

## **ԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ, ԷԼԵԿՏՐԱՏԵԽՆԻԿԱ**

### **ԷԼԵԿՏՐԱՏԵԽՆԻԿԱ, ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԵՏԻԿԱ**

ՀՏԴ 537.226.7

**Ն.Զ. ԳՐԻԳՈՐՅԱՆ, Է.Վ. ԿՈՒՐԴԻՆՅԱՆ, Ս.Ս. ԱԼԱՎԵՐԴՅԱՆ,  
Լ.Ա. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ**

**ԲԱՐԱԿ ԴԻԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՇԵՐՏԵՐԻ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ԱՄՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ  
ԴՐԱՆՑ ՆԵՐԿԱՅԱՑՈՒՄԸ ԲԱՇԽՄԱՆ ՀԱՎԱՆԱԿԱՆԱՅԻՆ ՖՈՒՆԿՑԻԱՅԻ  
ԽՏՈՒԹՅԱՄԲ**

Դիտարկվել է կոնդենսատորի շրջադիրների միջև տեղակայված դիէլեկտրիկի ծակման լարման (էլեկտրական ամրության) հաստությունից կախման հավանականային տեսքը 0,1 մմ-ից մինչև ատոմական հաստության տիրույթում գտնվող դիէլեկտրական շերտերի դեպքում համասեռ և անհամասեռ դաշտերում: Աշխատանքում օգտագործվել են արդեն հայտնի փորձերի արդյունքներ և դրանց բաշխման հավանականային խտության անալիտիկ տեսքեր, որոնք կիրառվել են հավանականային ինտեգրալի և դրա միջինացման ներկայացումներում:

**Առանցքային բաղադր.** էլեկտրական ամրություն, ծակման լարում, դիէլեկտրական շերտ, բաշխման ֆունկցիա, միկրոսկոպիկ ծավալ:

Գոյություն ունեն բազմաթիվ խնդիրներ, որոնց դեպքում անհրաժեշտ է լինում գործ ունենալ տարրական չափերով մարմինների հետ (տարրական չափերն ընդունում ենք 0,1 մմ-ից մինչև  $10^{-7}$  մմ):

Որպես օրինակներ կարելի է բերել ինդուկտիվ ջերմային տվիչներում ջերմային տարրը [1-2], ինդուկտիվ ձայնային տվիչում տեղակայվող զսպանակը կամ միկրոսխեմաներում կիրառվող կոնդենսատորի դիէլեկտրիկ շերտը [3, 4] և այլն [5]: Նման դեպքերում օգտագործման ենթակա անհրաժեշտ ֆիզիկական մեծությունների աղյուսակային կամ տեղեկատվական արժեքները, օրինակ՝ էլեկտրական ամրությունը [6-12], զսպանակի կոշտությունը, տեսակարար ջերմունակությունը և այլն, հիմնականում կիրառելի են մակրո աշխարհում, իսկ միկրո կամ ավելի փոքր տիրույթների համար որևիցե արժեք գրեթե չունեն: Մակրո տիրույթում գործող արժեքների կիրառումը միկրոչափերի դեպքում կարող է հանգեցնել որոշակի ոչ ճիշտ (իսկ երբեմն հակասական) արդյունքների, որը պայմանավորված է բարակ շերտերի կառուցվածքային առանձնահատկություններով [13-17]: Հետևաբար՝ առաջանում է անհրաժեշտություն՝ ուսումնասիրելու ֆիզիկական

մեծությունների շեղումների արժեքներն ու տեսքերը՝ միկրո աշխարհում կիրառելու համար:

Աշխատանքում համապատասխան ֆիզիկական մեծության նմանատիպ ուսումնասիրություն իրականացնելու համար ներմուծվել է բաշխման հավանականային ֆունկցիա, դրա միջին արժեքի հասկացություն, ինչպես նաև հետազոտվել է համապատասխան ֆիզիկական մեծությունների հավանական շեղումը:

