} \delta$  dielektrikin vahid həcmində ayrılan istiliktir. İzolyasiya qatında istiliyi nəzərə almaqla (10.1.28) formulasını aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$q_1 + q_x = -\lambda \frac{dt}{dx} \quad (10.1.33)$$

(10.1.32) - dən  $q_x$  - in qiymətini (10.1.33) - də yerinə yazaraq, inteqralladıqdan sonra aşağıdakı ifadəni almaq olar:

$$q_1 \cdot x + (E^2 \omega \varepsilon_0 \varepsilon_n \operatorname{tg} \delta) x^2 / 2 = -\lambda t + C_1 \quad (10.1.34)$$

$C_1$ -inteqral sabiti sərhəd şərtindən təyin edilir: -  $x = 0$  nöqtəsi üçün,  $t = t_1$  və  $C_1 = \lambda t_1$  kimi tapılır. Əgər izolyasiyanın qalınlığını  $\Delta$ -ya bərabər götürsək, istilik düşgüsü üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$t_1 - t_0 = q_1 \frac{\Delta}{\lambda} + (E^2 \omega \varepsilon_0 \varepsilon_n \operatorname{tg} \delta) \frac{\Delta^2}{2\lambda} \quad (10.1.35)$$

$\Delta$ -qatında istilik selinin sıxlığı üçün  $q_q = (E^2 \omega \varepsilon_0 \varepsilon_n \operatorname{tg} \delta) \Delta$  olduğunu nəzərə aldıqda, istilik düşgüsünü aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$t_1 - t_0 = \left( q_1 + \frac{q_q}{2} \right) \cdot \frac{\Delta}{\lambda} \quad (10.1.36)$$

(10.1.30) və (10.1.36) ifadələrinin müqayisəsindən görünür ki, daxilində əlavə istilik ayrılan izolyasiya qatındakı istilik mənbəini (10.1.30) ifadəsi ilə hesablamaq olar. Bu zaman temperatur düşgüsünün hesabı nümunənin ən çox qızmış olan qatında istilik selinin sıxlığına- $q_q$ , izolyasiya qatında ayrılan istilik selinin  $q_q$  yarısı əlavə edilir. (10.1.36) ifadəsində izolyasiya qatının dielektrik itkilərinin temperatur asılılığı olmadığı nəzərə alınmışdır. Ona görə bu ifadə, nisbətən kiçik ölçülü və az istilik itkisi olan izolyasiya qatı üçün doğru olar.

#### 10.1.4. Silindrik çox qatlı izolyasiyada istilik hesabları

*Silindrik formalı izolyasiya* nümunələrində hesablar analogi metodika ilə aparılır. Daxili radiusu  $r_1$ , xarici radiusu  $r_2$  olan silindrik nümunədə temperatur qradienti radius boyu dəyişdiyindən Furye tənliyi aşağıdakı kimi yazılır:

$$q_r = -\lambda \frac{dt}{dr} \quad (10.1.37)$$

Daxili izolyasiya qatında istilik ayrılması olmayan, silindrik nümunənin divarlarından vahid zamanda ətrafa ötürülən istiliyin miqdarı sabit olur.  $r$ - radiuslu izotermik səthdən keçən istilik seli aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir:

$$Q_r = q_r 2\pi r L \quad (10.1.38)$$

burada  $Q_r$  –  $r$  radiuslu izotermik səthdən keçən istilik selinin miqdarı,  $q_r$ -həmin səthdən keçən istilik selinin sıxlığı;  $L$ - silindrik divarın hündürlüyüdür. (10.1.38) ifadəsindən,  $Q_r = Q = \text{const}$  şərtində  $q_r$ -i, (10.1.37) tənliyində yerinə yazıb inteqralladıqda aşağıdakı ifadə alınır:

$$\frac{Q}{2\pi L} \ln r = -\lambda t + C_1 \quad (10.1.39)$$

İnteqral sabiti  $C_1$ -i sərhəd şərtlərindən təyin edirlər:  $r=r_1$  olduqda,  $t=t_1$  və  $C_1 = \lambda t_1 + \frac{Q}{2\pi L} \ln r_1$  olur.  $C_1$ -in qiymətini (10.1.39)-da yerinə yazaraq aşağıdakı ifadəni almaq olar:

$$\frac{Q}{2\pi L} \ln \frac{r}{r_1} = \lambda (t_1 - t) \quad (10.1.40)$$

Əgər  $r$ -i silindrik divarın xarici radiusu-  $r_2$  –yə bərabər götürsək, istilik düşgüsü üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$t_1 - t_0 = \frac{Q}{2\pi \lambda L} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (10.1.41)$$

burada  $t_0$ -silindrik divarın xaricindəki temperaturdur.

Tətbiq edilən gərginlik təsiri ilə silindrik izolyasiya qatında dielektrik itkiləri hesabına əlavə istilik ayrılarsa, istilik selinin artımı üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$dQ = 2\pi r l \frac{E_1^2 r_1^2}{r^2} \omega \varepsilon_0 \varepsilon_n \text{tg} \delta dr \quad (10.1.42)$$

burada  $E_1$  - $r_1$  radiuslu izolyasiya qatının daxili səthinə təsir edən ESG-yi,  $r$ -ixtiyari cari radius,  $L$ -silindrin hündürlüyüdür.

(10.1.42) ifadəsini inteqralladıqdan sonra,  $r=r_1$  və  $Q=Q_1$  sərhəd şərtlərini nəzərə almaqla, istilik seli üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$Q = Q_1 + \left( \pi l E_1^2 r_1^2 \omega \varepsilon_0 \varepsilon_n \text{tg} \delta \right) \ln \frac{r}{r_1} \quad (10.1.43)$$

$Q$ -nün bu ifadəsini Furye tənliyinin yazılışında istifadə etdikdə, (10.1.37) və (10.1.38) –ə əsasən aşağıdakı tənlik alınır:

$$\frac{Q_1}{2\pi r l} + \frac{1}{2\pi r l} \left( \pi l E_1^2 r_1^2 \omega \varepsilon_0 \varepsilon_n \text{tg} \delta \right) \ln \frac{r}{r_1} = -\lambda \frac{dt}{dr} \quad (10.1.44)$$

(10.1.44) tənliyinin inteqralı aşağıdakı ifadəni verir:

$$\frac{Q_1}{2\pi l} \ln r + \frac{1}{2\pi l} \left( \pi l E_1^2 r_1^2 \omega \varepsilon_0 \varepsilon_n \text{tg} \delta \right) \frac{\left( \ln \frac{r}{r_1} \right)^2}{2} = -\lambda t + C_1$$



$C_I$ -inteqral sabitini  $r=r_1, t=t_1$  və  $Q=Q_1$  sərhəd şərtlərindən aşağıdakı kimi təyin edirlər:

$$C_I = \frac{Q_1}{2\pi\ell} \ln r_1 + \lambda t_1$$

$C_I$ -inteqral sabitini yerinə yazıb, aşağıdakı ifadəni alırlar:

$$\frac{2\pi\ell\lambda}{\ln \frac{r}{r_1}} (t_1 - t_0) = Q_1 + \pi\ell E_1^2 r_1^2 \omega \varepsilon_0 \varepsilon_n t g \delta \ln \frac{r}{r_1} \quad (10.1.45)$$

$r$ -i silindrik qatın xarici radiusu  $r_2$ -yə bərabər götürərək dielektrik qatında əlavə istilik-  $Q_q$  ayrılmasını nəzərə alsaq, (10.1.45) tənliyini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$t_1 - t_0 = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi\lambda \cdot \ell} \cdot \left( Q_1 + \frac{Q_q}{2} \right) \quad (10.1.46)$$

burada dielektrik itkiləri hesabına iç qatda ayrılan istilik seli:

$$Q_q = \pi\ell E_1^2 r_1^2 \omega \varepsilon_0 \varepsilon_n t g \delta \ln \frac{r_2}{r_1} \quad \text{olur.} \quad (10.1.47)$$

(10.1.41) və (10.1.46) ifadələrinin müqayisəsindən görünür ki, ikinciyə izolyasiyanın daxili qatında ayrılan istilik selinin (10.1.47) yarısı əlavə edilmişdir. (10.1.46) ifadəsinin alınmasında dielektrik itkiləri və bucağın tangensinin temperatur asılılığı nəzərdən atılmışdır. Ona görə, temperatur düşgüsünün qiyməti nisbətən böyük alınır. Bu səbəbdən, (10.1.46) ifadəsi nazik təbəqələr üçün tətbiq edildikdə daha dəqiq nəticələr verir.

Deyildiyi kimi, kombinə edilmiş daxili izolyasiya konstruksiyaları çox hallarda elektrik və istilik sahəsinə görə ardıcıl birləşmiş qatlardan təşkil olunur. Divarları fərqli materialların sərhəd qatlarından ibarət olan belə konstruksiyaların daxili istilik ayrılımlarını nəzərə almadıqda, istilik düşgüsü aşağıdakı kimi hesablanır:

$$\Delta t = \sum_{i=1}^n \Delta t_i = q \sum_{i=1}^n \frac{\Delta_i}{\lambda_i} \quad (10.1.48)$$

Elektrik sahəsinin təsiri ilə istilik ayrılımları nəzərə alındıqda isə, aşağıdakı ifadə tətbiq edilir:

$$\Delta t = \sum_{i=1}^n \Delta t_i = q_1 \sum_{i=1}^n \frac{\Delta_i}{\lambda_i} + \sum_{i=1}^n \left( \frac{q_{qi}}{2} + \sum_{i=1}^{i-1} q_{qi} \right) \frac{\Delta_i}{\lambda_i} \quad (10.1.49)$$

burada  $\Delta t$ - çoxqatlı konstruksiyanın, baxılan kənar divarları arasında cəmi temperatur düşgüsü,  $\Delta t_i$ -i qatında olan temperatur düşgüsüdür;  $q$ -qatlarda istilik ayrılması olmadığı halda,  $q_1$ -çoxqatlı izolyasiyanın birinci qatının sərhəddində,  $q_{qi}$ -i daxili qatında ayrılan istilik sellərinin sıxlıqlarıdır;  $\Delta_i$ -i qatlarının qalınlığı,  $\lambda_i$ - həmin qatların istilik keçirmə əmsallarıdır.

Çox qatlı silindrik divarlı konstruksiyaların daxili qatlarında istilik ayrılımları nəzərdən atıldığı hallarda, temperatur düşgüsü aşağıdakı ifadə ilə hesablanır:

$$\Delta t = \sum_{i=1}^n \Delta t_i = \frac{Q}{2\pi\ell} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i} \quad (10.1.50)$$

İzolyasiya qatlarında əlavə istilik ayrılımları nəzərə alındıqda isə, temperatur düşgüsü aşağıdakı kimi ifadə edilir:

$$\Delta t = \frac{Q_1}{2\pi\ell} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i} + \frac{1}{2\pi\ell} \sum_{i=1}^n \left( \frac{Q_{qi}}{2} + \sum_{i=1}^{i-1} Q_{qi} \right) \frac{\ln \frac{r_{i+1}}{r_i}}{\lambda_i} \quad (10.1.51)$$

burada  $Q_1$  –konstruksiyanın baxılan birinci qatının istilik seli,  $Q_{qi}$  -dielektrik itkiləri hesabına qatlarda istilik ayrılımlarının yaratdığı əlavə istilik seli;  $L$  –silindrin hündürlüyü,  $r_i$  və  $r_{i+1}$  - i qatının daxili və xarici radiusları;  $\lambda_i$ - i qatının istilik keçirmə əmsəlidir.

Son ifadələri, qalın divarları olan izolyasiya konstruksiyalarında temperatur düşgülərinin hesabına da tətbiq etmək olar. Bu halda qalın divarları, bir sıra nazik qalınlıqlara ayırmaq lazım gəlir. Sonra hər bir qatdakı temperatur düşgülərini (10.1.36) və ya (10.1.46) ifadələrinə uyğun hesablayırlar. Bu zaman düsturlarda  $q_1$  və  $Q_1$ -i bütün əvvəlki qatların istilik ayrılımlarının yaratdığı, bütün istilik sellərinin cəminə bərabər götürürlər.

Bəzən, izolyasiya konstruksiyaları istilik sahəsinin yayılma istiqamətinə nəzərən paralel qatlar kimi yerləşir. Hər qatdakı istilik seli isə, (10.1.31) ifadəsi ilə hesablanır. Bu halda cəm istilik seli aşağıdakı kimi hesablanabilir:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i = \frac{t_1 - t_0}{\Delta} \sum_{i=1}^n \lambda_i S_i \quad (10.1.52)$$

burada  $S_i$ - i qatı üçün səthin sahəsidir:-  $S_i = h d_i$  kimi hesablanır. Digər tərəfdən cəm istilik seli aşağıdakı başqa bir ifadə ilə təyin edilə bilər:

$$Q = \frac{\lambda_{ekv}}{\Delta} S (t_1 - t_0) \quad (10.1.53)$$

burada  $\lambda_{ekv}$ -paralel yerləşmiş qatların ekvivalent istilik ötürməsi,  $S = h \sum_{i=1}^{i=n} d_i$  cəmi en kəsik sahəsidir. Tənliklərin sağ tərəflərini bərabər götürsək, istilik ötürmə əmsəli üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$\lambda_{ekv} = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i d_i}{\sum_{i=1}^n d_i} \quad (10.1.54)$$

### 10.1.5. İstilik ötürmə mexanizmləri

Real izolyasiya konstruksiyalarında ayrı-ayrı hissələr və bütöv sistemdə temperatur düşgülərini hesablamaq üçün, istilik ötürmə mexanizmləri istifadə edilir. Məlumdur ki, üç əsas istilik ötürmə mexanizmi vardır:- konvektiv, istilik keçirmə və şüalanma. İstilik seli, konstruksiyanın ölçüsü, forması və istilik ötürmə xassələri izolyasiyada temperaturun artımını təyin edir.

Konvektiv istilik mübadiləsində istilik, atom və molekulların (kütlə) yerdəyişməsi ilə ötürülür. Bu halda istilik seli aşağıdakı kimi hesablanır:

$$Q = \alpha_k S (t_d - t_m) \quad (10.1.55)$$

burada  $\alpha_k$  –*konveksiya istilik ötürmə əmsəli*,  $S$ -istilik verilən (soyudulan və ya qızdırılan) divarın səthinin sahəsi,  $t_d$  –divarın temperaturu,  $t_m$  –ətraf mühitin (qaz və ya maye)

temperaturudur. *Konveksiya ilə istilik ötürmə əmsalı, vahid zamanda, izolyasiyanın vahid səthindən, temperaturlar fərqi 1°C olan qaz və ya maye mühitinə ötürülən istilik selinin miqdarına deyilir.* İstilik ötürmə əmsalı- $\alpha_k$ , maye və qazın xassələrindən, onların bərk izolyasiya ətrafındakı hərəkət sürətindən, divarların ölçü və formasından asılı olaraq dəyişir.

*İstilik keçirmə ilə istilik ötürmə əmsalı*, temperatur gradienti hesabına olub, istilik selinin, izolyasiyanın temperaturu çox olan yerlərindən az olan sahələrinə tərəf yayılmasını xarakterizə edir.

*Elektromaqnit şüalanması* ilə istilik ötürülməsinə, yüksək temperaturlarda daha çox təsadüf edilir. Bu zaman ötürülən istilik selinin miqdarı, konvektiv istilik ötürməyə analoji olaraq aşağıdakı ifadə ilə hesablanır:

$$Q = \alpha_s S (t_d - t_m) \quad (10.1.56)$$

burada  $\alpha_s$  –*şüalanma ilə istilik ötürmə əmsalı:-vahid zamanda, izolyasiyanın vahid səthindən, temperaturlar fərqi 1°C olan mühitə ötürülən istilik selinin miqdarıdır.* Bu istilik ötürmə mexanizmi, cisimlərin istilikdən şüalanma əmsalı və onların temperaturundan asılıdır.

İstilik mübadiləsi eyni zamanda hər üç mexanizmə görə baş verir. Bəzi hallarda isə, hesabatlarda onların bu və ya digər mexanizmi nəzərdən atılır. Bir sıra hallarda isə, hər üç mexanizm nəzərə alınmalı olur. Məsələn, bərk cisimlərdə, işçi temperaturlar həddlərində, şüalanma və konveksiya istilik ötürməsinə nəzərdən atılır. Qazlarda olan istilik ötürmə isə, əksinə şüalanma və konveksiya ilə keçir. Hesabatlarda çox zaman istiliyin, aralıqda olan bərk izolyasiya qatı ilə, bir qaz (maye) mühitindən digər qaz (maye) mühitinə ötürülməsinə baxılır. İstilik ötürən bərk izolyasiya qatı üçün, istilik I mühitdən divara, divarın öz daxilində və divardan II mühitə ötürülməsi kimi hesablanmalıdır. İzolyasiya qatı müstəvi şəkilində olarsa, hesabat aşağıdakı kimi aparılır (10.1.48) və (10.1.52):

$$\left. \begin{aligned} t_1 - t_2 &= \frac{Q}{\alpha_1 S} \\ t_2 - t_3 &= \frac{Q}{S} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta_i}{\lambda_i} \\ t_3 - t_4 &= \frac{Q}{\alpha_2 S} \end{aligned} \right\} \quad (10.1.57)$$

burada  $t_1$  və  $t_4$  I və II qaz (maye) mühitlərinin temperaturları,  $t_2$  və  $t_3$  bərk dielektrik müstəvisinin I və II mühitlə toxunan səthlərinin temperaturlarıdır;  $S$ - səthin sahəsi;  $\Delta_i$  və  $\lambda_i$  uyğun olaraq divar qatının qalınlıqları və istilik ötürmə əmsalları;  $Q$ - istilik selinin miqdarıdır. (10.1.57) formulasına kompleks əmsallar daxil edilmişdir:-  $\alpha_1 = \alpha_{k1} + \alpha_{s1}$  və  $\alpha_2 = \alpha_{k2} + \alpha_{s2}$  – onlar I mühitdən izolyasiyaya və izolyasiyadan II mühitə konveksiya və şüalanma ilə istilik ötürmə əmsallarının cəmidir. Tənliklərin sağ və sol tərəflərinin cəmi aşağıdakı ifadələri verir:

$$t_1 - t_4 = \frac{Q}{S} \left( \frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\Delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \right) \quad (10.1.58)$$

$$\text{və ya} \quad k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad \text{və} \quad Q = kS(t_1 - t_4) \quad (10.1.59)$$

$k$  əmsalı kompleks istilik ötürmə əmsalıdır. Əgər izolyasiya aralığı silindrik qatlardan ibarət olarsa, onda:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 S_1} + \frac{1}{2\pi\ell} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i} + \frac{1}{\alpha_2 S_2}} \quad (10.1.60)$$

kimi yazılar.

burada  $S_1$  və  $S_2$  silindrik divarın I və II mühitlə toxunan daxili və xarici səthlərinin sahəsi,  $\alpha_1$  və  $\alpha_2$  – uyğun olaraq, istiliyin I mühitdən izolyasiyaya, izolyasiyadan isə II mühitə konveksiya və şüalanma ilə keçən haldakı, kompleks istilik ötürmə əmsallarıdır.