Մեր խնդիրն է ամեն մի տարրական ծավալի յուրաքանչյուր կետում (ոչ փոքր  $10^{-7}$  մմ) համապատասխան ֆիզիկական մեծության համար (օրինակ՝ էլեկտրական ամրության համար՝  $E_i$ ) ներմուծել բաշխման հավանականային խտության ֆունկցիա՝  $\rho(E_i)$  այնպես, որ այդ ծավալի համար ֆիզիկական մեծության արժեքը որոշվի ինչպես՝

$$\bar{E}_0 = \frac{\int_{E_0-\Delta E}^{E_0+\Delta E} \rho(E_i) E_i dE_i}{\int_{E_0-\Delta E}^{E_0+\Delta E} \rho(E_i) dE_i}, \quad (1)$$

որտեղ  $E_0$ -ն էլեկտրական ամրության հավանական մեծությունն է,  $\Delta E$ -ն՝ էլեկտրական ամրության հնարավոր շեղումը:

$\bar{E}_0$  մեծությունը համապատասխան տարրական ծավալում կարող է ընդունել պատահական արժեքներ, քանի որ  $\rho(E_i)$ -ն և  $\Delta E$ -ն նույնպես պատահական մեծություններ են:

Միկրոսկոպիկ տեսքից մակրոսկոպիկ տեսքին անցում կարելի է իրականացնել՝ էլնելով ֆիզիկական խնդրի դրվածքից՝ միջինացմամբ, մասնավորապես, եթե պարզության համար դիտարկենք (1) արտահայտությունը մեկ փոփոխականով:

$$\bar{E} = \left( \frac{1}{x_2 - x_1} \right) \int_{x_1}^{x_2} \bar{E}_0 dx, \quad (2)$$

որտեղ  $\bar{E}$ -ն հավաստի արժեքն է ( $10^{-4} \div 10^{-9}$ ) մ տիրույթի համար,  $x_1$ ,  $x_2$ -ը՝ համապատասխան ֆիզիկական մեծության սահմանային կորդինատները:

Տեղադրելով  $\bar{E}_0$ -ի արժեքը՝ կստանանք.

$$\bar{E} = (1/(x_2 - x_1)) \int_{x_1}^{x_2} \frac{\int_{E_0-\Delta E}^{E_0+\Delta E} \rho(E_i) E_i dE_i}{\int_{E_0-\Delta E}^{E_0+\Delta E} \rho(E_i) dE_i} dx: \quad (3)$$

(3) արտահայտության տեսքն ընդունելի է միկրոսկոպիկ մարմինների ոչ իդեալական դեպքի համար: Ֆիզիկական մեծության շեղումը մակրոսկոպիկ արժեքից հաճախակի շատ փոքր է, սակայն, կախված մարմնի չափերից, այն կարող է փոխվել բավականին մեծ տիրույթում: Մասնավորապես, եթե  $\rho(E_i) = \text{const}$  կամ

$\rho_{(Ei)} = 1$  (որը նույն իդեալական դեպքն է, երբ արատները բացակայում են), ապա (2) և (3) արտահայտությունները հավասարվում են  $E_0$ -ին:

Տարրական ծավալների գծային չափերի մեծ տիրույթի շնորհիվ՝ մեկ տարրական ծավալ կարող է գտնվել մյուսում, ընդ որում, դրանց քանակը շատ հաճախ կարելի է հաշվել, հետևաբար՝ այդպիսի դեպքերում յուրաքանչյուր տարրական ծավալի համար (1)-ի տեսքը պահպանվում է, իսկ միջինացման արժեքի համար (2)-ի փոխարեն կարելի է օգտագործել համեմատաբար ավելի պարզ տեսք՝

$$\overline{E} = (1/N) \sum_{n=1}^N (E_{0n}): \quad (4)$$

Եթե (1)-ը տեղադրենք (4)-ի մեջ, ապա (3)-ի փոխարեն կունենանք հետևյալը՝

$$\overline{E}_N = \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{n=1}^N \left( \frac{\int_{E_{0n}-\Delta E}^{E_{0n}+\Delta E} \rho_{(Ei)} E_i dE_i}{\int_{E_{0n}-\Delta E}^{E_{0n}+\Delta E} \rho_{(Ei)} dE_i} \right), \quad (5)$$

որտեղ  $E_{0n}$ -ն  $n$ -րդ տարրական ծավալում էլեկտրական ամրության արժեքն է (հասկանալի է, որ այդ արժեքը խիստ կախված է տվյալ տարրական ծավալում գոյություն ունեցող թերություններից),  $\overline{E}_N$ -ը՝ մի քանի տարրական ծավալներ ընդգրկող ընդհանուր ծավալի էլեկտրական ամրությունը:

Դիէլեկտրիկների ծակման Ֆրենիկելի, Խիպել-Կալլենի [15-17] և այլ տեսություններում հաշվի առնված չեն կառուցվածքային արատները, տարբեր պատճառներով առաջացած խոռոչները, առանձին քննարկված չեն ջերմության, բյուրեղային կառուցվածքի առանձնահատկությունները [18-20]:

Վերը նշված խնդրում որոշիչ նշանակություն ունի բաշխման հավանական խտության ֆունկցիա  $\rho_{(Ei)}$ - ի տեսքը, և պետք է նշել՝ որքան այն հավաստի է, այնքան արդյունքները մոտ են իրականին:

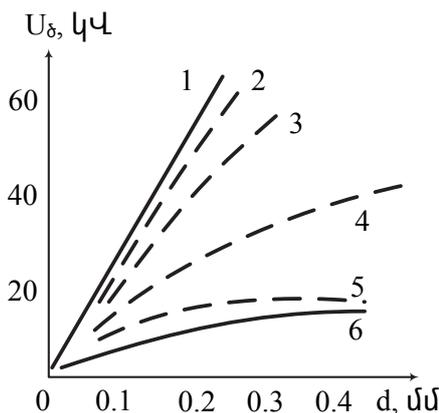
Էլեկտրական ամրությունը կախված է մի շարք գործոններից՝ հարվածային իոնացման էլեկտրոնային միկրո հոսանքներից, լիցքաթափման արագությունից, դաշտի անհամասեռությունից, որը, կապված ծակման պրոցեսի հետ, գտնվում է, այսպես կոչված, սահմանային-կրիտիկական աշխատանքային տիրույթում:

Վերը նշվածը հանգեցնում է այն գաղափարին, որ քննարկված միջավայրում դիէլեկտրիկի էլեկտրական ամրության արժեքը մի կոնկրետ դեպքի համար, առանց ճշգրտման ներկայացնել որպես հայտնի արժեք, այնքան էլ ճիշտ չէ: Այդպիսի տեսակետ կան նաև մի շարք այլ աշխատանքներում [21-27]:

Վերոնշյալը բոլորովին չի հակասում նմանատիպ լուծման հնարավորությանը, ավելին՝ ուղղակի լրացնում է այն բացը, որը գոյություն ունի համապատասխան ֆիզիկական մեծությունների կիրառմանը նանո և միկրո տիրույթներում:

Առաջարկված մոտեցման դեպքում կարևոր են փորձնական եղանակով ստացված տվյալների նվազագույն և առավելագույն արժեքները, դրանց բաշխման հավանականային խտությունը, ինչպես նաև շեղումները նվազագույն և առավելագույն արժեքներից:

(3) կամ (5) արտահայտություններում  $\rho_{(E)}$ -ի տեսքի ներկայացումը և  $\Delta E$ -ի արժեքներն ամեն մի տարրական ծավալում կարող են լինել տարբեր: Եթե նկ.1-ում բերված բոլոր կորերը ընդունենք բացարձակ, ապա (1) ում  $\rho_{(E)}$ -ն կունենանք միայն հաստատուն, իսկ  $\Delta E$ -ն կձգտեր 0-ի: Հետևաբար՝ էլքում կունենայինք մեզ արդեն հայտնի տեղեկատվական արժեքը, սակայն այդ կորերին համապատասխանող տեսքերի արժեքները բացարձակ չեն [8]: Դիտարկենք նկարի կոր 1 դեպքը: Ենթադրենք  $\rho_{(E)}$ -ն հաստատուն է, այդ դեպքում (1) արտահայտությունում կատարելով հետևյալ նշանակումը՝  $E \equiv U$ , կարելի է գրել՝  $\bar{U}_0 = \bar{U}(d)$ , իսկ նկարի առաջին՝ կոր 1-ի համար այն գծային տեսք ունի, ընդ որում՝  $\bar{U}(d) = E_1 d$ , որտեղ  $E_1$ -ն առաջին կորին համապատասխանող էլեկտրական ամրությունն է:



Նկ. Դիէլեկտրիկի ծակման լարումը՝ կախված հաստությունից արտաքին դաշտի տարբեր անհամասեռությունների դեպքում. 1 - համասեռ դաշտ, 6 - անհամասեռ դաշտ

Եթե դիէլեկտրիկի հաստությունը վերցնենք 0,1 մմ, ապա  $E_1 = 3 \cdot 10^2$  կՎ/մմ, եթե  $x_2 = d + \Delta d$ , և  $x_1 = d - \Delta d$ , ապա ըստ (3)-ի կստանանք՝  $\bar{U} = \bar{U}_0$ :

Այժմ դիտարկենք այն դեպքը, երբ  $\rho_{(E)}$ -ն ներկայացված է քառակուսային ֆունկցիայի տեսքով, որի ճյուղերը ուղղված են ներքև՝

$$\rho_{(U)} = -U^2 (\rho_{(U_0)}/\Delta U^2) + 2 U (\rho_{(U_0)U_0})/\Delta U^2 - (\rho_{(U_0)})(U_0^2 - \Delta U^2)/\Delta U^2, \quad (6)$$

որտեղ  $U$ -ն  $\in (U_0 + \Delta U; U_0 - \Delta U)$ ,  $U_0 + \Delta U$ -ն (1) կորի ծակման լարման առավելագույն արժեքն է,  $U_0 - \Delta U$ -ն՝ (1) կորի ծակման լարման նվազագույն արժեքը,  $U_0$ -ն՝ ամենամեծ հավանական արժեքը համապատասխան հաստության դեպքում:

Ըստ (6) -ի համապատասխանաբար կարելի է գրել՝

$$\int_{U_0-\Delta U}^{U_0+\Delta U} \rho_{(U_i)} dU = 2\Delta U \rho_{(U_0)}, \quad (7)$$

$$\int_{U_0-\Delta U}^{U_0+\Delta U} \rho_{(U_i)} U dU = 4 \rho_{(U_0)} U_0 \Delta U: \quad (8)$$

Այսպիսով, տարրական ծավալում լարման ծակման միջին արժեքի համար կստանանք՝

$$\bar{U}_1 = 2 U_0: \quad (9)$$

Ծակման լարման հավանականային խտության համար դիտարկենք գծային դեպքը, պարզության համար դեպքը դիտարկենք համապատասխանաբար հետևյալ երեք սահմաններում՝

ա),  $(U_0 - \Delta U; U_0)$ ,

բ),  $(U_0; U_0 + \Delta U)$ ,

գ),  $(U_0 - \Delta U : U_0 + \Delta U)$ ,

ընդ որում՝

ա) դեպքում՝  $\rho_{(U_i)} = \rho_{(U_0)} U / \Delta U + \rho_{(U_0)} - \rho_{(U_0)} U_0 / \Delta U$ ,

բ) դեպքում՝  $\rho_{(U_i)} = - \rho_{(U_0)} U / \Delta U + \rho_{(U_0)} (U_0 + \Delta U) / \Delta U$ ,

գ) դեպքում (1) արտահայտության հայտարարում գտնվող ինտեգրալը կտրոհենք երկու ինտեգրալի գումարի, որոնցից առաջինի սահմանները կլինեն ա) դեպքին համապատասխանող սահմանները, իսկ երկրորդինը՝ բ) դեպքին համապատասխանող սահմանները: Հետևաբար՝ համապատասխանաբար կստանանք՝

$$\text{ա) } \int_{U_0-\Delta U}^{U_0} \rho_{(U_i)} dU = \rho_{(U_0)} \Delta U / 2,$$

$$\text{բ) } \int_{U_0}^{U_0+\Delta U} \rho_{(U_i)} dU = \rho_{(U_0)} \Delta U / 2,$$

$$\text{գ) } \int_{U_0-\Delta U}^{U_0+\Delta U} \rho_{(U_i)} dU = \rho_{(U_0)} \Delta U:$$