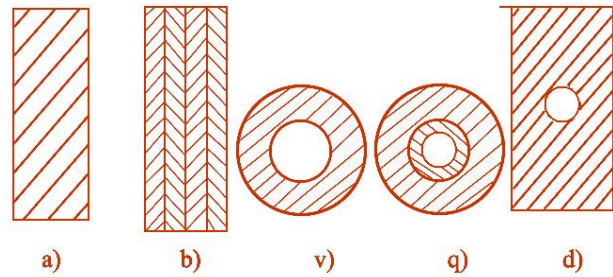
İstilik ötürmə əmsallarını bilərək, axatarılan temperaturlar fərqi asanlıqla hesablamaq olar. Lakin, istilik ötürmə əmsalları ilə aparılan hesablar, daxili istilik ayrılımları olmadıqda və ya onlar çox az olduqda daha məqsədə uyğundur. Daxili istilik ayrılımları intensiv və yüksək qiymətlərdə olduqda isə, (10.1.59) və (10.1.60) ifadələrinin tətbiqi böyük xətlər verir. Belə hallarda istilik hesabları oxşarlıq kriteriyalarının tətbiqi ilə olan usullarla aparılır.

### 10.1.6. Oxşarlıq kriteriyaları və onların istilik hesablarına tətbiqi

Konvektiv istilik mübadiləsi hərəkətdə olan qaz və ya mayenin istilik daşması və onların axın xarakteri ilə təyin olunur. İstilik daşıyan qaz və maye iki növ: *məcburi* və *sərbəst* hərəkətdə olur.

Sərbəst axın, isti və soyuq halda olan, qazın (mayenin) sıxlıqlar fərqi yaratdığı qavitasiya ilə baş verir. Hissəciklərin (atom və molekulların) sərbəst hərəkətini təbii konveksiya adlandırırlar. Məcburi hərəkət isə, nasos, ventilyator və.s kimi qurğuların vasitəsi ilə yaranır. Konvektiv istilik mübadiləsi zamanı, yaranan istilik vermə prosesi müxtəlif kəmiyyətlərdən mürəkkəb asılığa malikdir :- məsələn, cismin ölçüsü, forması, maye toxunan səthin və mayenin temperaturu, sürəti və fiziki xassələrindən asılı olur şəkl.10.1.4. Fiziki xassələr dedikdə mayenin istilik tutumu, özüllülüüyü, istilikdən genişlənmə əmsalı və s. aiddir.

İstilik vermə əmsalının belə mürəkkəb asılılıqları məsələnin ümumi həllini çətinləşdirir. Ona görə, (10.1.59) formulasını yüksək gərginlikli izolyasiya və keçirici konstruksiyalarda istilik hesablarına tətbiq etmək üçün həndəsi oxşarlıq kriteriyalarından istifadə edilir.



Şəkl.10.1.4. İstilik ötürmə səthlərinin müxtəlif forma ölçüləri a) müstəvi, b) çoxqatlı müstəvi, v) silindrik, q) çoxqatlı silindr, d) izolyasiya içərisində olan istilik daşıyıcı boru

Təcrübi nəticələrin ədədi oxşarlığı Nüsselt – $Nu$  kriteriyası ilə xarakterizə edilir. Bu kriteriya konvektiv istilik mübadiləsinin intensivliyini göstərir:

$$Nu = \frac{\alpha_k \cdot \ell}{\lambda} \quad (10.1.61)$$

burada  $\alpha_k$  –konvektiv istilik mübadiləsi halında istilik vermə əmsalı,  $l$ -xarakterik həndəsi ölçü,  $\lambda$ -bərk dielektrik ətrafında qaz və ya mayenin istilik ötürmə əmsalıdır.

Sərbəst şəkildə keçən konvektiv istilik mübadiləsi üçün Grasshov kriteriyası – $Gr$  tətbiq edilə bilər. Grasshov kriteriyası şaquli konstruksiyalarda qaz və ya mayenin konveksiya prosesində qaldırıcı qüvvəsini və ya mübadilə intensivliyini göstərir:

$$Gr = g\beta \cdot \frac{\ell^2}{\nu^2} \cdot \Delta t \quad (10.1.62)$$

burada  $g$ -sərbəst düşmə təcili,  $\beta$ -mühitin temperaturdan həcmi genişlənmə əmsalı,  $l$ -sistemin xətti ölçüsü,  $\nu$ -maye kinematik özüllük əmsalıdır.

Maye və ya qazın məcburi hərəkətində axının hidromexaniki oxşarlığı Reynolds ədədi ilə təyin edilir:

$$Re = \frac{\nu \cdot \ell}{\nu} \quad (10.1.63)$$

burada  $\nu$ -maye və ya qazın orta hərəkət sürətidir.

Konvektiv istilik mübadiləsində iştirak edən maye və ya qazın istilik-fiziki xassələri isə Prandtl- $Pr$  kriteriyaları ilə göstərilir:

$$Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{\lambda} \quad (10.1.64)$$

burada  $\mu = \rho \nu$  mayenin dinamik özüllük əmsalı,  $\rho$ -sıxlıq,  $C_p$  –sabit təzyiqdə maye və ya qazın xüsusi istilik tutumudur. Verilmiş ifadələri nəzərə alaraq  $a = \frac{\lambda}{C_p \cdot \rho}$  - temperatur ötürmə

əmsalı kimi yazmaq olar.

Oxşarlıq kriteriyalarını hesabladığımızda, *həndəsi forma və ölçülər, istilik və sürət* kriteriyalarını da nəzərə almaq lazımdır. Bu halda təyin edilən konvektiv istilik mübadiləsi də aparılan hesabatlara uyğun olacaqdır.

Maye və qazın sərbəst hərəkətində *pərdəli, laminar, qıvrılmış və burluğanlı* axınlar kimi dörd axın rejimi olur. Pərdəli axın rejimi soyuyan mayenin səthində pərdə yaranması ilə xarakterizə olunur. Laminar axın rejimində axın layları biri birinə və soyudulan səth sahəsinə paralel müstəvilər üzrə baş verir. Laminar və pərdəli axın rejimlərində konvektiv istilik mübadiləsi zəif olur. Bunun səbəbi maye və qaz molekullarının biri-biri ilə yaxşı qarışmamasıdır. Bu halda istilik vermə prosesi ən çox istilik ötürmə əmsalı ilə baş verir. Qıvrılmış axın rejimi maye və ya qazın dalğavari hərəkəti kimi müşahidə olunur. Bu zaman laylarda zəif burluğan yaranır və istilik vermə əmsalı artır. Bunun səbəbi bərk cismin soyudulan səthinə, hər dəfə yeni axın laylarının toxunmasıdır. Yeni layların temperaturu isə, bərk cismin səthi temperaturundan xeyli aşağı olduğundan, onu intensiv şəkildə soyudur. Burluğanlı axın rejimində maye (qaz) laylarının intensiv qarışması nəticəsində istilik vermə əmsalı daha çox artır.

Soyudulan real izolyasiya konstruksiyaları ən çox şaquli və ya üfiqi vəziyyətdə montaj edilmiş olurlar. Məsələn, soyudulması lazım olan kabel üfiqi və şaquli, keçid izolyatoru isə şaquli və ya müəyyən bucaq altında quraşdırılmış ola bilər. Ona görə, veritikal divarın hündürlüyü və üfiqi borunun səthi boyu mayenin hərəkəti divarın aşağısından yuxarı getdikcə dəyişir. Aşağı hissədə olan maddənin temperaturu ətraf mühitin temperaturundan az fərqlənir. Bu halda qaldırıcı qüvvə və axın sürəti kiçik olur. Divarın yaxınlığında olan qatların temperaturu artdıqca, mayenin axın sürəti və qaldırıcı qüvvə artır. Lakin sürət artdıqca, maye burluğanlanır və divardan müəyyən məsafədə aralanır. Beləliklə divarın hündürlüyü boyu,

ayrı-ayrı hissələrdə mayenin müxtəlif axın rejimləri ola bilər. Divar və onu əhatə edən mühitin temperaturlar fərqiindən asılı olaraq, axın rejimlərinin bütün növləri baş verə bilər. Ona görə, divarın hündürlüyü boyu istilik vermə əmsalları da fərqli olacaqdır. Bu halda istilik vermə əmsalı orta qiymət kimi təyin edilir. Mayenin axın xarakteri isə,  $Gr_m \cdot Pr_m$  hasilini kimi hesablanır. Üfqi boruda hesabat üçün  $10^3 < Gr_m \cdot Pr_m < 10^8$  götürülür. İstilik vermənin orta qiyməti aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$Nu_m = 0,50 \cdot (Gr_m \cdot Pr_m)^{0,25} \cdot \left( \frac{Pr_m}{Pr_d} \right)^{0,25} \quad (10.1.65)$$

Şaquli silindrik boru və ya müstəvi divar üzrə, orta istilik vermə əmsalı hesablandıqda  $10^3 < Gr_m \cdot Pr_m < 10^9$  götürülür və analogi olaraq  $Nu_m$  aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$Nu_m = 0,76 \cdot (Gr_m \cdot Pr_m)^{0,25} \cdot \left( \frac{Pr_m}{Pr_d} \right)^{0,25} \quad (10.1.66)$$

$Gr_m \cdot Pr_m > 10^9$  olduqda isə, başqa şəkildə hesablanır:

$$Nu_m = 0,15 \cdot (Gr_m \cdot Pr_m)^{0,33} \cdot \left( \frac{Pr_m}{Pr_d} \right)^{0,25} \quad (10.1.67)$$

Bu ifadələrdə  $Nu_m$ ,  $Gr_m$ ,  $Pr_m$  – kəmiyyətləri ətraf mühitin temperaturundan asılı olaraq, (10.1.61), (10.1.62) və (10.1.64) düstürlərindən,  $Pr_d$  isə, divarın verilmiş temperaturundan asılı olaraq təyin edilir. Hesabatlarda vertikal silindrik boru və müstəvi üçün xarakterik həndəsi ölçü hündürlük, horizontal boru üçün onların diametrləri götürülür.

Kombinə edilmiş izolyasiya konstruksiyalarında, bərk cismin divarları arasında yağ qatı olur. Maye və qazda istilik ötürmə isə konveksiya, şualanma və istilik keçirmə yolu ilə baş verəcəkdir. Bu yağ qatında istilik mübadilə prosesinin ekvivalent əmsalı aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$\lambda_e = \lambda \cdot \varepsilon_k \quad (10.1.68)$$

burada  $\lambda$ -maye və ya qazın istilik ötürmə əmsalı,  $\varepsilon_k$  - konveksiya əmsalıdır.

$Gr_m \cdot Pr_m \leq 10^3$  olduqda, konveksiya əmsalı vahid götürülür. Bu halda istilik ötürmə isə, istilik vermə mexanizmi ilə olur.

$$10^3 < Gr_m \cdot Pr_m < 10^6 \text{ olduqda, } \varepsilon_k = 0,105 \cdot (Gr_m \cdot Pr_m)^{0,3} \quad (10.1.69)$$

$$\text{və } 10^6 < Gr_m \cdot Pr_m < 10^{10} \text{ olduqda, } \varepsilon_k = 0,4 \cdot (Gr_m \cdot Pr_m)^{0,25} \text{ kimi hesablanır.}$$

Xarakterik həndəsi ölçü kimi, aralığın qalınlığı qəbul edilir.  $Gr_m$  və  $Pr_m$  kriteriyaları orta temperatur üçün (10.1.62) və (10.1.64) ifadələrindən təyin edilir:

$$t_m = \frac{t_{d1} + t_{d2}}{2} \quad (10.1.70)$$

burada  $t_{d1}$  və  $t_{d2}$  – uyğun olaraq birinci və ikinci divarların temperaturlarıdır.

Nasos və ventilyatorla məcburi qaydada olan, maye (qazın) laminar və turbolent axın rejimləri olur. Laminar axının turbolent axına keçməsi Reynolds ədədi ilə təyin edilir. Bu məqsədlə Reynolds ədədinin kritik qiyməti -  $Re_{kr}$  təyin edilir. Müstəvi lövhənin uzunluğu boyu axan maye üçün Reynolds ədədinin kritik qiyməti  $5 \cdot 10^5$ , boruda axan maye üçün  $3 \cdot 10^4$  götürülür.  $Re_{kr}$  - in qiymətinə səthin çıxıntıları, borunun girişində axın və istilik mübadiləsinin

intensivliyi təsir edir. Müstəvi lövhəni bürüyən mayenin səthi ilə, istilik mübadiləsi zamanı, istilik vermə əmsalı aşağıdakı kimi təyin edilir:

Laminar axın rejimində  $Re_m \leq 2 \cdot 10^4$  və istilik vermə,

$$Nu_m = 0,66 \cdot Re_m^{0,5} \cdot Pr_m^{0,33} \left( \frac{Pr_m}{Pr_d} \right)^{0,25} \quad (10.1.71)$$

Turbolent axın rejimində  $Re_m > 4 \cdot 10^5$  və istilik vermə dərəcəsinin Nüsselt kriteriyası,

$$Nu_m = 0,037 Re_m^{0,8} \cdot Pr_m^{0,43} \cdot \left( \frac{Pr_m}{Pr_d} \right)^{0,25} \quad (10.1.72)$$

Burada xarakterik həndəsi ölçü kimi lövhənin uzunluğu götürülür.  $Pr_d$  - kriteriyası divarın verilən temperaturu üçün hesablanır. Əgər,  $2 \cdot 10^4 < Re_m < 4 \cdot 10^5$  olduqada, laminar axın turbolent axına keçir. Bu intervalda (10.1.71) ifadəsi  $\alpha$ -üçün böyük, (10.1.72) ifadəsi isə kiçik qiymətlər verir. Ona görə,  $\alpha$  üçün təqribi olaraq ikisinin orta qiyməti götürülür. Təqribi hesabatlarda isə, maye və qazın laminar hərəkətində istilik vermə əmsalı aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$Nu_m = 1,4 \left( Re_m \cdot \frac{D}{l} \right)^{0,5} Pr_m^{0,33} \left( \frac{Pr_m}{Pr_d} \right)^{0,25} \quad (10.1.73)$$

burada  $D$ - xarakterik ölçü kimi götürülən diametr,  $l$  – borunun uzunluğudur.

(10.1.73) formulası  $\frac{l}{D} > 10; 10 < Re_m < 2 \cdot 10^4; 0,06 < \frac{Pr_m}{Pr_d} < 10$ . şərtlərində doğru

olur. Xarakterik ölçüsü,  $D_{ekv} = \frac{4S}{\Pi}$  düzbucaqlı kəsiyi olan boru üçün də tətbiq edilə bilər.

Maye və qazın turbolent hərəkətində boruda hesablanan ( $Re = 10^4 \div 5 \cdot 10^6$ ) qiymətlər üçün, istilik vermə əmsalının kriterial ifadəsi aşağıdakı kimi yazılır:

$$Nu_m = 0,021 Re_m^{0,8} \cdot Pr_m^{0,43} \left( \frac{Pr_m}{Pr_d} \right)^{0,25} \cdot \varepsilon_l \quad (10.1.74)$$

Xarakterik ölçü parametri kimi  $D_{ekv} = 4S/P$  qəbul edilir.  $\varepsilon_l$  əmsalı borunun uzunluğu boyu istilik ötürmə əmsalının dəyişməsinə göstərir. (10.1.74) ifadəsi kvadrat, düzbucaqlı formalı ( $a/b = 1 \div 40$  arasında en-uzunluq nisbəti) olan borular, ( $D_1/D_2 = 1 \div 5,6$  nisbətlərdə diametrləri) olan dairəvi formalı borular üçün də doğrudur. Bu hallarda maye üçün  $Re_m = 10^4 \div 5 \cdot 10^6$  və  $Pr_m = 0,6 \div 2500$  arasında qəbul edilir. İstilik ötürmə əmsalları  $\varepsilon_l$  – aşağıdakı cədvəldə-10.1.2 verilir.

Cədvəl 10.1.2

$Re_m$	$L/D$ nisbəti üçün $\varepsilon_l$ əmsalının qiymətləri							
	1	2	5	10	15	20	30	40
$1 \cdot 10^4$	1,65	1,50	1,34	1,23	1,17	1,13	1,07	1,03
$2 \cdot 10^4$	1,51	1,40	1,27	1,18	1,13	1,10	1,05	1,02
$5 \cdot 10^4$	1,34	1,27	1,18	1,13	1,10	1,08	1,04	1,02
$10^5$	1,28	1,22	1,15	1,10	1,08	1,06	1,03	1,02
$10^6$	1,14	1,11	1,08	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01

$L/D$  nisbəti 50 olduqda  $\varepsilon_l=1$  olduğundan qiymətlər cədvəl 10.1.2 də verilməmişdir.

$D$  – diametri olan,  $R$  radiusu ilə əyilmiş borularda istilik ötürmə əmsalı mərkəzdən qaçma qüvvəsi hesabına artır. İstilik vermə əmsalının düz borulara nisbətən olan artımı aşağıdakı düzəliş əmsalı ilə nəzərə alınır:

$$\varepsilon_r = 1 + 1,77 \frac{D}{R} \quad (10.1.75)$$

burada  $D$ -borunun diametri,  $R$ -istilik keçirən dolanğacın radiusudur.

Yuxarıda göstərilmiş kriterial nisbətlər bir çox praktiki məsələlərin həllində istifadə edilirlər.

### 10.1.7. Şüalanmada istilik vermə əmsalının hesabı

Bir sıra hallarda istilik selinin ətrafa ötürülməsi şüalandırma ilə baş verir. Şüalandırma mexanizmi Stefan-Bolsman ifadəsi ilə aşağıdakı kimi yazılır:

$$Q_s = \varepsilon_s \cdot \sigma_0 S \cdot \left( \frac{T}{100} \right)^4 \quad (10.1.76)$$

burada  $\varepsilon_s$ -cismın istilik şüalandırma əmsalı,  $\sigma_0=5,67 \text{ Wt/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$  Stefan-Bolsman sabiti,  $S$ -şüalandıran səthin sahəsi,  $T$ -mütləq temperaturdur.

Bir neçə tərkibdən ibarət olan sistemlərdə, cismin istilik vermə prosesi mürəkkəb olur. Çünki, belə sistemin hər elementi eyni zamanda istiliyin şüalandırılması, udulması və özlərindən istilik enerjisi buraxma kimi proseslərdə iştirak edirlər. Bir cisimdən, digər cismə ötürülən istiliyin miqdarı, cisimlərin qarşılıqlı vəziyyətləri və şüalanmada istilik vermə əmsalının qiymətindən asılıdır. İki müstəvi səth arasında istilik seli şüalanan enerjinin udulması və əks olunması ilə təyin edilir. Birinci divardan şüalanan effektiv istilik seli aşağıdakı kimi olur:

$$Q_{s1ef} = Q_{s1} + (1 - \varepsilon_{s1}) \cdot Q_{s2ef} \quad (10.1.77)$$

Bu ifadədə ikinci hədd, qarşı divarın şüalanma enerjisinin birinci divardan əks olunan hissəsini göstərir. Uyğun olaraq ikinci divar üçün də yazmaq olar:

$$Q_{s2ef} = Q_{s2} + (1 - \varepsilon_{s2}) \cdot Q_{s1ef} \quad (10.1.78)$$

İfadələrdə  $\varepsilon_{s1}$  və  $\varepsilon_{s2}$  –uyğun olaraq, şüalanmada birinci və ikinci divarlardan şüalanma əmsallarıdır. Son iki tənliyi birlikdə həll edərək aşağıdakı ifadələri yazmaq olar:

$$Q_{s1ef} = \frac{Q_{s1} + (1 - \varepsilon_{s1}) \cdot Q_{s2}}{\varepsilon_{s1} + \varepsilon_{s2} - \varepsilon_{s1} \cdot \varepsilon_{s2}} \quad (10.1.79)$$

$$Q_{s2ef} = \frac{Q_{s2} + (1 - \varepsilon_{s2}) \cdot Q_{s1}}{\varepsilon_{s1} + \varepsilon_{s2} - \varepsilon_{s1} \cdot \varepsilon_{s2}} \quad (10.1.80)$$

Birinci divardan ikinciyə keçən istilik seli üçün:

$$Q_{s1-2} = Q_{s1ef} - Q_{s2ef} = \frac{\varepsilon_{s1} Q_{s1} - \varepsilon_{s2} Q_{s2}}{\varepsilon_{s1} + \varepsilon_{s2} - \varepsilon_{s1} \cdot \varepsilon_{s2}} \quad (10.1.81)$$



$Q_{s1}$  və  $Q_{s2}$  (10.1.76) ifadələrindən hesablanır.

$Q_{s1}$  və  $Q_{s2}$  qiymətlərini, toxunan səth sahələrinin bərabərliyi şərtində  $S_1=S_2$  nəzərə alsaq, aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$Q_{s1-2} = \sigma_0 S \cdot \frac{\varepsilon_{s1} \varepsilon_{s2}}{\varepsilon_{s1} + \varepsilon_{s2} - \varepsilon_{s1} \cdot \varepsilon_{s2}} \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (10.1.82)$$

burada istilik şüalanma əmsalının *gətirilmiş əmsal*  $\varepsilon_{sg}$ - kimi nəzərə alsaq :

$$\varepsilon_{sg} = \frac{\varepsilon_{s1} \varepsilon_{s2}}{\varepsilon_{s1} + \varepsilon_{s2} - \varepsilon_{s1} \varepsilon_{s2}} \text{ yazmaq olar.}$$

Əgər bərk cisim, bütünlüklə ikinci bir cismin daxilində yerləşirsə onda:-

$$\varepsilon_{sg} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_{s1}} + \frac{S_1}{S_2} \left( \frac{1}{\varepsilon_{s2}} - 1 \right)} \quad (10.1.83)$$

Bu halda birinci cisimdən ikinciyə verilən seli aşağıdakı kimi hesablanır:

$$Q_{s1-2} = \sigma_0 S_1 \cdot \varepsilon_{sg} \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (10.1.84)$$

Son ifadələrdə  $S_1$ -daxili cismin xarici,  $S_2$ -isə, xarici cismin daxili səth sahələridir. (10.1.83) və (10.1.84) ifadələri ixtiyari formalı səthə aiddir, lakin daxili səth qabarıq olmalıdır.

Bərk cisimlər şüaların udulmasında bütün spektrləri əhatə edirlər. Qazlar isə, yalnız müəyyən tezlikli enerjiləri udurlar. Qazların istilik şüalandırma əmsalı isə, tezlikdən asılı olan diskret kəmiyyətdir.

Hesabatlarda qazların istilik şüalandırması əmsalının orta qiymətləri istifadə edilir. Şüalandırma əmsalı qaz layının qalınlığı, təzyiqi və temperaturundan asılıdır. Belə ki, temperatur artdıqda azalır, təzyiq artdıqda isə, çoxalır. Qazlarda şüaların udulması diskret olduğundan, istilik şüalandırma əmsalının orta qiyməti həmişə vahiddən kiçik olacaqdır. *Atmosfer təzyiqində, 200<sup>0</sup>C temperaturda, qalınlığı 2 mm olan CO<sub>2</sub> qazının şüalandırma əmsalı 0,2 dir.*

Bərk cisimdən qaza verilən istilik (10.1.84) ifadəsi ilə təyin edilir. Burada  $T_2$  qazın temperaturu,  $T_1$  bərk cismin temperaturu,  $S_1$  isə onun sahəsidir. Məlumdur ki, şüalanma əmsalı  $\alpha_s$  ilə ötürülən istilik seli aşağıdakı kimi hesablanır:

$$Q_s = \alpha_s \cdot S \left( t_1 - t_2 \right) \quad (10.1.85)$$

(10.1.84) və (10.1.85) ifadələrinin sağ tərəfləri bərabər olduğundan,  $\alpha_s$  üçün aşağıdakı kimi ifadəni yazmaq olar:

$$\alpha_s = \sigma_0 \varepsilon_{sg} \frac{\left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4}{T_1 - T_2} = \sigma_0 \varepsilon_{sg} \cdot 10^{-8} \left( t_1 + T_2 \right) \left( t_1^2 + T_2^2 \right) \quad (10.1.86)$$

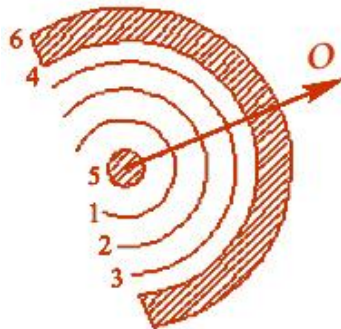
Bir sıra elektrik izolyasiya konstruksiyalarında şüalanma ilə istilik mübadiləsi baş verir. Xüsusi ilə, yüksək temperaturlarda şüalanma ilə istilik ötürülməsi əsas əhəmiyyət daşıyır.

### 10.1.8. İzolyasiyada temperaturun hesablanması

Verilmiş iş şəraitləri və elektrik parametrlərinə uyğun olaraq, istilik hesablarında aşağıdakılar məlum olmalıdır: *ətraf mühitin temperaturu, cərəyan keçirici elementlərdə gərginlik və cərəyanlar, keçiricini əhatə edən izolyasiya materiallarının xassəsi, konstruksiyalarının forma və ölçüləri.*

İstilik hesabları nəticəsində elektrik izolyasiya konstruksiyalarının ayrı-ayrı nöqtələrində temperaturlar tapılır. İstilik ayrılmasında istilik vermə əmsallarının temperaturdan asılı olması məsələni mürəkkəbləşdirir. Temperatur hesablarında, istilik selinin istiqaməti və temperaturdan asılı olan istilik ötürmə əmsalları məlum olmalıdır.

İstilik hesabları istilik sahəsi, izotermik səthlərin tapılması və istilik axınının təyin edilməsindən başlanır. Çox hallarda konstruksiyanın forması izotermik səthləri təyin edir. Məsələn, bir damarlı kablərdə damar və metal örtük izotermik səthlərdir. Qəbul edilmiş bu izoterm səthlərinin istilik keçiriciliyi, kabelin digər izolyasiya materiallarının istilik keçiriciliyindən dəfələrlə böyükdür. İzolyasiyada istilik hesablarını asanlaşdıran, lakin dəqiqliyi azaldan müəyyən xətalara yol verilir. Qəbul edilir ki, temperatur istilik keçirmə hesabına, istilik seli istiqamətində çox qızmış hissədən ətrafa verilir. Məsələn, keçid izolyatorları və kabel muftalarının istilik hesablarında aksial istiqamətdə istilik selinin yayılması nəzərdən atıldığı üçün temperaturun qiyməti böyük alınır. Şək.10.1.5. qatlar arasında temperatur düşgüsünün olduğu görünür. 5 və 6 keçiriciləri arasında istilik seli radial istiqamətdə yayılır. Aydınır ki, mərkəzi keçiricidə - 5 temperatur ən yüksək olur. Cərəyan, keçiricinin  $t_5$  temperaturunda, (10.1.18) və ya (10.1.20) – (10.1.22) formulaları ilə birinci qatda olan istilik ayrılması hesablanır və müstəvi nümunələr üçün (10.1.36), silindrik nümunələr üçün isə, (10.1.46) ifadələri ilə, keçiricidən sonra birinci qatda temperatur düşgüleri  $-Δt_1$  təyin edilir.



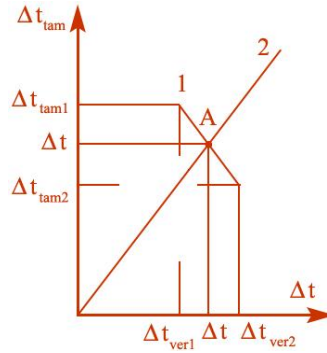
Şək.10.1.5. Elektrik izolyasiya konstruksiyalarında istilik ötürmənin hesabat sxemi

Birinci qatın xarici səthində  $t_1 = t_5 - Δt$  temperaturu, ikinci qatın daxilinə aid olduğundan, nümunəyə uyğun analogi ifadələrlə ikinci qatın istilik düşcüsü  $Δt_2$  hesablanır. İkinci qatın xarici səthində istilik düşgüsünə görə, üçüncü qatın istilik seli hesablanır və s. Arıdcıl aparılan bu hesablar nəticəsində, elektrik izolyasiya konstruksiyasının xarici səthinin temperaturu  $-t_k$  təyin edilir. Sonra isə, elektrik izolyasiya konstruksiyasının səthi ilə ətraf mühit arasında istilik mübadiləsi və ətraf mühitin temperaturu hesablanır. İzolyasiyanın xarici divarı və ətraf mühit arasında istilik seli, şüalanma və konveksiya ilə baş verir. İstilik vermə dərəcəsi konstruksiyanın xarici səthi ilə ətraf mühit arasında istilik düşgüsündən asılıdır. Ona görə, istilik ötürmə əmsallarını təyin etmək üçün, xarici divarla ətraf mühit arasında

temperatur düşgüsü- $\Delta t_{ver}$ , və ətraf mühitin temperaturu  $t_m = t_d - \Delta t_{ver1}$  məlum olmalıdır.  $t_m$ ,  $t_d$ ,  $\Delta t_{ver1}$  məlum qiymətlərinə əsasən, təbii konveksiya şəraitində  $Gr_m$ ,  $Pr_m$ ,  $Pr_d$  ədədləri, məcburi konveksiya şəraitində isə,  $Re_m$ ,  $Pr_d$ ,  $Pr_m$  ədədləri hesablanır.  $Gr_m \cdot Pr_m$  və ya  $Re_m$  ədədlərinin hasilərinə əsasən §10.1.6–ya uyğun  $Nü_m$  kriteriyası və (10.1.61) formulasına görə  $\alpha_k$  hesablanır. Şüalanma yolu ilə keçən istilik ötürmə əmsalı  $\alpha_s$  (10.1.86) formulası ilə hesablanır. Formulada  $T_1$  və  $T_2$  –nin yerinə-  $T_1 = 273 + t_{div}$ ,  $T_2 = 273 + t_m$  qiymətləri qoyulur. Konstruksiya divarı ilə ətraf mühit arasında temperatur düşgüsü aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$\Delta t_{tam1} = \frac{Q}{\alpha_1 \cdot S} \quad (10.1.87)$$

burada  $Q$ -ayrılan istilik seli,  $S$ -elektrik izolyasiya konstruksiyasının xarici səthinin sahəsi,  $\alpha_1 = \alpha_s + \alpha_k$  –tam istilik vermə əmsalıdır. Bu ifadədən alınan tam istilik düşgüsü  $\Delta t_{ver1}$ -dən fərqli olarsa, hesablar təkrar olunur. Sonra isə,  $\Delta t_{ver2}$ -istilik düşgüsünün qiymətini hesablayırlar. Adətən  $\Delta t_{ver2}$  –i,  $\Delta t_{tam2}$ -yə bərabər götürürlər.  $\Delta t_{ver2}$ -ni (10.1.87) düsturu ilə hesablamaq olar. Axtarılan şərt 5-6 təkrar hesabat aparıldıqdan sonra ödənilir. Temperatur düşgüsünün qrafik usulla təyini müəyyən dəqiqliklə hesablanır şək.10.1.6.:



Şək.10.1.6. Temperatur düşgüsünün qrafik usulla hesablanması

Qrafikdə absis oxu üzərində iki hesabat nəticəsində alınmış temperatur düşgüsü, ordinat oxunda isə (10.1.87) ifadəsindən alınmış nəticələr verilmişdir. Alınmış nəticələr bir düz xəttlə birləşdirilir. Sonra koordinat oxları ilə  $45^\circ$  bucaq təşkil edən 2 köməkçi xətti çəkilir. 1 və 2 xəttləri A nöqtəsində kəsişirlər. Bu kəsişmə nöqtəsi temperatur düşgüsünü göstərir. Həmin nöqtədə hər üç istiliyin bərabərlik şərti ödənməmiş olur:

$$\Delta t_{ver1} = \Delta t_{tam} = \Delta t_1$$

Qrafik qurulduqda  $\Delta t_{tam}$  və  $\Delta t_{ver}$  oxları üzrə eyni məşab seçilir.  $\Delta t$  istilik düşgüsü və konstruksiyanın xarici divarının temperaturunu bilərək, ətraf mühitin temperaturunu hesablayırlar. Bəzən konstruksiyanın divarından ötürülən istilik hesablandıqda 1 və 2 xəttləri kəsişmirlər. Bu  $\Delta t_{tam} > \Delta t_{ver}$  və ya  $t_5$  –temperaturunda konstruksiyada istilik dayanıqsızlığı şərtində baş verir.

Elektrik izolyasiya konstruksiyasının istiliyə davamlılığını artırmaq üçün aşağıdakı tədbirlər görülür:- cərəyan keçirən hissələrdə cərəyan və gərginliyi azaltmaqla konstruksiyanın gücü və səthinin  $t_5$  temperaturunu azaldırlar, az itkilərə malik olan materiallar seçilir və soyutma səthinin sahəsi artırılır.  $t_5$  temperaturu, ətraf mühitin təsadüfi dəyişən temperaturu ilə əlaqədardır. Bunlara baxmayaraq  $t_5$  temperaturunun qiymətini müəyyən həddlərdə dəyişmək olar. Təsir edən yüklər verildiyindən, yükün (cərəyanın) azaldılması müstəsna hallarda son vasitə kimi tətbiq edilir. Kiçik güc itkilərinə malik materialların tətbiqi də az səmərə verir. Soyutma səthinin böyüdülməsi daha səmərəli usuldur. Bunun üçün, izolyasiya konstruksiyalarının səthi ətəklili (qabırğalı) formada hazırlanır. Bu halda istilik

vermə əmsalı hamar səthlərə uyğun olaraq (10.1.87) ifadəsi ilə aparılır. Bu halda qabırğaların maye axınına paralel olduğunu qəbul edir, səthin sahəsini isə hamar hissə və qabırğalı səthlərin cəmi kimi götürürlər. Əgər qabırğalar mayenin hərəkət istiqamətinə nəzərən perpendikulyar yerləşərsə soyutma səthi aşağıdakı kimi hesablanır:

$$S = S_{ham} + \frac{S_{qab}}{2} \quad (10.1.88)$$

burada  $S_{ham}$  və  $S_{qab}$  uyğun olaraq, izolyasiya konstruksiyasının hamar və qabırğalı səth sahələridir.

Qabırğaların tətbiqi konstruksiyanın ölçü və çəkisini artırdığından bəzən məqsədə uyğun hesab edilmir. Qabırğanın səthi üzrə temperatur düşgüsü dəyişdiyindən, onların elektrik izolyasiya materialından hazırlanması uyğun deyildir. Çünki, yaranan temperatur düşgüsü istilik vermə əmsalının azalmasına səbəb olur.

Qaz və mayeni nasos, ventilyator və s. ilə məcburi hərəkət etdirdikdə güclənmiş soyutma yaratmaq olar. Lakin, nasos və ventilyator açıldıqda elektrik izolyasiya konstruksiyaları az yüklənmələrdə də işləyə bilmir və ya nasosun işdən çıxması ilə izolyasiya da işdən çıxır. Ona görə, əlavə qurğular, izolyasiya konstruksiyalarının etibarlılığını azaldır. İntensiv soyutma, böyük güclü qurğularda özünü yaxşı doğruldu. Çünki, burada soyuducuların enerji sərfi, ümumi enerji sərfiyatından daha aşağı olur. Çox zaman, yüksək gərginlikli elektrik izolyasiya konstruksiyalarını güclü soyutma sistemi olmadan işlətmək mümkün olur.

Bəhs edilən hesabat metodu konstruksiyada çoxlu maye və qaz layları olan hallar üçün də doğrudur. Maye və qaz laylarında (10.1.68) düsturu ilə, temperatur düşgüsü hesablandıqda ekvivalent istilik vermə əmsalı- $\epsilon_k$ , həmin qatın temperaturuna görə təyin edilir. Ona görə oxşarlıq kriteriyası təyin edildikdə, maye və qaz laylarının temperaturu verilməlidir- $t_{ver1}$ . Verilmiş temperatur və ya istilik düşgüsünü nəzərə almaqla, maye (qaz) üçün  $Gr_m$  və  $Pr_m$  oxşarlıq ədədləri və (10.1.70)-ə əsasən orta temperatur hesablanır.  $Gr_m \cdot Pr_m$  hasilinin qiymətinə görə konveksiya istilik vermə üçün (10.1.65), (10.1.66) və ya (10.1.67) ifadələri ilə, ekvivalent istilik ötürmənin  $Nu$  kriteriyası təyin edilir.  $\lambda_e$  –ni hesabladıqdan sonra (10.1.36) və (10.1.46) ifadələri ilə maye qatlarında istilik düşgüsü hesablanır. Alınmış  $\Delta t_{tam1}$ , adətən  $t_{ver1}$  -dən fərqli olur. Bu halda temperaturun  $t_{ver2} = \Delta t_{tam1}$  ikinci qiyməti verilir və hesabatlar yenidən təkrarlanaraq  $\Delta t_{tam2}$  təyin edilir. Sonra qrafik üsulla şəkl.10.1.6 –da göstəriləyi kimi, axtarılan son temperatur düşgüsü təyin edilir.

İstilik hesabatlarını apardıqda bərk elektrik izolyasiya konstruksiyalarının istilik müqavimətlərindən istifadə edirlər. Müstəvi konstruksiyaya üçün:

$$R_{ist} = \frac{\Delta}{\lambda} \quad (10.1.89)$$

Silindrik konstruksiyaya üçün:

$$R_{ist} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (10.1.90)$$

Maye və qaz üçün isə, müstəvi və silindrik aralıqlarda aşağıdakı ekvivalent istilik ötürmə əmsalları ifadə edilir:

$$R_{ist} = \frac{\Delta}{\lambda_e}; \quad R_{ist} = \frac{1}{2\pi \cdot \lambda_e} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}$$

İstilik ətraf mühitə ötürüldükdə, istilik müqaviməti :

$$R_{ist} = \frac{1}{\alpha_1} \quad (10.1.91)$$

Müstəvi formalı ardıcıl qatlardan keçən istilik selinin sıxlığı üçün aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

$$q = \frac{\Delta t}{\sum_{i=1}^{i=n} R_{ist}} \quad (10.1.92)$$

burada  $\Delta t$  –temperatur düşgüsü,  $R_{i-}$ i qatının istilik müqaviməti,  $n$  -ətraf mühit daxil olmaqla konstruksiya elementlərinin bütün qatlarının sayıdır.