Գծային դեպքի համար կունենանք՝

$$\text{ա) դեպքի համար՝ } \int_{U_0-\Delta U}^{U_0} \rho_{(U_i)} U dU = \rho_{(U_0)} \Delta U / 2 (U_0 + 5\Delta U / 3),$$

$$\text{բ) դեպքի համար՝ } \int_{U_0}^{U_0+\Delta U} \rho_{(U_i)} U dU = \rho_{(U_0)} \Delta U / 2 (U_0 + \Delta U / 3),$$

$$\text{գ) դեպքի համար՝ } \int_{U_0-\Delta U}^{U_0+\Delta U} \rho_{(U_i)} U dU = \rho_{(U_0)} \Delta U U_0 + \rho_{(U_0)} \Delta U^2,$$

հետևաբար՝ տարրական ծավալում ծակման լարման միջին արժեքի համար համապատասխանաբար (1) ից կստանանք՝

$$\text{ա) դեպքի համար՝ } \bar{U}_2 = U_0 + 5\Delta U / 3, \quad (10)$$

$$\text{բ) դեպքի համար՝ } \bar{U}_3 = U_0 + \Delta U / 3, \quad (11)$$

$$\text{գ) դեպքի համար՝ } \bar{U}_4 = U_0 + \Delta U: \quad (12)$$

Եթե ընդունենք, որ ունենք միայն այս դեպքերը, ապա միջին արժեքը կգնահատենք (5) արտահայտությունից օգտվելով և կստանանք՝

$$\overline{U}_N = (\overline{U}_1 + \overline{U}_2 + \overline{U}_3 + \overline{U}_4) / 4 = (5\overline{U}_0 + 3\Delta U) / 4, \quad (13)$$

որտեղ  $N=4$ :

Նույնիսկ այս պարզ դեպքերի դիտարկումից բխում է, որ դիէլեկտրական շերտի հաստության փոքրացումը հանգեցնում է դիէլեկտրիկի ծակման լարման մեծացմանը՝ համեմատած այն արժեքի հետ, որը կարելի է սպասել նկարից:

(7), (8), (9), արտահայտություններում բերված են լարման ծակման այն դեպքերը, երբ հավանականային խտությունն ունի (6)-ին համապատասխանող տեսք, և այն տրված լարման արժեքի նկատմամբ սիմետրիկ է՝  $(U_0 - \Delta U; U_0 + \Delta U)$ : Դիտարկենք  $(U_0 - \Delta U; U_0)$  և  $(U_0; U_0 + \Delta)$  դեպքերը՝ հաշվի առնելով այն, որ փոփոխությունը այստեղ ծակման առավելագույն և նվազագույն արժեքների միջև է, հետևաբար՝ (7)-ի և (8)-ի փոխարեն կստանանք՝

$$\int_{U_0 - \Delta U}^{U_0} \rho_{(U_i)} dU = (2/3) \rho_{(U_0)} \Delta U_0, \quad (14)$$

$$\int_{U_0 - \Delta U}^{U_0} \rho_{(U_i)} U dU = \rho_{(U_i)} \Delta U_0 (2 U_0 / 3 - \Delta U_0 / 4): \quad (15)$$

(14) և (15)-ը տեղադրելով (1)-ում, կստանանք՝

$$\overline{U} = U_0 - 3\Delta U_0 / 4: \quad (16)$$

(16)-ը լարման հավանականային ծակմանը  $\rho_{(U_0)}$ -ի (8) տեսքի դեպքում  $U$ -ն պատկանում է  $(U_0 - \Delta U; U_0)$  միջակայքին, որտեղ  $U_0$ -ն և  $\Delta U$ -ն կախված են տվյալ ապակու հաստությունից և դաշտի անհամասեռությունից:

Եթե (6)-ի համար դիտարկենք հետևյալ ինտեգրալը՝

$$\overline{U}_0 = \frac{\int_{U_0}^{U_0 + \Delta U} \rho_{(U_i)} U_i dU_i}{\int_{U_0}^{U_0 + \Delta U} \rho_{(U_i)} dU_i}, \quad (17)$$