(10.1.92) ifadəsi Om qanununa uyğundur. (10.1.89) -(10.1.92) ifadələri, konkret forma və ölçülərdə olan konstruksiyaların istilik hesabatlarında istifadə edilir. Bəzən bu konstruksiyalar üçün istilik müqavimətləri təcrübi asılılıqlardan təyin edilir. Adətən bu hesabatlarda  $R_{ist}$  sabit götürülür. Bu şərt, işçi temperaturun sabit qaldığı və ya az dəyişdiyi hallarda doğrudur. Əgər, güclü temperatur dəyişməsi olarsa,  $R_{ist}$  də geniş həddlərdə dəyişən qiymətlər alır.

Belə hallarda istilik hesabatı üçün, (10.1.92) ifadəsindən istifadə edilməsi daha məqsədə uyğun olur.

## 16. GÜC TRANSFORMATORLARININ İZOLYASIYASI

### 16 1.1. Transformatorlar və avtotransformatorlar

Müxtəlif nominal gərginliklərdə olan elektrik şəbəkələrini birləşdirmək üçün yüksəldici və ya alçaldıcı transformatorlar istifadə edilir. Onlar bir və üç fazlı, iki və ya üç dolaqlı hazırlanırlar.

Üç fazlı transformatorlar eyni gərginlikli üç ədəd tək fazlı transformatorlar qrupundan daha ucuzdurlar. Onların istismarı da asan və ucuz başa gəlir. Bu səbəblərdən hazırda üç fazlı transformatorlar daha çox istehsal edilir. Lakin bir sıra hallarda transformatorların güc və gərginliyinin böyük olması səbəbi ilə, onların qabarit ölçü və çəkili çox artdığından, daşıma və montaj problemləri yaranır. Belə hallarda transformatorlar 3 ədəd tək fazlı qruplar şəkilində hazırlanırlar.

İki sinif ikinci tərəf gərginliyi tələb olunan hallarda, üç dolaqlı transformatorlar istifadə edilir. Məsələn, yarımsansiyalarda şinlərdən 6(10)-35 kV gərginlik çıxarılması lazım gəldikdə, 110/35/6 və ya 220/35/10 kV gərginlikli, üç dolaqlı güc transformatorları istifadə edilməlidir.

150-500 kV gərginlikli şəbəkələrdə hazırda avtotransformatorlar geniş tətbiq edilir. Onlar transformatorlara nisbətən daha üstün texniki-iqtisadi göstəricilərə malikdirlər. Material sərfiyyatı, qiymətləri, ölçü və çəkili azdır. Dolaqlarda mis itkiləri və içlikdə polad itkiləri də aşağı olur. Avtotransformatorlar adətən, üç fazlı hazırlanırlar şək.16.1.1. 500 kV və 500 MVA-dan böyük gücə malik olan avtotransformatorlar isə, 3 ədəd ayrı baklarda montaj edilmiş tək fazlı transformator qruplarından ibarət olurlar.

Avtotransformatorlar yalnız neytralı bir başa yerlə qapanmış şəbəkələrdə istifadə edilir. Ona görə bunlar 35 kV-a qədər işlədilmirlər. Çünki əski Sovetlərdə 35 kV-a qədər şəbəkələr neytralı izolə edilmiş rejimlərdə işlədildilər. Hazırda da bu quruluşda olan şəbəkələr Azərbaycanda böyük əksəriyyət təşkil edirlər. Ona görə 6-35 kV şəbəkələr üçün bunun yerinə, əlavə dolaqları olan avtotransformatorlar tətbiq edilir. Belə üç fazlı və ya üç ədəd tək fazlı qrupda olan avtotransformatorlarda əsas dolaqlar - orta nöqtəsi torpaqlanmış ulduz birləşməsi şəkilində olur. Əlavə dolaqlar isə üçbucaq şəkilində birləşdirilir.

Transformator və avtotransformatorlar şəbəkənin müxtəlif məntəqələrində birləşirlər. Bu məntəqələrdə gərginlik rejimləri yerli şəraitdən asılı olaraq dəyişir. Gərginliyin dəyişməsi mənbədən olan uzaqlığa və yüklərin (işlədicilərin) dəyişməsinə görə olur. Bu şərtlər isə əvvəlcədən məlum olmur. Onlar yalnız istismar prosesində meydana çıxır. Ona görə transformatorlar və avtotransformatorlar tənzimləyici dolaqlarla (budaqlı) təchiz olunurlar. YAT - yük altında tənzimləmə qurğusu ilə, tənzimləyici dolaqlarla transformasiya əmsalını dəyişdirib gərginliyi daha çox:  $\pm 20\%$ -ə qədər artırıb azaltmaq olur.

### 16.1.2. Güc transformatorlarının izolyasiya elementləri

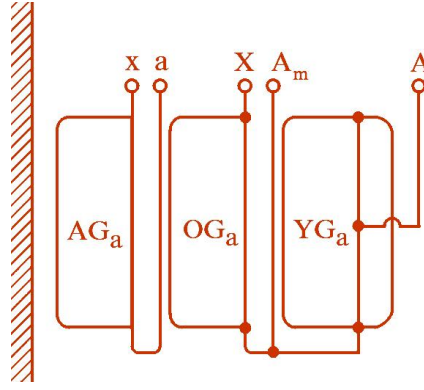
Transformator dolaqlarının ən sadə sxemi iki qatlı və ya çox qatlı silindrik konstruksiya şəkilində olur. Dolaq kağız bakelit silindr üzərinə spiralvari qaydada sarılır. Dolaqların ən geniş yayılmış quruluşu, kəsilməz sarğaclardan ibarət olanlardır. Transformator izolyasiyası, quruluşu və əhəmiyyətinə görə bir sıra hissələrdən və elementlərdən ibarət olan tam və bütöv izolyasiya sistemidir. İşləmə xüsusiyyətinə görə transformatorlar iki növ izolyasiyaya – *daxili və xarici* izolyasiyaya malikdir. Xarici izolyasiya transformator üzərindəki keçid izolyatorlarının farfor gövdələrinin yüksəkliyi boyu onu bürüyən hava aralıqlarından ibarətdir. Transformatorun xarici izolyasiyası da digər elektrik aparatlarının izolyasiyasına (dayaq və keçid izolyatorlarına) oxşar olaraq seçilir, quru və təmiz, çirklə və nəmli atmosfer şəraitlərinə görə hesablanır.

Daxili izolyasiyaya transformatorların *sarğac və sarğı izolyasiyaları, girimlərin və digər parçaların yağ içərisinə yerləşdirilmiş izolyasiya* hissələri aiddir. *Dolaq izolyasiyaları eninə və uzununa izolyasiyalara* bölünür. Elektrik sahəsinə nəzərən *eninə* (qüvvə xətlərinə perpendikulyar şəkildə) yerləşdirilmiş, dolaqlar arası izolyasiya *əsas izolyasiya* adlanır. Əsas izolyasiyaya həm də, dolaqla maqnit içlik arasında, dolaqla transformatorun dəmir gövdəsi arasında olan izolyasiyalar da aiddir. Uzununa izolyasiyaya sarğac məfillərinin izolyasiyası, iki sarğac arası qat izolyasiyası, çıxışlara bağlanan keçirici naqillərin izolyasiyası aiddir.

Əsas izolyasiyaya  $S_{yg-og}$  – yüksək gərginlik dolağıyla orta gərginlik arasında,  $S_{og-ag}$  – orta gərginlik dolağı ilə aşağı gərginlik dolağı arasındakı izolyasiya və  $S_{fa-fb}$  – fazlar arası izolyasiya məsafələrindən ibarətdir.

Quruluşuna görə güc transformatorlarının əsas izolyasiyası elektrik sahəsinin qüvvə xətlərinə perpendikulyar istiqamətdə bir-birinə nəzərən ardıcıl düzülmiş elektrokarton aralıqlardan ibarətdir. Onlar öz aralarında yağ kanallarından təşkil olunan yağ-baryer izolyasiyası yaradırlar. Böyük izolyasiya məsafəsinin baryerlər ilə kiçik aralıqlara bölünməsi və bu aralıqların yağla doldurulması izolyasiyanın bütövlükdə elektrik möhkəmliyini və istilik ötürmə qabiliyyətini artırır. Baryerlər elektrik qüvvə xətlərinə perpendikulyar yerləşdirildikdə elektrik möhkəmliyinin artım effekti daha çox olur. Transformatorlar hesablanıb layihə edildikdə, cərəyan keçirən və torpaqlanmış hissələrə elə formalar verilir ki, elektrik sahəsinin qeyri-bircinsliliyi azalsın və onların yaxınlığındakı izolyasiya qatlarında sadə ekvipotensial səthlər alsın.

Şəkil 16.1.1 – də üç dolaqlı avtotransformatorların quruluşunun əsasını təşkil edən aktiv hissə :- dolaqların giriş və çıxışlarının elektrik sxemi verilmişdir.



Şək.16.1.1. Avtotransformator dolaqlarının elektrik birləşmə sxemi

Dolaqların küncələrinə yaxın yerlərdə künc həlqələri qoyulur. Onlar boşalma yolunu artıraraq, transformator dolağının alt və üst çevrələri yaxınlığında elektrik möhkəmliyini artırır.

İzolyasiya aralarında buraxılan millər və künc həlqələri elektrokarton və kağızdan tökmə üsulu ilə hazırlanır.

Dolaqlar isə kənarları hamar, düz dördbucaqlı kəsiyə malik olan kağız izolyasiyalı sarğı məfillərindən hazırlanır. Dolaq məfillərinin en kəsiyi transformatorun gücü və cərəyanına görə təyin edilir. Onların üzərinə çəkilmiş izolyasiya, aşağı gərginlik dolaqları üçün hər iki tərəfə  $0,45 \div 0,95$  mm, yüksək gərginlik dolaqları üçün isə  $0,95 \div 3,6$  mm qalınlığında olur.

110 kV və yüksək gərginlikli transformatorlarının dolaqları spiral şəkilli sarınmış, bir neçə məfillərdən ibarət sarğaclardan təşkil olunur.

Yağ kanalları izolyasiyanın bir tərkibi kimi, eyni zamanda istilik ötürülməsinə xidmət edir. Transformator dolaqlarının baş hissəsi yaxınlığında montaj edilmiş ən aktiv hissələr (maqnit içlik, dolaqlar, çıxışa gedən şaxələnməş məfillərin ətrafı və digər köməkçi elementlər) yağ mühitində yerləşir. Yağlar izləyici və soyuducu vasitə kimi istifadə edilir.

Transformator izolyasiyasının istehsal texnologiyası, onun  $110 \div 120$  °C temperaturda və  $0,01$  kPa vakuum şəraitində qurudulmasını tələb edir. Bu zaman transformatorun izləyilmiş dolağını (aktiv içliyi) qalıq təzyiqi  $100 \div 10$  Pa olan quruducu şakflara yığırlar. Nominal gərginlikləri yüksək olan transformatorlar üçün qurudulma rejimində qalıq təzyiq  $10$  Pa seçilir. Qurudulma prosesi bitdikdən sonra vakuumda saxlanmaq şərti ilə istilik  $80 \div 85$  °C-yə qədər azaldılır və şkafa qazsızlaşdırılmış quru transformator yağı doldurulur. Bu yolla yağın elektrik möhkəmliyi  $200 \div 280$  kV/sm qiymətlərinə çatdırılır. Ölçmələr zamanı, maye izolyasiyanı sınaq etmək üçün olan standart elektrodlar arasında ( $\varnothing 36$ mm və  $S=2,5$ mm) alınan deşilmə gərginlikləri  $50$  kV/  $2,5$  mm və  $70$  kV/  $2,5$  mm qiymətlərində olmalıdır.  $200$  kV/sm elektrik möhkəmliyi olan yağlar  $110$  kV-luq transformatorlarda,  $280$  kV/sm elektrik möhkəmliyi olan yağlar isə  $110$  kV və daha yüksək gərginlikli transformatorlarda istifadə edilir.  $6(10)$  kV gərginlikli transformatorlarda sınaqlar zamanı yağın deşilmə gərginliyi  $18-25$  kV/mm arasında ola bilər. Transformator yağını bir izolyasiya mayesi kimi xarakterizə edən əsas göstəricilər onların elektrik möhkəmliyi və dielektrik itkiləridir. Yağ transformatorlarda yüksək temperatur şəraitində işlədiyindən, bu halda şlam (çöküntü), turşuluq, kondensasiya suyu və s. kimi maddələr əmələ gəlir. Şlam transformatorun daxilində dolaq və izolyasiya üzərinə çökərək istilik ötürməni çətinləşdirir, elektrik izolyasiyasını pozur və qəzalara səbəb olur. Turşular metal hissələrin korroziyasına və bərk izolyasiyanın dağılmasına səbəb olur. Yağın tərkibinə kondensasiya yolu ilə daxil olan su, onun elektrik möhkəmliyini azaldır. Yağın tərkibində olan suyun kiçik bir miqdarı da (məsələn  $0,03\%$ -i) yağın elektrik

möhkəmliyini kəskin olaraq azaldır. Transformator yağlarının əsas keyfiyyət göstəriciləri aşağıdakılardır:

- a) oksidləşməyə qarşı davamlılıq;
- b) nəmliyin olmaması;
- v) mexaniki qarışıqların olmaması;
- q) donma temperaturasının aşağı olması

Dəyişən elektrik sahəsində enerji itkiləri, qismən transformator yağının dielektrik itkilərini xarakterizə edir. Beləliklə, yağın kimyəvi və elektrik sınaqları onun vəziyyətini qiymətləndirməyə imkan verir baş verən nasazlıqları aşkar edir. Lakin bu yolla zədələr xeyli artdıqdan sonra aşkar olunur. Ona görə keçən sınaqların nəticələri qənaətbəxş olsa da, növbəti profilaktik sınaqların müddəti çatmamışdan avadanlığın sıradan çıxması baş verir. Yağ doldurulan aparatlarda izolyasiyanın köhnəlməsi aşağı sürətlə keçir. Ona görə yağda olan qusurlar vaxtında aşkar edildikdə böyük dağınığın qarşısını almaq mümkün olur.

Yağla hopdurulma texnologiyasına görə, aktiv hissələr 3-5 saat müddətində vakuum şəraitində saxlanılır, sonra yağı boşaldaraq, yenə 2 saat vakuumda saxlanılır. Aktiv hissəni transformator bakında yerləşdirməzdən əvvəl, onun açıq havada qalma müddəti 24 saatdan çox olmamalıdır. Aktiv içliyi transformator bakının içərisinə montaj edərək, çıxışları birləşdirir, üst qapağını bağlayırlar. Bundan sonra transformator bakına yağ doldurulur. 110 kV - a qədər transformatorun yağla doludurulması vakuumsuz, 150 kV - dan yüksək gərginlik transformatorlarının yağla doldurulması vakuum şəraitində aparılır.

### 16.1.3. Qısa müddətli elektrik möhkəmliyi

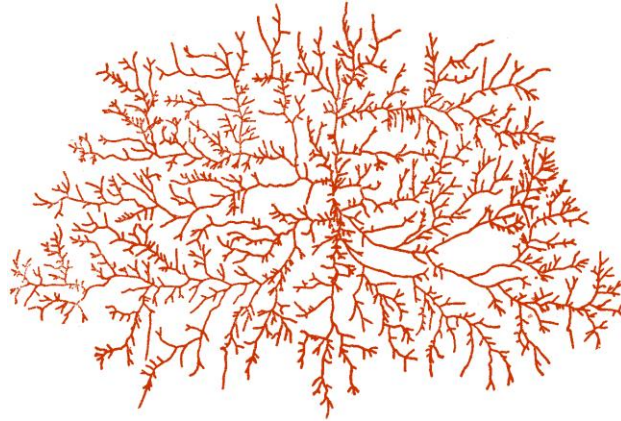
Yağ və elektrokarton qatlarından təşkil olunmuş izolyasiyada elektrik gərginliyi ilə çox yüklənmiş sahə dolağa yaxın olan birinci yağ aralığıdır. Gərginliyin təsir müddətindən asılı olaraq, sənaye tezlikli daxili ifrat gərginliklərdə və ya impuls gərginliklərində yağ-baryer izolyasiyasında qısa müddətli elektrik möhkəmliyi meydana çıxır. Bərabər elektrik sahəsində yağ və baryerdə elektrik sahə gərginlikləri aşağıdakı nisbətlərdə paylanır:

$$E_{yağ}/E_{bar} = \epsilon_{bar}/\epsilon_{yağ} \quad (16.1.1)$$

burada,  $\epsilon_{bar}=4,2$ ;  $\epsilon_{yağ}=2,2$  kimi qəbul edildikdə,  $E_{yağ}/E_{bar} = 1,8$  olur. Yağın elektrik möhkəmliyi, hopdurulmuş kağızın elektrik möhkəmliyindən 3 - 4 dəfə kiçikdir. Ona görə yağ-baryer izolyasiyasının elektrik möhkəmliyinin pozulması zəif yerdən- xüsusi ilə də birinci yağ aralığından başlayır.

Yağ kanalı deşildikdə oradan keçən cərəyan, baryerin sağlam yerinə çatdıqda böyük müqavimətlə rastlaşır və deşilmə kanalı kəsilir. Belə deşilmə qismi boşalma adlanır. Bu boşalmada meydana çıxan elektrik yükləri  $(10^{-7} \div 10^{-6})Kl$  olduqda, bu normal işçi qismi boşalmada alınan yüklərdən 1000 dəfə çox olur. Yağın deşilməsi zamanı ayrılan enerji və istiliklə bağlı bərk izolyasiyada elektrik möhkəmliyini azaldan defektlər meydana çıxır. Bu defektlər qismi boşalma müddəti və intensivliyi artdıqca artırlar. Zaman keçdikcə bu defektlər inkişaf edərək, kağız qatının dərinliyinə və izolyasiyanın səthinə yayılır və onların kömürlənmiş izləri qalır. Bu izlərə 'dendritlər' deyilir. İzolyasiyanın istismarı və sınaqları zamanı bu şəkildə defektlər artır. Ona görə yağ-baryer izolyasiyasının qısa müddətli elektrik möhkəmliyi əsasən, yağ kanalının deşilmə gərginliyinə aiddir. Bu gərginlik yağ-baryer izolyasiyasının möhkəmliyini təyin edir. Elektrik sahəsinə paralel və kanal istiqamətində olan sahə qeyri-bərabərdir.





Şək. 16.1.2. Bərk izolyasiyanın səthində boşalma izləri – dendridlər

Dolaq sarğılarının səthindəki maksimal elektrik sahə gərginliyi, yağ kanalının ortasında olan  $ESG$ -dən böyükdür:

$$E_{\max d.s} = (1,2 \div 1,5)E_{yağkamorta} \quad (16.1.2)$$

Transformator və reaktorların dolaq sarğıları səthi emal lakla izolyasiya edilmiş və bunun üstündən əlavə olaraq hopdurulmuş kağız sarğı izolyasiyasına malik naqillərdən ibarətdir. Başqa sözlə yüksək gərginlikli transformatorun içərisində yağla bir başa təmas edən çıpaq keçirici olmur. Sarğı zamanı dolaq uclarında iti çıxıntıların olmaması da vacibdir. Lakin hər-halda yağ kanalının deşilməsi, sarğuların küncündə olan naqilin səthindən başlayır. Baryerlər arası yağ kanallarının elektrik möhkəmli birinci yağ kanalının elektrik möhkəmliyindən 1,5 dəfə böyük olur. Yüksək gərginlik transformatorlarında yağ kanalının elektrik möhkəmliyi  $YG$  sarğısının küncündən izolyasiya baryerinə qədər gedən qüvvə xətti üzrə meydana çıxan orta sahə gərginliyindən asılıdır. Elektrik sahə gərginliyinin bu qiymətləri, dolağa yaxın  $bc$  məsafəsində elektrik sahəsi üçün yazılmış aşağıdakı formulalardan hesablanı bilər:

$$E_{yağkar} = \frac{1}{l_{\partial l}} \int_B^C E_{yağ} dl \quad (16.1.3)$$

burada  $l_{\partial l}$  – seçilmiş qüvvə xəttinin boyu;  $E_{yağ}$  – qüvvə xəttinin ayrı-ayrı nöqtələrində yağ kanalının elektrik sahə gərginlikləridir.

İlk yaxınlaşmada elektrik sahə gərginliyinin paylanması məlum olmadığı halda, yağ kanalının elektrik möhkəmliyi dolağın ortasında olan sahə gərginliyinə görə hesablanır. Bu zaman dolaq sarğılarının səthindəki qeyrihəmsizlik nəzərdən atılır. Başqa sözlə, dolaqlar iç-içə olan koaksial silindrik səth kimi qəbul edilir. Bu üsulla hesablanmış yağ kanalının elektrik möhkəmliyi dolağın hündürlüyü boyu elektrik sahəsinin paylanması təsiri ilə yenidən dəqiqləşdirilir. Dolaq ekvipotensiallı elektrod kimi götürülərək yağ kanalında radius üzrə orta sahə gərginliyi və həmin kanaldakı gərginlik düşgüsü –  $\Delta U_{yağ}$ , hesablanır. Tətbiq olunan gərginliyə (sənaye və ya ildırım impulsu şəklində) görə yağ kanalları və digər izolyasiya qatlarında gərginlik düşgüleri qatların tutumlarına tərs mütənəşib olaraq təyin edilir:

$$\Delta U_{yağ} = U \frac{1/C_{yağ}}{\sum_{i=1}^n 1/C_i} \quad (16.1.4)$$

burada  $U$ –dolağın orta hissəsində yağ-baryer izolyasiyasına düşən– «tətbiq olunan» gərginlikdir,  $C_{yağ}$  – dolağın vahid uzunluğuna düşən yağ kanalının tutumudur,  $C_i$  – birinci yağ kanalı ilə ardıcıl olan digər yağ kanalları və baryerlərin tutumlarıdır;  $n$  – izolyasiya qatlarının cəmidir.

(16.1.4.) formulasına daxil olan tutumlar aşağıdakı kimi hesablanır.

$$C_{yağ} = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_{yağ}}{\ln r_1 / r_0}, \quad C_0 = \frac{2\pi\epsilon_0\epsilon_i}{\ln r_i / r_{i-1}} \quad (16.1.5)$$

$r_0$  – daxili dolağın xarici radiusu,  $r_i$  –  $i$  qatlarının xarici radius-ları,  $\epsilon_{yağ}$  – yağın dielektriki nüfuzluluqları kimi qəbul edildikdə,

Birinci yağ kanalının ortasında, radius üzrə  $ESG$  üçün aşağıdakı fomulanı yazmaq olar:

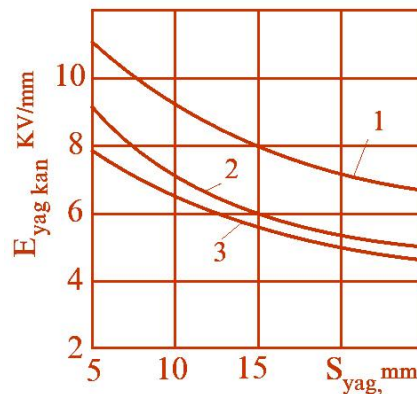
$$E_{yafkr} = \frac{\Delta U_{yaf}}{r_{or1} \cdot \ln \frac{r_1}{r_0}} \quad (16.1.6)$$

burada  $r_{or1}$  – birinci yağ kanalının ortası üçün radiusdur. (16.1.4) və (16.1.6) formullarını birlikdə həll etdikdə yağ kanalında  $ESG$ -yi üçün aşağıdakı ümumi ifadəni almaq olar:

$$E_{yağkr} = \frac{U}{r_{or1}\epsilon_{yağ} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\epsilon_i} \ln \frac{r_i}{r_{i-1}}} \quad (16.1.7)$$

Fiziki modellərdə yağ-baryer izolyasiyasının sınaqları zamanı yağ kanalının deşilməsi, qismi boşalma akustikası və ya deşilmə anında meydana çıxan ultrasəs rəqslənmələrini qeyd edən cihazlarla təyin edilir.

Yağ kanalının elektrik möhkəmliyi onun qalınlığı kiçildikcə artır. Şəkil 16.1.3-də deşilmə  $ESG$ -nin yağ kanalının qalınlıqlarından asılılıqları verilmişdir. Qrafiklərdə verilmiş  $ESG$ -ri, bir dəqiqəlik sənaye tezlikli gərginliklərlə aparılan sınaqlarda alınmışdır. Deşilmədə  $ESG$ -yi (16.1.3) inteqralı və ya yağ kanalının ortası üçün olan (16.1.6) formulası ilə hesablanır.



Şək. 16.1.3. Yağ kanalının elektrik möhkəmliyi. 1 – orta, 2 – minimal və 3 – buraxıla bilən elektrik sahə gərginliklərinin əyriləri

Yağ kanalına təsir edən bütün gərginliklər üçün, kanalın deşilmə gərginliyinin onun qalınlığından olan asılılığı aşağıdakı kimi yazılır:

$$E_{yab.kan.dem} = AS_{yug.kan}^{-0,37} \quad (16.1.8)$$

burada yağ kanalının eni sm-lə, alınan ESG-yə isə kV/mm-lə göstərildikdə,  $A$  əmsallarının qiymətləri müxtəlif sınaq gərginlikləri üçün aşağıdakı kimi olacaqdır: bir saatlıq 50Hz tezlikli gərginlikdə 7,5; bir dəqiqəlik sənaye tezlikli gərginlik üçün 9,2; kommutasiya impuls gərginliyi üçün 16; atmosfer impuls gərginliyi üçün 23-dür. 0,05 ehtimallı deşilmədə minimal ESG-ri üçün  $A$  əmsalları uyğun olaraq 6,5; 7,2; 13,8 və 20 qiymətlərini alır.

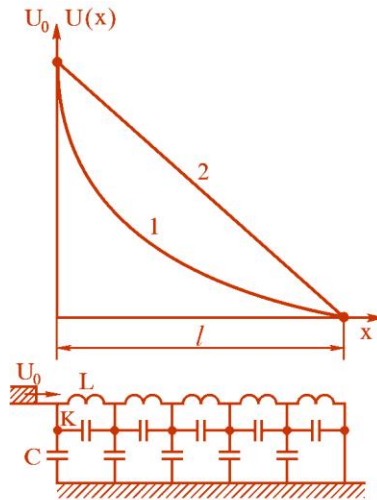
İmpuls gərginlik təsir etdikdə elektrik möhkəmliyi impuls əmsalı ilə hesablanaraq nəzərə alınmalıdır:

$$k_{imp} = \frac{U_{deşimp}}{\sqrt{2}U_{deş50Hzdəq}} \quad (16.1.9)$$

burada  $U_{deşimp}$  – impuls gərginlik təsiri ilə deşilmə gərginliyidir,  $\sqrt{2} U_{deş50Hzdəq}$  – sənaye tezlikli 1 dəqiqəlik deşilmə gərginliyinin amplitud qiymətidir.  $k_{imp}$  – əmsalı impulsun növü, onun müddəti və izolyasiya konstruksiyasından asılı olur.  $A$  əmsalının yuxarıda verilmiş qiymətlərindən aydın olur ki, kommutasiya impulsları üçün  $k_{impildkan}=1,35$ ; tam ildırım impulsu üçün  $k_{imp}=2$  olacaqdır.

#### 16.1.4. Transformator dolaqlarının uzununa izolyasiyası

Transformatorların uzununa izolyasiyasına sarğılar və sarğaclar arası, eyni bir dolağın qatlar arası izolyasiyasına işçi rejimlərdə çox da böyük gərginlik düşür. Məsələn, işçi rejimlərdə iki qonşu sarğılar arasına 30÷50 V gərginlik düşür. Uzununa izolyasiyada ən böyük gərginlik dik cəbhəli impuls təsirlərində olur. Şək. 16.1.4-də transformator dolağında, impuls dalğasının təsiri ilə meydana çıxan elektromaqnit proseslərini analiz edən əvəz sxemi göstərilmişdir. Göründüyü kimi, əvəz sxemində sarğılar arası və gövdəyə nəzərən təyin olunmuş məxsusi induktivlik -  $L$  və  $K$  (uzununa) və  $C$  (eninə) tutumlar iştirak edirlər. Dik cəbhəli impuls təsir etdikdə, dolağın induktivliyi çox böyük müqavimət yaradır.



Şək. 16.1.4. İldırım impulsu ifrat gərginlik dalğasının təsiri üçün hesabat əvəz sxemi. 1 – başlanğıc gərginlik; 2 – son gərginlik paylanması;  $L$  – induktivlik;  $C$  – dolağınvahid uzunluğunun yerə nəzərən tutumu;  $K$ -sarğılar və sarğaclar arası uzununa tutum

Ona görə, impuls tətbiq edilən ilk anlarda cərəyan, tutum dövrəsinin daha kiçik olan müqavimətlərindən axacaqdır. Şək. 16.1.4-də impuls tətbiq edildiyi ilk anlar üçün dolağın tutum elementlərindən ibarət olan elektrik əvəz sxemi verilmişdir. Sxemdən göründüyü kimi,

dolağın uzunluğu boyu axan cərəyanlar eyni deyildir (şək. 16.1.4-də oxlarla göstərilmişdir). Dolağın əvvəlindən sonuna getdikcə eninə ( $C$ -dən) və uzununa ( $K$ -dan) keçən tutum cərəyanları azalır.

Dolaq impuls gərginliklər üçün paylanmış parametrlə sistem olduğundan orada cərəyan və gərginlik həm zamana həm məsafəyə görə dəyişir [52]. Dolağın uzunluğunu, onun oxu istiqamətində əvvəlindən sonuna işarələsək, sabit impuls təsiri ilə cərəyan və gərginliyin zaman və məsafəyə görə dəyişməsi müşahidə edilir. Sifir başlanğıc şərtində həmin dəyişmə aşağıdakı ifadə ilə yazılır:

$$\frac{d^2U}{dx^2} = \alpha^2 U \quad (16.1.11)$$

burada  $\alpha = LCp^2 / (1 + LKp^2)$  – yayılma əmsəlidir. (16.1.11) tənliyini dolaqların sonu qısa qapanmış və açıq olan hallar üçün, həll edərək aşağıdakı ifadələri almaq olar:

$$\text{- qısa qapanmış halda, } U = U_0 \frac{\text{sh} \alpha (\ell - x)}{\text{sh} \alpha \ell} \quad (16.1.12)$$

$$\text{- sonu açıq olan halda, } U = U_0 \frac{\text{ch} \alpha (\ell - x)}{\text{ch} \alpha \ell} \quad (16.1.13)$$

burada  $\alpha \cdot \ell = \sqrt{L/C}$  -kəmiyyəti transformator dolaqlarının xüsusi parametri olub, gərginlik və cərəyan dalğalarının dolaq boyu yayılmasında xarakterik dəyişmələri təyin edir. Müxtəlif formalı dolaqları olan transformatorlar üçün  $\alpha \ell$  parametri 5-30 arasında dəyişir. Ortalama -  $\alpha \ell \approx 10$  götürülsə, sonu qısa qapanmış və izolə edilmiş dolaqların başlanğıclarında  $\text{ch} \alpha \ell$  və  $\text{sh} \alpha \ell$  praktiki olaraq eyni qiymətlərə malik olurlar. Dolaqların sonu izolə edilmiş (açıq) halda olduqda,  $U_0 / \text{ch} \alpha \ell$  - kiçik bir potensiala çatır (16.1.13).

$t=0$  anında dolağın başlanğıcında meydana çıxan maksimal qradiyent dolaq sonundakı rejimdən asılı olmayaraq aşağıdakı kimi təyin edilir:

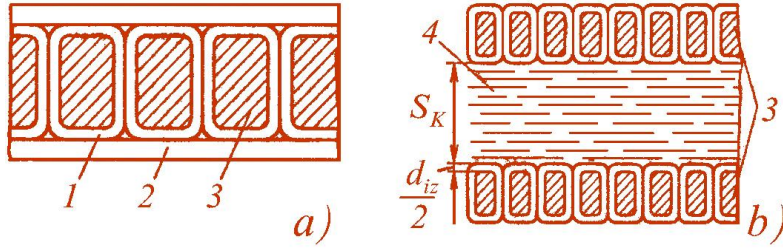
$$\left( - \frac{dU}{dx} \right)_{x=0} = U_0 \alpha = \frac{U_0}{\ell} \cdot \alpha \ell \quad (16.1.14)$$

$U_0 / \ell$  - ifadəsi bərabər paylanma olduğundan maksimal qradiyent, normal (bərabər) qradiyent paylanmasından 10 dəfə böyük olduğu görünür. Əgər, normal rejimdə sarğac verilmiş gərginliyin 3%-nə malik olarsa, ani olaraq sabit gərginliyə qoşulduqda sarğacın gərginliyi 30%-ə çatır. Sarğacın gərginliyi isə, sarğacda gərginliyin qeyri bərabər paylanması səbəbindən  $0.3 U_0 / W$  -dən bir neçə dəfə böyük olur:-  $W$  sarğacın sarğılar sayıdır.

### 16.1.5. Uzununa izolyasiyanın elektrik möhkəmliyi

Yüksək gərginlikli transformator dolaqlarının içərisində uzununa yerləşdirilmiş sarğıların və sarğaclarının izolyasiyaları şək. 16.1.5 -də göstərilmişdir.

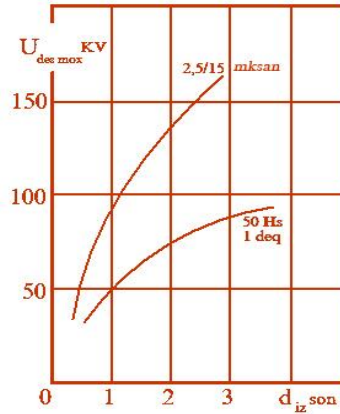
Sarğı izolyasiyası bir sarğacın qonşu olan iki naqili arasında, sarğac izolyasiyası isə iki qonşu sarğac arasında yağ kanalı ilə ayrılmış izolyasiyasıdır.



Şək.16.1.5. Güc transformatorlarının uzununa izolyasiyalari

a) sarğı və sarğac izolyasiyalari, b) qonşu sarğaclaer arası izolyasiya, 1 – sarğı izolyasiyası, 2 – sarğac izolyasiyası, 3 – sarğı naqili, 4 – yağ kanalı (aksial kanal  $S_K$ );  $d_{iz}$  – bərk izolyasiyanın qalınlığı, qonşu sarğılar arasında hər iki tərəfə  $d_{iz}/2$  qədər düşür

Sarğı izolyasiyası kabel kağızının naqil üzərində bir-birini örtən qaydada sarınması ilə yağda hopdurulmuş izolyasiya qatından təşkil olunur. Sarğı izolyasiyasının qısa müddətli elektrik möhkəmliyinin onun qalınlığından xarakterik asılılığı şəkil 16.1.6-də verilmişdir.



Şək. 16.1.6. İmpuls deşilmə gərginliyinin sarğı izolyasiyasının qalınlığından asılılıqları  
 $U_{deşmax}$ (amplitud qiymət)

### 16.2.1. Transformator izolyasiyasında qismi boşalmanın yarandığı sahələr

Güc transformatorlarında ESG-nin lokal artımları fərqli yerlərdə müşahidə edilir. Bu səbəbdən meydana çıxan boşalmaların intensivliyi, sürəti və elektrik yükü də yerindən asılı olaraq dəyişir. Yağ kanalında tac şəklində meydana çıxan qismi boşalmalar (QB), yağ-baryer izolyasiyasında olan qismi boşalmalardan az təhlükəlidir. Yağ-baryer izolyasiyasında işçi və ya ifrat gərginliklər təsiri ilə yaranan QB-lar bərk izolyasiyada çevrilməz proseslərə gətirir və onları sıradan çıxarır. Bundan başqa dolaqların uzunluğu boyu elektrik dalğasının sönməsi ilə, onun ayrı-ayrı məsafələrində eyni intensivlikli QB-in olması, müxtəlif yüklü QB-in qeyd olunmasına səbəb olur. Belə hadisələr, müxtəlif təsirlərdə QB-in təhlükəli qiymətlərinin aşkar edilməsini çətinləşdirir.

Yağ kanalının deşilməsi yağ-baryer izolyasiyasında baş verən qövs boşalmalarına ekvivalentdir. Güc transformatorlarında QB-in aşağıdakı növləri də mövcuddur: 1) izolə edilmiş naqilin elektrokarton və ya kağızla təmasda olduğu yerlərdə yağ aralığının deşilməsi (birləşdirici çatmaların izolyasiyası, sarğac aralıqları və s. bunlardandır), 2) çıxışlar və yan birləşmələrin yağ-kağız izolyasiyasının qismi boşalması, 3) sarğı naqilinin izolyasiyasının qismi boşalması, 4) elektrokartonun səthində yaranan sürüşən boşalma, 5) çıxış yerlərində, girmələrin yağ aralıqlarında və bu kimi elementlərdə baş verən tac boşalmaları.

Cərəyan keçirən hissələrdə izolyasiya elementlərinin toxunduğu yağın nüfuz etdiyi girintilərdə ESG-nin səth boyu olan qiymətləri artır. Bu halda izolyasiya elementlərinin (kağız və karton) biri-birindən aralandığı məsafələrdə yağ qatının deşilməsi sürüşən xarakterli olur və izolyasiyanın səthi boyu daha çox artır.

Dolaqların kənarlarında tutum həlqələrinə yaxın məsafələrdə ESG-yi artır. Şəkil 16.1.5-də dolaqların yan tərəflərində elektrik sahəsinin xarakterik görünüşü verilmişdir. Yüksək gərginlik transformatorlarında tutum həlqələrinin yaxınlığında ESG-nin azaldılması məqsədi ilə, onların kənarları 80-100 mm radiusu ilə dairələndirilir. Bu halda tutum həlqələrinin yaxınlığında maksimal ESG –  $E_{max}=(1,2\div 1,5)E_{yağkan}$ .  $E_{max}$ -n təqribi qiymətləri isə, kənarı dairələndirilmiş elektrodla müstəvi elektrod arasındakı elektrik sahəsinin hesablanmasına uyğun aparılır (şək. 2.1.14).