ապա կստանանք՝

$$\overline{U}_0 = 2,5U_0 + 3 \Delta U / 16: \quad (18)$$

Եթե (9-12), 16 և 18-ն ընդունենք այնպիսի տարրական ծավալների համար, որոնք ընկղմված են տարրական ծավալի չափերին մոտ դիէլեկտրիկի թաղանթում, ապա (5) արտահայտությունից միջին արժեքի համար կստանանք՝

$$\overline{U}_N = 17U_0 / 12 + \Delta U / 32: \quad (19)$$

(13) և (18)-ից կարելի է ասել, որ դիէլեկտրիկի հաստության նվազումից միշտ հետևում է ծակման լարման արժեքի զգալի մեծացում: Երբ հայտնի է  $\Delta U$ -ի արժեքը, ապա օգտվելով (3) կամ (5) արտահայտություններից և նկարից, կարելի է որոշ առումով ճշգրտել արդեն հայտնի  $U_0$  արժեքը, մասնավորապես, եթե  $\Delta U$ -ն ընդունենք արհամարհելի փոքր, ապա (19)-ից կարելի է ասել, որ

$$\overline{U_N} = 17U_0/12 = 1,41U_0: \quad (20)$$

(17) և (18) տեսքերը ավելի ճիշտ են ներկայացնում անհամասեռության դեպքերը, իսկ (14-16) տեսքերը առավել մոտ են դաշտի համասեռ բաշխման դեպքին, քանի որ նկ. 1-ից հետևում է, որ  $\rho_{(vi)}$ -ն համասեռ դաշտի համար կոր (1)-ին համապատասխանող  $U_0$ -ից մեծ արժեքների դեպքում զրո է, իսկ անհամասեռ դաշտի համար (2-6) կորերից փոքր արժեքի դեպքում է զրո:

Այսպիսով, նկարից կարելի է բերված բոլոր կորերի համար տալ անալիտիկ մոտավոր տեսք, օրինակ՝ կոր (1)-ի համար կարելի է գրել՝  $U_0 = E \cdot d$ , որտեղ  $E = 3 \cdot 10^2$  կՎ/մմ: Հետևաբար, տեղադրելով (20)-ը, կստանանք՝  $\overline{U_N} = 4,23 \cdot 10^2 \cdot d$ :

(15) և (16)-ից կարելի է ասել, որ որքան բարակում է դիէլեկտրիկը, այնքան սկսում են ավելի մեծ դեր խաղալ պատահական շեղումները այն պարզ պատճառով, որ  $\Delta U$ -ն դառնում է որոշիչ գործոն: Այն ավելի էական է դառնում, երբ դիէլեկտրիկի հաստությունը մոտենում է  $10^{-3}$  մմ կամ ավելի փոքր կարգի: Այդ դեպքում լարման առավելագույն և նվազագույն արժեքների տարբերությունը՝  $\Delta U$ -ն, կարող է  $U$ -ի կարգի մեծություն լինել: Հետևաբար՝ ներքևի սահմանը երբեմն կլինի հավասար զրոյի, իսկ վերևի սահմանը կարող է անգամով մեծ լինել սպասվող արժեքից, քանի որ ծակման լարումը կախված է ոչ միայն հաստությունից, այլ նաև դիէլեկտրիկ միկրոծավալի դիէլեկտրական թափանցելիությունից, որը մի քանի անգամ կարող է տարբերվել թափանցելիության միջին արժեքից:

Քանի որ ծակման լարումը կարգով կարող է փոքր լինել առավելագույն արժեքից, ապա վերոնշյալն առավել զգալի կլինի ծակման լարման նվազագույն արժեքի դեպքում: Նկարից հետևում է որ, (1) և (2) կորերը գծային են, այն դեպքում երբ (3-6) կորերը կարելի է ներկայացնել գծայինին մոտ:

Դիէլեկտրիկի  $10^{-2}$  մմ-ից փոքր հաստության դեպքում կորերը տարբերվում են միայն գծային գործակցով, իսկ համեմատաբար հաստ դիէլեկտրիկների դեպքում այդ տեսքերը արդեն ոչ գծային են, հետևաբար՝ վերոնշյալ (6-20) արտահայտություններում կարելի է գնահատել ծակման լարումը՝ ունենալով  $U_0$ -ի համար որևէ ճշգրիտ արժեք:

Հարկավոր է նշել, վերն ասվածը այն դեպքի համար է, երբ դիէլեկտրական թափանցելիությունն ընդունում ենք հաստատուն ամբողջ ծավալի համար:

Իրականում բարակ շերտերի համար, երբ կառուցվածքային անհամասեռությունների չափերը համեմատելի են հաստության հետ, դիէլեկտրական թափանցելիությունը կարող է ունենալ որոշիչ ազդեցություն: Բայց այստեղ նման խնդիր չի դրվել, ուստի և չի քննարկվել:

**Եզրակացություն:** Ներմուծված բաշխման հավանականային ֆունկցիա  $\rho_{(E)}$ -ն (1), (3) և (5) ներկայացումների միջոցով ճշտվում է՝ համեմատած նկարում բերված փորձնական կորերի հետ: Կատարված համեմատությունից կարելի է եզրակացնել, որ բարակ հաստությունների դեպքում ծակման լարումը կամ դիէլեկտրական ամրությունը կարող է մինչև մի քանի անգամ գերազանցել իրական արժեքը: Փորձնական եղանակով  $\rho_{(E)}$ -ի որոշման դեպքում  $\Delta U$  կամ  $\Delta E$ -ն ավելի մոտ կստացվի իրական արժեքին:

Եթե բարակ հաստությունների դեպքում նման արդյունք չի ստացվում, ապա կարելի է եզրակացնել, որ դիէլեկտրիկն ունի կառուցվածքային արատ և կարող է լինել դիէլեկտրիկի հաստության կարգի:

#### ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Գրիգորյան Ն.Զ.** Ինդուկտիվ ջերմային տվիչի դիէլեկտրիկ ջերմային տարրում ուղղանկյունանիստ տեսք ունեցող դեֆեկտների և դրանց սահմանների գնահատումը // ՀՊՃՀ տարեկան գիտաժողով: Նյութերի ժողովածու. - Երևան, 2014. - Հատոր 2.- էջ 418-423:
2. ՀՀ Արտոնագիր N 08055. Ջերմաստիճանի չափման ինդուկտիվ եղանակ / **Նորայր Գրիգորյան, Գոհար Մինասյան.** - 2008:
3. ՀՀ Արտոնագիր N 755 Կ. Ինդուկտիվ ջերմային տվիչ / **Նորայր Գրիգորյան, Զավեն Գրիգորյան, Ծովինար Սմբատյան, Արմեն Սեդրակյան.** - 01.08.2022:
4. **Григорян Н.З.** Представление коэффициента рассеяния теплового потока микро- и наночастиц с помощью соответствующего коэффициента макроскопического тела // Вестник Национального политехнического университета Армении. - 2016. -N° 1. -С. 49-55.
5. **Васильев В.Ю.** Свойства и применение диэлектрических тонких пленок в технологиях микроэлектроники: Учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2021. – 100 с.
6. Atomic layer deposition of silicon-based dielectrics for semiconductor manufacturing: Current status and future outlook / **R.A. Ovanesyan, E.A. Filatova, S.D. Elliot, D.M. Hausmann, et al** // J. Vac. Sci. Technol. A.-2019. – V. 37. – № 060904.
7. **Sedrakyan A.M., Grigoryan N.Z., Margaryan V.G.** A Probable Appearance of Malus's Law for Inhomogeneous Crystals: Book of Abstracts // XIV International Symposium “Radiation from Relativistic Electrons in Periodic Structures” & VIII International Conference “Electron, Positron, Neutron and X-ray Scattering under the External Influences”. -18 - 22 September, 2023, Tsaghkadzor, Armenia. Publisher: Institute of Applied Problems of Physics NAS RA, 2023. - P. 124.