Tutum həlqəsinin səthində qismi boşalmaların meydana çıxması  $E_{max}=E_0$  gərginliyinin kritik qiymətində ola bilər. Ona görə orta sahə gərginliyi üçün  $E_{qb}=U_{qb}/d$  olduqda qismi boşalma inkişaf edirsə, qismi boşalmada sahə intensivliyi  $d$  və  $r$ -dən asılı olaraq aşağıdakı kimi yazılır:

$$E_{gb} = E_0 \sqrt[3]{\frac{r}{d+r}} \quad (16.1.16)$$

(16.1.15) formulasından görünür ki,  $r$  sabit olduqda  $d$  artarsa, qismi boşalma sahə gərginliyi  $E_{qb}$  kiçilir.

220-750 kV gərginlikli transformatorların sınaqları göstərir ki, defektləri olmayan izolyasiyada sınaqlar zamanı yaranan  $5 \cdot 10^{-10}$  Kl elektrik yükünə malik olan qismi boşalmalar işçi gərginliklərdə tamamilə kəsilir. Daha böyük yükü olan qismi boşalmaların səbəbi isə, transformator izolyasiyasındakı konstruktiv və texnoloji qüsurlardır. Məsələn, izolyasiyanın qurudulma və yağla hopdurulma prosesi, qurudulmuş və hopdurulmuş aktiv hissənin iki gündən çox açıq havada qalması, yağ doldurulduğu zaman vakuumin lazımı səviyyədə olmaması, izolyasiyaya yad hissəciklərin düşməsi və s. kimi qusurlar ola bilər. Belə defektlərə həm də, keçiricilərin kənarlarının dairələndirilməməsi və elektrodların bərk dielektriklə sıx kontaktda olmaması aiddir. Transformatorlardakı defektlər, onların girimlərində baş verən taclanmadan arta bilər. Texnoloji defektlər isə girimlərə ekranlar montaj edildikdən sonra meydana çıxır. İzolyasiya sağlam olarsa, transformatorlarda qismi boşalmaların səviyyəsi yüksək gərginlikli sınaqlardan sonra da dəyişməz qalır.

İzolyasiyadakı defektlərlə bağlı, QB-da elektrik yükləri və cərəyan, gərginliyin azaldılması ilə artır. Gərginliyin eyni qiymətlərlə artırılması halında bu artım dərəcəsi kiçilir. Nəticədə histerezis ilgəyinə oxşar bir asılılıq alınır. Sınaq gərginliyi səviyyəsində olan gərginlik təsirindən sonra isə böyük intensivlikli qismi boşalmaya səbəb olan gərginliklər azalır. Belə elektrofiziki proseslər güc transformatorlarının sınaqları nəticəsində, onun izolyasiyasında çevrilməz dəyişikliklərə səbəb olur.

## 16.2.2. Qismi boşalmaların intensivliyi. İzolyasiyada qaz ayrılımları və deşilmələr

Yağ-baryer izolyasiyası üçün QB və izolyasiyanın sıradan çıxmasının kəmiyyət xarakteristikaları arasında asılılığın araşdırılması mürəkkəb bir məsələdir. Yağdakı açıq keçiricinin səthində yaranan qismi boşalmalar izolyasiya üçün təhlükəsiz olduğundan onları nəzərdən atmaq olar. Baryerlər arası yağın hərəkətdə olan hissəsində baş verən qismi boşalmaları da nəzərdən atmaq olar. Yağın hərəkətsiz olduğu yerlərdə isə, QB-ların meydana çıxması izolyasiyada çevrilməz proseslərə səbəb olur.

Yağ kanalında inkişaf edən boşalmalar yağ kanalını bütövlüklə əhatə edərsə, baryerə çatan strimerin ucluğunda elektrik sahə gərginliyi artır və baryerin üzərində sürüşən boşalmalar meydana çıxır.

Əgər boşalma kanalından ayrılan enerji böyük olarsa, kanalın temperaturu bir neçə min dərəcəyə çatır. Bunun nəticəsində izolyasiyanın üzərində müxtəlif istiqamətlərdə inkişaf edən qara izlər (dendritlər) qalır. Təcrübi nəticələr göstərir ki, güc transformatorlarında işçi gərginliklərdə qismi boşalmaların elektrik yükü  $10^{-12} \div 3 \cdot 10^{-10} \text{ Kl}$  qiymətlərində olur. Belə qismi boşalmalar izolyasiyada heç bir dəyişikliyə səbəb olmur. Uzun müddət  $10^{-8} \div 10^{-7} \text{ Kl}$  intensivliyində olan qismi boşalmalar elektrokarton izolyasiya səthində ağ izlər buraxır. Bu izlər gərginlik kəsildikdən sonra ləğv olunur və izolyasiya sağalır. İntensivliyi  $10^{-7} \div 10^{-6} \text{ Kl}$  olan QB-lar isə izolyasiyada çevrilməz qara izlər buraxır və onların sürətlə sıradan çıxmasına səbəb olur. Digər tərəfdən, QB-ın yağ və bərk izolyasiyaya təsiri nəticəsində onların parçalanması baş verir ki, bu da izolyasiyada qaz ayrılmasına səbəb olur. İlk mərhələdə ayrılan qazlar tamamilə yağda həll olunurlar. Transformatorların müxtəlif zədələnmələrində yağda həll olunan qazla ayrılan qazların tərkibi fərqlənir. Qaz analizi bu fərqi göstərir, çünki bu zaman xromatoqrafiya və ya kütlə spektroskopiyası kimi metodlar tətbiq edilir.

Transformatorların zədələnmələri aşağıdakı şəkildə müşahidə edilir:

1. Yağda baş verən qövs zamanı bərk izolyasiya materialı iştirak etmədiyi halda, ayrılan qazların tərkibində hidrogen 60÷80%, asetilen 10÷25%, metan 1,5÷3,5%, etilen 1÷2% olur. Qalıq isə, yağda həll olunan havadan ibarətdir. Bu mərhələ karbon qazı və karbon oksid qazlarının olmaması ilə xarakterikdir.

2. Yağ-baryer izolyasiyasında qılgıcım boşalmaları. Bu halda hidrogen, asetilen, metanla yanaşı, 15÷25% karbon iki oksid qazı da yaranır.

3. Bərk izolyasiyada (kağız və karton) istilik artdıqca transformator bakının içərisində daha çox karbon qazı və karbon iki oksid qazları ayrılır. Asetilen və metan qazlarının faiz nisbəti isə çox azalır.

4.  $400^{\circ} \text{ C}$  temperaturlardan başlayaraq yağ termiki dağılmaya uğrayır. Yağ kiçik molekullu karbohidrogenlərə:- etan, etilen və hidrogenə parçalanır. Temperatur  $600^{\circ} \text{ C}$  çatdıqda yağın parçalanmasından alınan qaz əsasən metan və hidrogendən ibarət olur. Bu halda yağda hava qarışığı olarsa, karbon qazı çox artır.

Bütün hallarda yağda həll olunmayan qazlar (hidrogen, karbon iki oksid) yağın üstündə transformatorun qaz relələrində toplanırlar. Yağda həll olunan karbon qazı, metan, asetilen isə, yağın tərkibinə keçirlər. Çoxlu miqdarda doymuş və doymamış karbohidrogenlərin hidrogenlə qarışığı yağın qızmış metallə təmas edərək istilikdən parçalanmasını göstərir. Çoxlu miqdarda  $\text{CO}_2$  və  $\text{CO}$ -nun olması, bərk sellüloza - kağız izolyasiyanın parçalanmasını göstərir. Bu zaman adətən,  $\text{O}_2$  və azot azalır. Az miqdarda  $\text{H}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$  və  $\text{CO}_2$  olması intensiv qismi boşalmanın olduğunu göstərir.

### 16.2.3. Yağ baryer izolyasiyasının elektrik möhkəmliyi və hesabı

Yağ baryer izolyasiyasının uzunmüddətli elektrik möhkəmliyinin təyin edilməsi mürəkkəb məsələdir. Bu, elektrik möhkəmliyinin, gərginliyin təsir müddətindən asılı olaraq çox az dəyişməsi ilə əlaqəlidir. Gərginliyin cüzi azalması, deşilmə və izolyasiyanın yaşama müddətinin xeyli artmasına səbəb olur, şəkl.16.1.7. Şəkl.16.1.7-də transformator izolyasiyasının modelində alınmış dağıdıcı gərginliyin nisbi qiymətinin onun təsir müddətindən asılılığı verilmişdir.

Əyridən görünür ki, təsiri saxlanan gərginliyi 1 dəqiqəlik deşilmə gərginliyindən 10-15% azaldıqda, deşilmə gərginliyinin  $\tau$  saxlama müddətini 1 dəqiqədən 100 saata qədər artırmaq olur. Ona görə,  $U_{deş}$  -nin  $\tau$ -dan asılılıq formulası aşağıdakı kimi yazıla bilər:

$$\frac{\tau_2}{\tau_1} = \left( \frac{U_{des1}}{U_{des2}} \right)^n \quad (16.1.17)$$

burada kağız bakelit üçün  $n$ - təxminən 55, yağ-kağız üçün 40-a bərabər götürülür.

YG, OG, AG dolaqları və ekran arasında olan bütün məsafələr sınaq gərginliyinə görə təyin edilir. Dolaqların yerləşmə qaydası və birləşmə sxemlərinə görə hesabatlar standart impuls və ya bir dəqiqəlik sənaye tezlikli sınaq gərginliyinə uyğun aparılır. Seçilmiş sınaq gərginliyinə və əsas izolyasiyanın uyğun nöqtəsinə görə ən böyük hesabat gərginliyi tapılır. Aparılan sınaq təcrübələrinə əsasən, buraxıla bilən sahə gərginliyini təyin etdikdə  $E_{yağkan\ deş\ min}$ -nin (16.1.8) ifadəsindəki qiyməti hesablanır. Düzəlişlər aparılan təcrübələr sayının az, sınaq olunan modelin ölçülərinin transformatora nəzərən kiçik olması və elektrik sahəsinin maksimal həddlərinin dəyişdiyi zonaların azalması ilə edilir. Ona görə, təsir edən sınaq gərginlikləri üçün hesablanmış buraxıla bilən  $ESG - E_{bbyağ\ kan} - yi$ ,  $E_{yağkan\ deş\ min}$  - dan 15% kiçik götürülür:

$$E_{bb\ yağ\ kan} = 0,85 \cdot E_{yağkan\ deş\ min} \quad (16.1.18)$$

burada  $E_{yağ\ kan\ deş\ min}$  A əmsallarının seçilmiş uyğun qiymətlərinə görə (16.1.8) formulasından təyin edilir. Yağ-baryer izolyasiyasının təqribi hesabatında hansı sınaq gərginliyinin seçilməsi, impuls hesabat gərginliyinin bir dəqiqəlik sənaye tezlikli ekvivalent gərginliyə gətirilməsi ilə (16.1.9)-dan təyin edilir:

$$U_{50Hs1deq} = \frac{U_{tesed\ imp}}{\sqrt{2} \cdot k_{imp}} \quad (16.1.19)$$

Məsələn, 220/110/35 kV-luq avtotransformator üçün izolyasiyanın hesabat gərginliyini təyin edək. Dolaqlar içliyə nəzərən normal sıra ilə AG-OG-YG qaydada yerləşir. Dövlətlər arası 1516.1,2-96 standartlara əsasən bu avtotransformatorlar 220 kV xətt girişi tərəfdən tətbiq edilən standart-tam  $U_{sin\ imp}=750$  kV və 835 kV-luq kəsilməmiş impulsarla sınaq edilir. Həmin standartlara görə 1 dəq-lik sənaye tezlikli sınaq gərginliyi isə  $U_{50Hs\ 1\ dəq}=325$  kV-dur. OG, YG dolaqlarının neytralı 35 kV izolyasiya səviyyəsinə malik olduğundan sinusoidal gərginliklə sınaqlar avtotransformatorun aşağı gərginlik dolağı tərəfdən aparılır. 50 Hs tezlikli gərginlik təsirindən maqnit içliyin doyma dərəcəsi çox artığından sınaqlar 225 Hs tezliklərlə aparılır. A çıxışına verilən 325 kv gərginlik  $A_m$  çıxışında  $U_{Am}=325 \cdot 110/220=162$  kV gərginlik yaradır. Bu halda OG-YG dolaqları arasında ən böyük gərginlik YG dolağının xətt çıxışında yaranır:  $U_{YG-OG\ 50Hs\ 1dəq}=325 \cdot 162/2=244$  kV.

Standart impuls sınaqlarında sınaq olunan dolağın çıxışından başqa bütün dolaqlar torpaqlanır. YG dolağı sınaq edildikdə, OG dolağının  $A_m$  çıxışı torpaqlanır. OG-YG arasında tutum, induktiv əlaqə nəticəsində  $A_m$ -ə təsir edən 1,2/50 mksan-lik impuls gərginliyi YG və OG dolaqlarında gərginlik rəqsləri yaradır. Təcrübələr göstərir ki, bu halda ən böyük gərginlik amplitudası hər iki tərəfdən torpaqlanmış OG dolağının ortasında meydana çıxır. Onun qiyməti A çıxışına verilən gərginliyin 20% -ni təşkil edir. OG dolağındakı gərginliyin işarəsi isə bir müddət OG dolağının gərginliyinin əksinə yönəlir. Ona görə sınaq zamanı OG-YG aralığının YG çıxışı tərəfində amplitudası  $U_{YG-OG}=1,2 \cdot 750=900$  kV olan gərginlik təsir edir.  $U_{YG-OG}=900$  kV impuls gərginliyinin bir dəqiqəlik sənaye tezlikli gərginlik ekvivalenti (16.1.19) - dan aşağıdakı kimi hesablanır:  $U'_{50Hs1deq} = 900 / (\sqrt{2} \cdot 2,0) = 320$ , burada yağ-baryer izolyasiyası üçün  $k_{imp}=2$  götürülmüşdür. Hesabatlardan aydın olur ki, ildırım impulsu ilə sınaqlar aparıldıqda, OG-YG arasına təsir edən gərginlik sənaye tezliyinə nisbətən 40% çox olur. Ona görə izolyasiya hesabatında impuls gərginliyi seçilməlidir.



220/110 kV –luq iki dolaqlı transformatorlarda YG dolağı ilə ekran arasında bir dəqiqəlik sınaqlar daha ağır şəraitdə keçir. Bu aralıqda ildırım impulsuna ekvivalent olan bir dəqiqəlik sənaye tezlikli gərginlik aşağıdakı qiymətə bərabər olur:  $U'_{50\text{Hs}1\text{deq}} = 750 / (\sqrt{2} \cdot 2,0) = 265 \text{ kV}$ . Standarta uyğun olaraq həmin aralıqda bir dəqiqəlik sənaye tezlikli gərginlik isə,  $U_{50\text{Hs}1\text{deq}} = 325 \text{ kV}$  olur. Ona görə sənaye tezlikli sonuncu hesabat gərginliyi əsas amil kimi qəbul edilməlidir. Deyildiyi kimi, transformatorun əsas izolyasiyasında ilk olaraq birinci yağ kanalı dəşilir. Dolağa  $S_{\text{yağ kann}} = 5 \div 16 \text{ mm}$  məsafədə seçilən birinci yağ kanalı dolaqla elektrokarton baryer arasında yerləşir. Yağ kanalının qalınlığı azaldıqca onun buraxıla bilən sahə gərginliyi artır (16.1.8)-ə bax. Ancaq bu halda texnoloji və konstruksiya çətinlikləri səbəbindən dolaq səthi ilə eyni qalınlıqda yaxın yağ aralığı saxlamaq çətindir. Ona görə  $10 \text{ mm}$  – dən kiçik yağ kanalları yalnız ultra yüksək gərginlikli transformatorlarda tətbiq edilir. Qəbul edilmiş yağ kanalı və verilmiş sınaq gərginliyinə uyğun (16.1.8) və (16.1.18) - dən yağ kanalında buraxıla bilən elektrik sahə gərginliyi tapılır.

Qısa müddətli gərginlik təsirləri üçün, buraxıla bilən sahə gərginliklərini həm də yağ baryer izolyasiyasında dəşilmə gərginliklərinin statistik meyl etməsinə görə dəqiqləşdirirlər. Yağ kanalında buraxıla bilən ESG-ni kifayət qədər dəqiqliklə (0,95 dərəcə etibarlıqla) aşağıdakı kimi təyin etmək olar:

$$E_{bb \text{ yağ kann}} = k_s (E_{\text{yağ kan deş}} - 2,5 \cdot \sigma_E) \quad (16.1.20)$$

burada  $E_{\text{yağ kan deş}}$  və  $\sigma_E$  – orta dəşilmə sahə gərginliyi və yağ kanalının dəşilməsi zamanı ESG-in orta kvadratik meyl etmə əmsali,  $k_s$ - dolaqda gərginliyin paylanması və modelin elektrodunun, ekvivalent elektrodun sahəsinə olan nisbətini nəzərə alan əmsaldır.  $50 \text{ Hs}$  sənaye tezlikli 1 dəq-lik gərginliyin təsiri və transformatorlarının torpaqlanmış neytral halı üçün, yüksək ESG –nin dolağın uzunluğunun  $0,15$  ölçüsündə və  $\sigma_E / E_{\text{yağ kan deş}} = 0,1$  olduğunu nəzərə aldıqda aşağıdakı ifadəni yazmaq olar:

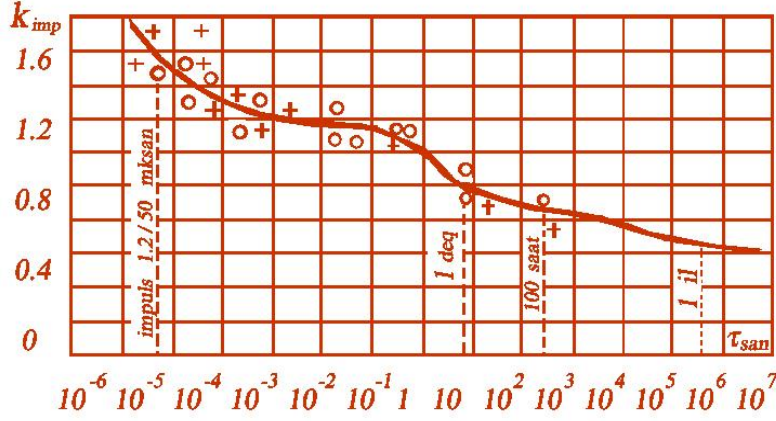
$$E_{bb \text{ yağ kann}} = 0,7 \cdot E_{\text{yağ kan deş}} \quad (16.1.21)$$

Buraxıla bilən sahə gərginliklərinə görə transformator izolyasiyasının əsas ölçüləri təyin edilir. İlk yaxınlaşmada dolaqlar və ya dolaqla ekran arasındakı məsafələr aşağıdakı ifadə ilə hesablanır:

$$S = U_{\text{hes}} \cdot k_{iz} / E_{bb \text{ yağ kan}} \quad (16.1.22)$$

burada  $k_{iz}$  –baryerlər yerləşdirilmiş silindrik konstruksiyada yağın elektrik sahə gərginliyinin artmasını göstərən əmsaldır.

Sonra izolyasiyanın radial quruluşu- baryerlər və elektrokarton silindrlərin sayı və yerləşmə qaydası təyin edilir. Bu zaman nəzərə almaq lazımdır ki, baryerlər arası yağ kanallarının elektrik möhkəmliyi birinci yağ kanalına nisbətən 1,5 dəfə böyükdür. Bunun səbəbləri baryerlər arası məsafənin böyük olması və birinci yağ kanalındakı kimi sahəni təhrif edən sarğac dolaq səthlərinin olmamasıdır. Adətən baryerlər arası məsafə  $25 \text{ mm}$  götürülür. Ultra yüksək gərginlikli transformatorlarda dolaqdan sonra ikinci kanalın eni  $12 \text{ mm}$  , sonrakı kanalların eni isə  $20 \text{ mm}$ -ə qədər olur. Baryerlərin sayı isə təxminən  $n_b \approx U_{\text{hes}} / 100$  kimi hesablanır.



Şək.16.1.7. Yağ baryer izolyasiyasının nisbi deşilmə gərginlinin- ( $ESG-k_{imp}$ ), gərginliyin təsir müddətindən  $\tau$  asılılığı: o- dolağın orta hissəsinin modeli üçün; + dolağın kənarı üçün model.

Baryerlərin qalınlığı yağ kanalında baryerlərin  $E_{yağkan}$  -elektrik sahə gərginliklərinə təsirini nəzərə almaqla tapılır. Verilmiş hesabat gərginliyi və dolaqlar arasında hesablanmış  $S$  məsafəsinə görə ilk yaxınlaşmada:

$$U_{hes} = E_{yağkan} S_{\Sigma yağkan} + E_b S_{\Sigma b} \text{ kimi təyin edilir} \quad (16.1.23)$$

burada  $S_{\Sigma yağkan}$ -bütün yağ kanallarının qalınlıqları cəmi,  $S_{\Sigma b}$ -bütün baryerlərin qalınlıqlarının cəmidir, yəni  $S = S_{\Sigma yağkan} + S_{\Sigma b}$  kimi təyin edilir. (16.1.1) ifadəsini  $E_b = E_{yağkan} \cdot \frac{\epsilon_{yağ}}{\epsilon_b}$  və

(16.1.23) -lə,  $S$  məsafəsinə nəzərə alındıqda birinci yağ kanalı üçün aşağıdakı sahə gərginliyi hesablanır:

$$E_{yağkan} = \frac{U_{hes}}{S - S_{\Sigma b} \left( \frac{\epsilon_{yağ}}{\epsilon_b} \right)} \quad (16.1.24)$$

(16.1.24) və  $\epsilon_b > \epsilon_{yağ}$  nisbətindən görünür ki, baryerlərin cəm qalınlıqlarını artırıqda yağ kanalının ESG-yi artır, izolyasiyanın iş şəraiti pisləşir.

İşçi gərginliklərdə yağ baryer izolyasiyası üçün buraxıla bilən ESG -ni təxminən  $10^{10} \text{ kV}$  göstərici qiymətdə elektrik yükü verən qismi boşalmalar şərti ilə təyin etmək olar. Bu zaman yağ baryer izolyasiyasının uzun müddətli elektrik möhkəmliyinin qiymətləndirilməsi ilə, elektrik-termiki oksidləşmə, köhnəlmə, yağda qaz ayrılımlarının olmaması və ya təsir edən sahə gərginlikləri ilə yağda qazın həcmnin artmaması kimi amillərdən istifadə edərək, buraxıla bilən ESG-ni təyin etmək olar. Bu şərtlərə birinci yağ kanalında buraxıla bilən  $E_{i\dot{s}}$  - işçi orta sahə gərginliyinin  $2,5-5 \text{ kV/mm}$  həddlərində dəyişən qiymətləri uyğun gəlir. Bu qiymətlər izolyasiyanın bir sıra texnoloji və konstruktiv xarakteristikasından asılı olaraq dəyişir. Məsələn, birinci yağ kanalı  $6 \text{ mm}$  seçildikdə, dolağın ortası üçün  $E_{i\dot{s}}=4,5 \text{ kV/mm}$ , kənarında isə  $4 \text{ kV/mm}$  götürülür.

Yağ-baryer izolyasiyasının layihələndirmə təcrübələrinə əsasən cəmi baryerlərin qalınlığı aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$S_{\Sigma b} = (0,2 \div 0,25) S \quad (16.1.24)$$

Onda hər bir silindrin (baryerin) qalınlığı  $S_b = S_{\Sigma b} / n_b$  . Adətən baryerlərin qalınlıqları  $\approx 3 \text{ mm}$ -ə bərabər götürülür.

#### 16.2.4. Güc transformatorlarının izolyasiya konstruksiyaları

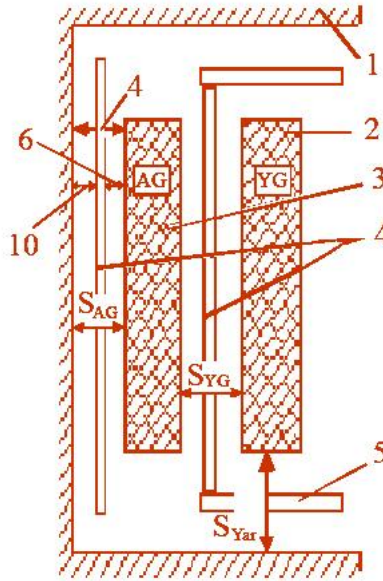
3-35 kV transformatorların izolyasiyası. 3-35 kV transformatorların izolyasiyası da yüksək gərginlik transformatorlarının izolyasiyası kimi, yağ baryer tipli konstruksiyaya malikdir şək.16.1.8.

3-35 kV-luq transformatorların AG və YG dolaqlarının əsas izolyasiyası, qalınlığı 3-6 mm olan bakelit silindrlə ayrılan iki yağ kanalından ibarətdir.  $S_{YG-AG}$  əsas izolyasiyanın ara məsafəsi 15-27 mm-dir. Bu məsafə, elektrik möhkəmliyindən çox texnoloji və konstruktiv tələbatlara görə təyin edilir. Yarmo izolyasiyası da həmin konstruksiya kimi təyin edilir.

Bir sıra xüsusi təyinatlı transformatorlar (elektrovoz, şaxta və s. üçün) yanğın təhlükəsizliyinə görə quru konstruksiyada hazırlanır. Bu halda izolyasiya və soyuducu mühit kimi hava və ya eleqaz istifadə edilir. Bəzən isə, tez qaynayan freon qazı işlədilir.

110-750 kV –luq transformatorların izolyasiyası. Silindrik baryerlər, elektrokartondan hazırlanmış künc həlqə konstruksiyaları, dolaqlar və dolaqla torpaqlanmış hissələr arasında olan əsas izolyasiyanı bir neçə yağ kanallarına ayırır. Karton baryerlərin sayı və onların yerləşdirilmə qaydası transformatorun gərginliyi və konstruksiyasından asılı olur.

110-330 kV-luq yüksək gərginlik transformatorlarının dolaqları kəsilməz sarğı kimi 500 kV və daha yüksək gərginlik transformatorların dolaqları isə çal-keçir konstruksiyada hazırlanır. 220 kV və daha yüksək gərginlikli transformatorlarda çox hallarda dolağın ortasından çıxış alınır. Bu dolağın kənarlarında gərginliyin və yüklənmənin azalmasına səbəb olur. Nəticədə izolyasiyanın işi yüngülləşir və etibarlılığı artır.

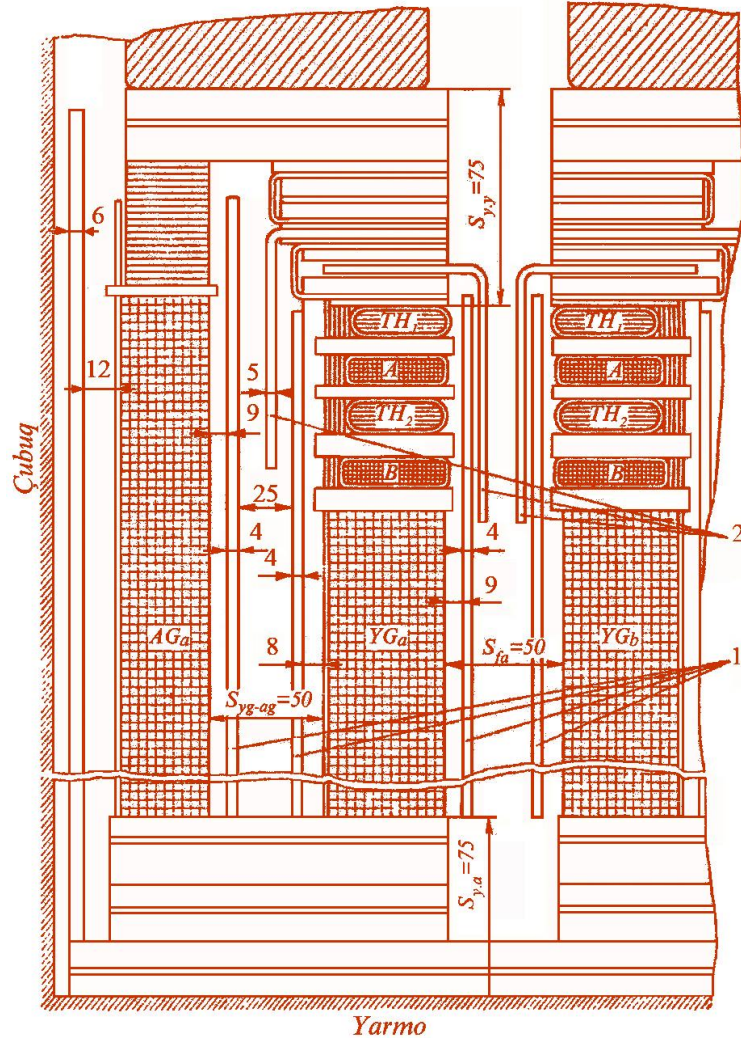


Şək.16.1.8. 35 kV-luq transformatorun izolyasiyası 1- maqnit keçirici; 2 – YG dolağı; 3- dolaqlar; 4- elektrokarton baryer; 5 - elektrokarton lövhə

Bir sıra hallarda dolaqlar ardıcıl qoşulmuş (konsentrlərdən) hissələrdən təşkil olunur. Bu hal avtotransformator birləşmə sxemindən istifadə etməyə və ESG-nin uzununa təşkil edicisinin azalmasına səbəb olur (şək.16.1.1 –ə baxın). Şək.16.1.9-da iki dolaqlı, kənar çıxışlı 110 kV-luq transformatorun əsas izolyasiya aralıqları göstərilmişdir.

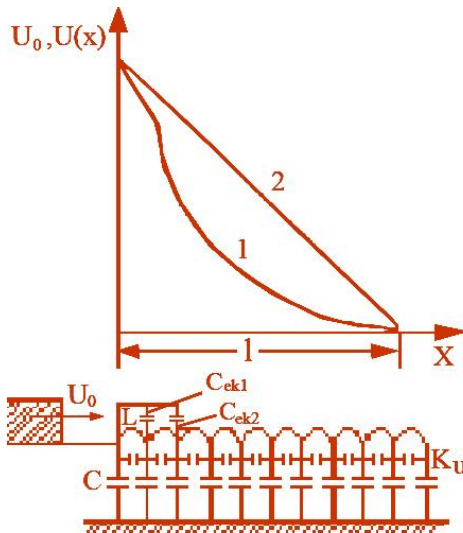
Xətt çıxışlarına yaxın olan sarğacqlar gücləndirilmiş izolyasiyaya malik olub giriş zonasını təşkil edirlər. Giriş sarğacqları yaxınlığında montaj edilən ekranlar, dolaqların kənarlarında olan elektrik sahə gərginliyini bərabərləşdirir [25,27]. Onlar, sarğacqlar arasında və dolağın girişində tutumu artıraraq, ildırım impulsu təsirindən dolağı mühafizə edirlər. Tutum həlqəsi konturunda cərəyan yaranmaması üçün tam çevrə üzrə qapadılır, onların müəyyən yerdən kəsikləri olur.

İldırım ifrat gərginliklərinin impuls təsirlərini dolaq boyu azaltmaq üçün sarğaclarla dolaq sarğıları arasında da ekranlar qoymaqla tutumu artırmaq lazımdır. Bu çal-keçir sarımmış dolaqlarda şək.16.1.10 və 16.1.11 mümkündür.



Şək.16.1.9. 110 kV-luq iki dolaqlı transformator izolyasiyasının eskizi,  $AG_a$ ,  $YG_a$  – a fazasının alçaq və yüksək gərginlik dolağı;  $YG_b$  – b fazasının yüksək gərginlik dolağı;  $TH_1$  və  $TH_2$  – tutum həlqələri; A və B – giriş zonasının sarğacları; 1 – elektrokarton baryerlər; 2 – künc şaybaları

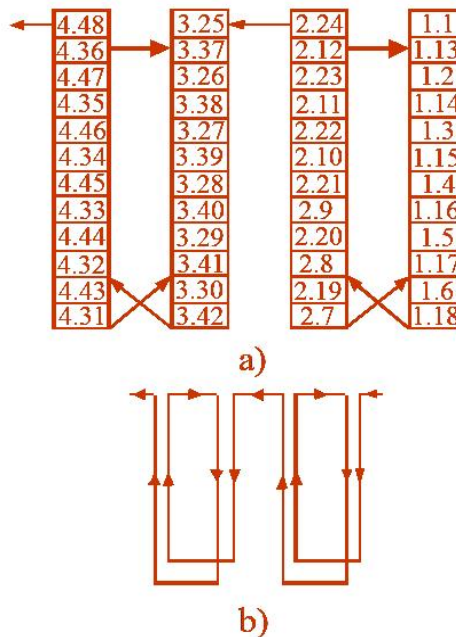
Bir sıra hallarda dolaqların sonundan çıxışlara verilən uclarda ciddi problemlər yaranır. Bu problemlər əsasən konstruksiya ilə əlaqədar olur. Xüsusi ilə aşağı və yüksək gərginlik dolaqları arasında yerləşən orta gərginlik dolaqlarından çıxışlar almaq mürəkkəb olur.



Şək.16.1.10. İldırım ifrat gərginliyi yaradan impuls təsirinə uyğun qurulmuş ekvivalent sxemdə transformator dolaqlarının uzunluğu boyu gərginlik paylanması. Əyri, ekranlaşdırıcı tutumu və dolaqları çal keçir sxemdə olan hala uyğun qurulmuşdur. 1-gərginliyin başlanğıc paylanması, 2-gərginliyin son paylanması,  $L$ -induktivlik,  $C$ -torpağa nəzərən tutum,  $K_u$ -uzununa tutum,  $C_{ek1}$ ,  $C_{ek2}$ -ekranlaşdırıcı tutum həlqələrinin elektrik tutumları.

Çal-keçir dolaqlar dedikdə sarğacları təşkil edən sarğaların biri-birinə keçməsi nəzərdə tutulur. Məsələn, şəkildə göstəriləyi kimi 48 ədəd dolaq sarğalarından 18-inin I-ci və II-ci sarğacları arasında bölüşdürülməsi 7, 8, 9, 10, 11, 12-ci nömrəli sarğalar 2-ci sarğacda qalanları isə, birinci sarğacda sarmır. Sarğacları arası, dolaq sarğı keçidləri 3 yerdən: 12-13-ə (ikincidən birə), 6-7-yə (birincidən ikiyə), 18-19-a (birincidən ikiyə) keçirilir şək.16.1.12. Hər sarğac 12 ədəd sarğıdan ibarətdir.

Şək.16.1.11 b) - də sarğı ilə sarğaclara (1-4 nömrə) keçən cərəyanların istiqamətləri göstərilmişdir.



Şək.16.1.11. Çal-keçir sarınmış dolaqların sxemi a) sarğacları 1-4 birinci nömrələr və sarğalar 1-48 ikinci nömrələr; b) sarğacdən sarğaca keçidlər (sarğılar)

## 16.2.5. Transformator izolyasiyasının sınaqları və istismarı

Transformator (avtotransformator) zavodlarında buraxılan məhsullar DÜİST-in (DÜİST 9920-76,1516-76 və s.) tələblərinə uyğun olaraq bütün sınaqlardan keçirilir. Onların daxili və xarici izolyasiyası tam və kəsilməmiş impuls dalğaları və sənaye tezlikli dəyişən gərginliklərlə sınaq edirlər.

İmpuls sınaqlarında, uzununa izolyasyada aşkar olunan zədələr daha ciddi problemlər yaradırlar. Adətən bu zədələr kiçik dəliklər şəkilində olub, transformator dolağının müqavimətinə təsir göstərmirlər. Lakin onlar, sonradan transformatorların normal işləməsində təhlükə yaradırlar. İzolyasiyaya nəzarətin geniş yayılmış usullarından biri, transformator neytralının cərəyan osilloqramasını çıxarıb, onu eyni tipli, sağlam transformator izolyasiyasının osilloqramı ilə müqayisə etməkdir. Sarğılar və sarğaçlar arasındakı elektriki qapanmalar osilloqramların xarakterini dəyişdirir. Osilloqramlar həm zədələnmə faktını, həm də onların təxmini yerini göstərə bilər. Bu üsul transformatorlarda olan zədə yerinin tez tapılmasını asanlaşdırır.

Əgər transformator neytralı və xətt çıxışlarının (girmələrin) izolyasiya səviyyəsi eyni olarsa, daxili izolyasyada sənaye tezlikli sınaqlar kənar bir sınaq mənbəi ilə aparıla bilər. Bu zaman sınaq olunan dolaq hər iki tərəfdən yerdən izolə edilir. Bütün dolaq boyu eyni bir gərginlik təsir edir. Əgər neytralın izolyasiya səviyyəsi aşağı olarsa (çox zaman belə olur), onda sınaqlar 400 Hs-li induksiya edilmiş gərginliklə aparılır. Bu halda transformatorun birinci dolağına yüksək tezlikli amplitudanın ehtiyatı verilir ki, sınaq olunan dolaqda transformasiya nəticəsində, gərginlik sınaq qiymətinə çatsın. Bu zaman transformatorun neytralı ya torpaqlanır ya da ona kənar mənbədən eyni tezlikli gərginlik verilir. Sənaye tezliyi transformator içliyində böyük induksiya və maqnitlənmə cərəyanları yaratdığından, onlarla belə sınaqları aparmaq olmaz. Sənaye tezliklərində birinci dolağa nominal gərginliyin iki qat qiymətində verilməməsi üçün, sınaqlarda yüksək (400 Hs) tezliklər seçilir. 400 Hs - yüksək tezliklərdə isə, içlikdə yaranan induksiya nominala yaxın olur.

Yüksək gərginlik sınaqları ilə yanaşı, hər bir transformator üçün izolyasiyanın  $t_{gd}$ -sı, müqaviməti və transformator dolağının tutum xarakteristikaları da ölçülür. Zavodda aparılan sınaqların nəticələri, istismar zamanı izolyasiyanın ilkin vəziyyəti kimi qəbul edilir.

Transformator izolyasiyanın elektrik köhnəlməsinin əsas səbəbi olan, qismi boşalmaların intensivliyinin ölçülməsi daha vacibdir. Ona görə bəzi aparıcı zavodlarda qismi boşalmaların intensivliyinin yoxlama sınaqları da aparılır.