8. **Չորհրդյան Է.Վ., Խաչատրյան Պ.Տ.** Էլեկտրական կոնդենսատորների հիմունքներ.– Եր.: ՀՊՃՀ, «Ճարտարագիտ», 2018.- 172 էջ:
9. **Гусев В.Н.** Электрические конденсаторы. –Рипол Классик, 2013.-94 с.
10. **Ренне В.Т.** Электрические конденсаторы. –Л.:Энергия, 1969.-592с.
11. **Франц В.** Пробой диэлектриков /Перевод с нем. – М.: ИИЛ, 1961.-224 с.
12. **Вальтер А.Ф.** Пробой твердых диэлектриков. – М.: ГОНТИ, 1938.
13. **Уайтхед С.** Пробой твердых диэлектриков. – М.: Госэнергоиздат, 1957. – 272 с.
14. **Воробьев А.А.** Нарушение электрической прочности диэлектриков и их пробой. –Томск: Изд-во ТГУ, 1962.-204 с.
15. **Воробьев Г.А., Мухачев В.А.** Пробой тонких диэлектрических пленок. – М.: Советское радио, 1977. – 69 с.
16. **Троян П.Е.** Электрическая формовка тонкопленочных МДМ структур. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2003.- 178 с.
17. **Борисова М.Э., Койков С.Н.** Физика диэлектриков. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1979. – 240 с.
18. **Воробьев Г.А.** Физика диэлектриков (область сильных полей). – Томск: Изд-во ТГУ, 1977.-251 с.
19. **Рез И.С., Поплавко Ю.М.** Диэлектрики, основные свойства и применение в электронике. – М.: Радио и связь, 1989. - 28 с.
20. **Ястребов А.С.** Электрические поля в диэлектриках, полупроводниках и структурах на их основею – Томск: СПБ, ТПУ, 1997. - 111 с.
21. **Физика диэлектриков/А.П. Александров, А.Ф. Вальтер, Б.М. Вул, С.С. Гутин и др.;** /Под ред. А.Ф. Вальтера. – М.; Л.: ГГТИ, 1932.
22. **Воробьев Г.А., Некрашевич И.Г., Мицкевич, Бакуто И.А.** Об электрической прочности межэлектродного промежутка в диэлектрике при введении в него неэлектрической энергии// Сб. докладов и сообщений IV научного совета по теоретическим и электрофизическим проблемам электроэнергетики. -Томск: Изд-во ТПУб, 1976. – С. 98-106.
23. **Фрелих Г.** Теория диэлектриков. – М.: ИИЛ, 1960. – 251 с.
24. **Выгодский М.Я.** Справочник по высшей математике. - М.: Наука, 1975.- 872с.
25. **Von Hippel A.R.** Dielectric Materials and Applications.- Artech House, 1995.– 438 p.
26. **Балыгин И.Е.** Электрические свойства твердых диэлектриков. – Л.: Энергия, Ленинградское отд., 1974. – 189 с.
27. **Воробьев Г.А., Похолков Ю.П., Королев Ю.Д., Меркулов В.И.** Физика диэлектриков (область сильных полей). - Томск, ТПУ, 2003.-244 с.

**Н.З. ГРИГОРЯН, Э.В. КУРГИНЯН, С.С. АЛАВЕРДЯН,  
Л.А. ВАРДАНЯН**

**ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОЧНОСТЬ ТОНКИХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
СЛОЕВ И ИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ В ФОРМАТЕ ФУНКЦИИ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ**

Рассмотрена вероятностная форма зависимости пробивного напряжения (электрической прочности) диэлектрика, расположенного между обкладками конденсатора, от толщины диэлектрических слоев в диапазоне от 0,1 мм до атомной толщины в однородных и неоднородных полях. В работе использованы результаты уже известных экспериментов и аналитические формы плотности вероятности их распределения, которые применяются в представлениях интеграла вероятности и его усреднения.

**Ключевые слова:** электрическая прочность, напряжение пробоя, диэлектрический слой, функция распределения, микроскопический объем.

**N.Z. GRIGORYAN, E.V. KURGHINYAN, S.S. ALAVERDYAN,  
L.A. VARDANYAN**

**ELECTRICAL STRENGTH OF THIN DIELECTRIC LAYERS AND  
THEIR PRESENTATION IN TERMS OF THE PROBABILITY  
DISTRIBUTION FUNCTION**

The probabilistic form of the dependence of the breakdown voltage (electric strength) of a dielectric located between the capacitor plates on the thickness of dielectric layers in the range from 0.1 mm to atomic thickness in uniform and non-uniform fields is considered. The results of already known experiments and analytical forms of the probability density of their distribution used in the presentations of the probability integral and its averaging are used in the work.

**Keywords:** electric strength, breakdown voltage, dielectric layer, distribution function, microscopic volume.