110 kV və yüksək gərginlikli, böyük güclü transformatorlar istehlakçılara yağsız göndərilir. Bu zaman transformatora quru hava, azot və ya CO<sub>2</sub> qazı doldurulur. Transformator montaj edildikdən sonra, onun içərisindəki qazın yerinə yağ doldurulur. Transformator qoşulmamışdan əvvəl, 50 Hs tezlikli gərginliklə yağın elektrik möhkəmliyi yoxlanılır: - *Standart elektrodlar arasında deşilmə gərginliyinin qiyməti ən azı 25-50 kV olmalıdır. Deşilmə gərginliyinin aşağı həddi 15 kV-a qədər, yuxarı həddi isə 330 kV və daha yüksək gərginlikli transformatorlar üçündür. 60 və 15 san-li gərginlik təsiri ilə izolyasiya müqaviməti və absorbsiya əmsalı  $K_{abs}$  təyin edilir. Ölçülən absorbsiya əmsalı 1,3 -dən az olmamalıdır. Sonra 20<sup>0</sup>C temperaturda  $C_2$ ,  $C_{50}$ ,  $\Delta C$ ,  $C_h$  tutumları və  $C_2 / C_{50}$  (1,1-1,3 olmalıdır),  $\Delta C / C_h$  (0,1-ə qədər olmalıdır) nisbətləri ölçülür.  $t_{gd}$  müxtəlif temperaturalarda ölçülür.  $t_{gd}$ -nin ölçülən mütləq qiymətlərindən başqa, zavod sınaqlarında alınmış nəticələrlə müqayisələri də aparılır.  $t_{gd}$ -nin qiymətinin çox artması dolaq izolyasiyasının nəmləndiyini və ya başqa defektlərin olmasını göstərir.*

Transformator izolyasiyası mürəkkəb sistem təşkil etdiyindən onun xarakteristikaları bütün transformator üçün deyil, ayrı-ayrı elementləri və «zona»ları üçün yoxlanılır. Zonalar dedikdə: - dolaqlar arasındakı, dolaqla bak arasındakı, dolaqla maqnit içlik arasındakı izolyasiya nəzərdə tutulur. Zonalarda sınaqlar aparılarkən bütün başqa dolaqlar torpaqlanmalıdır.



35 kV və aşağı gərginlikli transformatorlar, istismar yerində yüksək gərginliklə sınaq edilə bilərlər. Bu halda, sınaq gərginliyi zavod sınaqlarında götürülən gərginliklərin 0,85-0,9 nisbəti qədər olur.

«Elektrik stansiya və şəbəkələrinin texniki istismar qaydaları» -TİQ-ə görə, transformatorların uzun müddət, ehtibarlı işləməsi üçün, temperatur rejimi və gərginlik səviyyəsi normal olmalıdır; yağın norma keyfiyyəti uyğun olmalı, soyuducu və gərginlik altında tənzimləmə qurğuları saz vəziyyətdə saxlanılmalıdır. TİQ tələbatlarına diqqət edildikdə, onların hamısının, ilk növbədə transformator izolyasiyasının saxlanması yönəldiyi görünür.

İstismarda istilik rejiminin pozulması izolyasiyanı daha tez sıradan çıxarır. Temperatur artdıqca dolaq izolyasiyasının, izolyasiya və mexaniki xassələri pisləşir. Temperaturun artması ilə yağ oksidləşir, çöküntülərin miqdarı da artır. Bu isə, yağın sirkulyasiyasını və soyutmanı çətinləşdirir. Ona görə, istismarda transformatorların temperatur rejimi və soyutma qurğularına ciddi nəzarət edilir.

Yağın üst səviyyəsində temperaturun qiymətləri: - təbii soyutmalı transformatorlarda + 95 ° C, yağlı soyutmalı transformatorlarda + 80 ° C, yağ və su soyutmalı transformatorlarda + 70 ° C kimi normalaşdırılır. Temperatur termometrlərlə ölçülür.

İstismarda olan gərginlik səviyyəsi əsasən, izolyasiyanın elektrik xassələrinin sabitliyinə və saxlanması uyğunlaşdırılır. Gərginliyin artımı, transformator izolyasiyası üçün təhlükəli olan yüksək harmonikalı ayrıların yaranmasına səbəb olur. Gərginlik artımları həm də, maqnit keçiricidə induksiya və maqnitlənmə itkilərini artırır. Bu səbəbdən, maqnit içlikdə polad paketlər qızır və vərəqələr arasında izolyasiya zədələnir. Nəticədə içlikdə «dəmir yanqın» adlanan hadisə baş verir. Ona görə, gərginliyin uzun müddətli artımı nominalın 5% -dən artıq olmamalıdır. Gərginliyə, ölçü transformatorunun alçaq tərəfinə qoşulan voltmetrlə nəzarət edilir. Gərginlik ölçü transformatoru bir başa güc transformatorunun çıxışına və ya yığıma şinə birləşdirilir.

İstilik rejimi və gərginliyə nəzarətlə yanaşı, vaxtaşırı baxışlar keçirməklə transformatorun vəziyyəti, yağın axması, keçid izolyatorunun sağlam və təmiz olması, yağ ölçü-gözlük şüşəsi, soyutma sistemi və s. yoxlanılır.

### 1.3. Absorbsiya hadisəsi. İzolyasiyaya nəzarət

İzolyasiya elementlərini təşkil edən dielektriklər fərqli dərəcədə qeyribircinsliliyə malikdirlər. Çünki ideal bircinsli tərkibə malik olan dielektrik almaq mümkün deyildir. Müxtəlif xüsusi keçiriciliklərə-( $\gamma_1$  və  $\gamma_2$ ), dielektrik nüfuzluluğu- $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$  və paylanmış defektlərə malik olan iki qatlı izolyasiyanın sxemi şəkl.1.3.2 a)- da göstərilmişdir. Məlumdur ki, qatlardan biri nəmlənmiş olarsa, daha böyük dielektrik nüfuzluluğu və keçiriciliyə malik olar. Sabit gərginlik təsir etdikdə, absorbsiya yüklərinin izolyasiya qatları arasında  $q$ - qədər elektrik yükləri toplanır (1.3.8).

Əgər izolyasiya bircinsli tərkibə malik olarsa,  $R_1C_1=R_2C_2$  və  $\epsilon_1/\gamma_1=\epsilon_2/\gamma_2$  və  $r \rightarrow \infty$ ,  $\Delta C=0$  olar şəkl.1.3.2 b). Nəticədə aydın olur ki, bu halda absorbsiya yükləri yaranmır. (1.3.8) formulasına görə bircinsli sahədə  $q=0$  olar. Şəkl.1.3.2 v) əvəz sxeminə görə, qeyri bircinsli izolyasiyanın sabit gərginliyə qoşulması ilə izolyasiyadan keçən cərəyan zamana görə aşağıdakı qanunla dəyişir:

$$i \curvearrowright = \frac{U}{R} + \frac{U}{r} \cdot e^{-t/T} \quad (11.1.1)$$

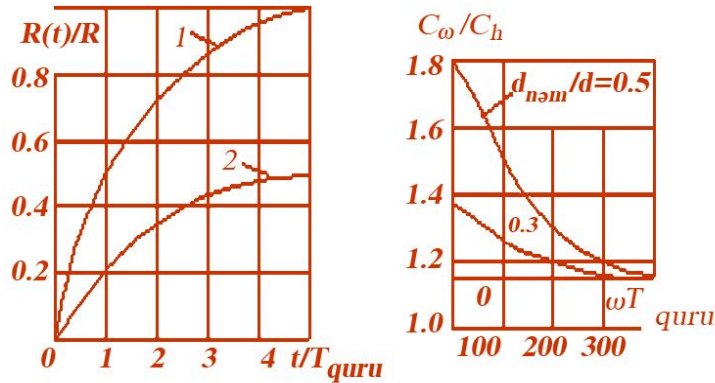
burada  $T=r \cdot \Delta C$  –zaman sabitidir. (11.1.1) formulasında izolyasiyanın həndəsi tutum yükü (yer dəyişmə cərəyanı) nəzərdən atılmışdır.

(11.1.1) formulasının eksponensial qanunla sönən toplananı *absorbsiya cərəyanı* adlanır. Birinci toplanan-  $U/R$  isə, qərarlaşmış cərəyan və ya bir başa keçiricilik cərəyanı adlanır. Keçid prosesində izolyasiyanın zamana görə dəyişən müqaviməti aşağıdakı kimi hesablanır:

$$R(t) = \frac{U}{i} = \frac{R}{1 + \frac{R}{r} \cdot e^{-t/T}} \quad (11.1.2)$$

Şək.11.1.2-də müqavimətin dəyişmə əyriləri verilmişdir: Əyriyərdən görünür ki, izolyasiyanın müqaviməti və onun dəyişmə sürəti, nəmlənmiş izolyasiyada quru izolyasiyaya nisbətən daha azdır. Quru və nəmlənmiş izolyasiyanın bu xarakteristikaları nəmlənməyə nəzarət üçün istifadə edilir. İzolyasiyanın  $R(t)$  müqavimətinin bütün asılılığı çıxarılır. Vəziyyətə nəzarət üçün meqoometr vasitəsi ilə 15 san -  $R_{15}$  və 1 dəq -  $R_{60}$  ərzində ölçmələr aparılır. Bu halda  $R_{60}$  müqavimətinin mütləq qiymətinin  $R_{15}$  -ə nisbəti kimi aşağıdakı absorbsiya əmsalı təyin edilir:

$$K_{abs} = R_{60}/R_{15} \quad (11.1.3)$$



Şək.11.1.2. İzolyasiya müqavimətinin zamana görə dəyişməsi 1-quru, 2-nəmli vəziyyət

Şək.11.1.3 Nəmlənmə şəraitində izolyasiya qatında tutumun tezlik asılılığı

İzolyasiya müqavimətləri və absorbsiya əmsalı kəbellər, elektrik maşınları və transformatorların izolyasiya vəziyyətinin əsas göstəriciləridir. İzolyasiya müqaviməti və absorbsiya əmsalı temperaturdan güclü asılılığa malikdirlər. Ona görə müqayisə üçün eyni temperaturlarda alınmış nəticələr istifadə edilməlidir.

Təcrübələrlə müəyyən edilmişdir ki, izolyasiyanın nəmlənmə dərəcəsinin son həddi  $K_{abs} > 1,3$  nisbətində olmalıdır.  $K_{abs} < 1,3$  olması isə izolyasiyanın həddindən artıq nəmlənməsi deməkdir. Bu halda elektrik avadanlığını işlətmək olmaz.

İzolyasiyanın aşağı mütləq müqaviməti təkcə onun nəmlənməsi zamanı deyil, həm də hədsiz çirklənmə, çatlar və dəliklər kimi yığcam defektlərin olduğu hallarda da müşahidə edilə bilər.

Dəyişən gərginliklərlə izolyasiyanın keyfiyyətinə nəzarət onlarda tutumun ölçülməsi ilə aparılır. Xüsusi ilə transformatorların A sinifli, lifli izolyasiya materiallarında bu sınaqlar effektiv nəticələr verir. (1.3.6) formulasından görünür ki, izolyasiyanın ekvivalent tutumu tezlikdən və zaman sabiti  $T$  - dən asılıdır.  $T$  - izolyasiyanın nəmlənmə dərəcəsiindən asılı olduğundan, tezlik artdıqca  $C_\omega/C_h$ , izolyasiyanın qeyri bircinslilik dərəcəsiindən daha güclü artımlara malik olur. Şək.11.1.3-də verilmiş  $C_\omega/C_h$  əyrisi izolyasiyanın nəmlənən qatının qalınlığına görə tezlik asılılığını izah edir.



Təcrübələrdə tutumların ölçülməsi  $f_2=50$  Hs və  $f_1=2$  Hs tezliklərdə aparılır. Bu zaman temperatur  $10-30^{\circ}C$  arasında sabit qiymətdə olmalıdır. Ölçülən  $C_{50}$  və  $C_2$  tutumları biri-birinə yaxın qiymətlərdə olarsa, izolyasiya keyfiyyətlidir. Bu təcrübələrlə təyin edilir ki, nəmli izolyasiyada  $C_2 / C_{50} > 1,2$  olmalıdır. Çünki, 2 Hs tezlikdə nəmli izolyasiyada absorpsiya tutum yükləri tez yığılır, quru izolyasiyada isə tutum zəif sürətlə yüklənir.

## **17. YÜKSƏK GƏRGİNLİKLƏRİN EKOLOJİ VƏ TEXNİKİ-IQTISADI MƏSƏLƏLƏRİ**

### **17.1.1. Enerji sistemlərin ətraf mühitə göstərdiyi ekoloji təsirlər**

Enerji sistemləri və elektrik verilişlərinin ətraf mühitə vurduğu zərərli təsirlər aşağıdakı qruplara bölünür: - elektrik sahəsinin təsiri, səs və gurultudan yaranan təsir, təhlükəsizlik zonaları kimi təcrid olunmuş torpaq ərazisi və su hovzələrinin tutulması.

Elektrik sahəsinin təsiri dedikdə, yüksək və ultra yüksək gərginlikli elektrik veriliş xəttlərinin və yarımsansiya avadanlıqlarının insan orqanizminə, digər canlı və bitkilərə zərərli təsirləri nəzərdə tutulur. Əmək mühafizəsi norma və qaydalarına görə (330, 500, 750 kV) EVX-ri və yarımsansiyalarda xidmət personalı və digərlərinin sahədə buraxılan maksimal qalma müddətləri normalaşdırılmışdır. Elektrik sahə gərginliyi (ESG) 20 kV/m olan ərazilərdə, bir gün ərzində, qalma müddəti 10 dəqiqəni keçməməlidir. ESG-yi 10 kV/m olan sahələrdə maksimum qalma müddəti 3 saat ola bilər. 20-25 kV/m olan halda açıq paylayıcı quruluş ərazisində xüsusi mühafizə kostyumları istifadə edilməlidir. Bu halda elektrik sahə gərginliyinin yer səthindən olan hesabət nöqtəsi insanın başı səviyyəsinə uyğun hündürlük üçün - 1.8 m götürülür. ESG-nin 5 kV/m və aşağı qiymətləri canlı orqanizmə zərərsiz olduğundan iş günü ərzində orada yerləşmə müddəti məhdudlaşdırılmır. Gərginliyi 330 kV olan xətt məfəllərinin altında, hesabət hündürlüyü üçün 10 kV/m, 500 kV EVX-də 15 kV/m, 750 kV EÖX-də isə, 20 kV/m olur.

Səhiyyə nazirliyinin tövsiyə etdiyi normalara görə, ultra yüksək gərginlikli xətlər boyu ESG-yi  $1$  kV/m - dən çox olmayan, sanitariya-mühafizə zonaları müəyyənləşdirilir. Bu zonaların sərhədləri xəttin oxuna paralel olub, kənar məfəllərdən 330 kV üçün 25 mt, 500 kV – 30 mt, 750 kV üçün isə, 55 mt təyin edilmişdir.

Bilavasitə xəttin altında ESG maksimal qiymətə malik olur. Uzaqlaşdıqca ESG-nin qiyməti məsafənin kvadratına mütənasib olaraq azalır. EVX-nin oxu üzrə, uyğun olaraq, xəttin ortasında sallanma olduğu üçün mərkəzdə ESG maksimal, dayağa yaxın yerdə isə minimal olur. Dayağın ekranlaşdırıcı təsirləri və həmin nöqtədə məfəllin asılma yüksəkliyi də ESG-nin azalmasına müsbət təsir edir. Ona görə, piyada və heyvanların keçidlərini dayağa yaxın olan yerlərdən açırlar.

Mühafizə zonasında müvəqqəti və ya daimi yaşayış binalarının, sənaye müəssisələrinin tikintisinə icazə verilmir.

Lazım gəldikdə xəttin altına ekranlaşdırıcı metal tros çəkilir, yarımsansiyalarda isə şinlər və ekranlaşdırıcı mühafizə örtükləri, xidmət personalı üçün çardaqlar tikilir. Əhalinin mühafizəsi üçün təşkilatı xarakterli işlər görülür, xəbərdarlıq nişanları asılır və izahat işləri aparılır.

Elektrik sahəsi yerdən izolə edilmiş, rezin təkərli, hərəkətli və ya hərəkətsiz obyektlərdə, avtomobil və traktorlarda elektrik yüklərinin meydana çıxmasına səbəb olur. Bu zaman həmin yüklərin təsiri ilə yaranan gərginlik, yerdə durub obyektin gövdəsinə toxunan insanın gövdəsindən yerə axan impuls cərəyanının artmasına səbəb olur. İnsan toxunduqda yaranan impuls cərəyanı xəttin gərginliyi, obyektin həcmi və tutumu, toxunan adamın müqaviməti ilə təyin edilir.

Adətən canlı orqanizmlərdən yerə axan impuls cərəyanları normalaşdırılır. Lakin bununla belə aparılmış analizlərin nəticəsində toplanmış məlumatlara, görə kişilər üçün 9 mA, qadınlar üçün 6.5 mA, uşaqlar üçün isə 4.5 mA cərəyan təhlükəli hədd sayılır. Belə cərəyanlar isə, ESG-yi 15 kV/m olan EÖX – altından keçən böyük avtobusların və kombaynların gövdələrində toplanmış induksiya yüklərindən yarana bilər. Ona görə sürücülərə belə yüksək gərginlik xətlərinin altında dayanmağa icazə verilmir.

**Səs-küy və gurultu təsiri** – bütün energetik obyektlər, o cümlədən EÖX və YS -lər səs-küy mənbələridir. İnşaat və istismar təcrübələri göstərir ki, son zamanlar YS yaxınlığında energetik avadanlıqdan gələn səs-küylər yaxınlıqda yerləşən yaşayış məntəqələrini narahat edir və onların azaldılması məsələsi ortaya çıxır. YS-da səs-küy mənbəi transformatorlar, ventilyatorlar və soyutma sistemləri, sinxron kompensatorlar, hava açarları və s.-dir. Səs və gurultunun azaldılması məqsədi ilə YS –ı xüsusi yerdə tikirlər. Həmin məqsədlə əlavə olaraq xüsusi səs boğucu pərdə tikintiləri və s. tədbirlər yerinə yetirilir.

**Torpaq və su hövzələrinin tutulması**- Energetik obyektlərin tikintisi xeyli miqdarda torpaq və su hövzələrinin zəbt edilməsinə və istifadəsiz qalmasına səbəb olur. Bu halda EÖX və YS inşaatı altına düşən, başqa sahələrin tikintisinə əlverişli və maraqlı olan bir sıra torpaq əraziləri və su hövzələri tutulmuş olur. Hətta bu məsələ, tez-tez vacib dövlət əhəmiyyəti daşıyan obyektlərin tikintisində qarşıya çıxır.

Elektrik veriliş xətlərinin elektrik sahəsi insanlara və digər canlı orqanizmlərə bioloji, termik və elektromaqnit təsirləri göstərir. Bunların isə ən təsirlisi və ətraf mühiti sıx bürüyəni elektromaqnit sahəsidir. Elektromaqnit sahəsi həm də havanın kiçik molekullu tərkiblərə parçalanmasına səbəb olur.