

**INSTITUTUL DE ENERGETICĂ
MINISTERUL EDUCAȚIEI, CULTURII ȘI CERCETĂRII**

Cu titlu de manuscris

C.Z.U: 665:37.014

LEU VASILE

**SEPARAREA ULEIURILOR TEHNICE ȘI VEGETALE
DE IMPURITĂȚI MECANICE ÎN CÂMP ELECTRIC**

221.01 – SISTEME ȘI TEHNOLOGII ENERGETICE

Autoreferatul tezei de doctor în tehnică

CHIȘINĂU, 2018

Teza a fost elaborată în cadrul Laboratorului *Procese Termice și Hidrodinamice* al Institutului de Fizică Aplicată al MECC

Conducător științific:

BOLOGA Mircea, prof., dr. hab. în tehnică, academician

Referenți oficiali:

1. **GOLOVANOV Nicolae**, d.ș.t., prof. emerit., Universitatea Politehnică București, România
2. **SAJIN Tudor**, d.ș.t., prof. univ., Universitatea "Vasile Alecsandri" din Bacău, România

Componența Consiliului științific Specializat:

1. **BERZAN Vladimir, Președinte**, d.h.ș.t., conf. cercetător, IE, MECC
2. **ARION Valentin, vicepreședinte**, d.h.ș.t., prof.univ., UTM
3. **TÎRȘU Mihai, secretar**, d.ș.t., conf. cercetător, IE, MECC
4. **POSTOLATI Vitalie**, d.h.ș.t., academician, IE, MECC
5. **GROSU Tudor**, d.h.ș.t., conf.univ., IFA, MECC
6. **STRATAN Ion**, d.ș.t., prof. univ., UTM
7. **GUȚU Aurel**, d.ș.t., prof.univ., UTM

Susținerea tezei va avea loc la **07 septembrie 2018, ora 14:00**, în ședința Consiliului Științific Specializat ad-hoc D 03.221.01-03 din cadrul Institutului de Energetică pe adresa: str. Academiei 5, sala 434, MD 2028, Chișinău, Republica Moldova.

Teza de doctor și autoreferatul pot fi consultate la Biblioteca Științifică Centrală "Andrei Lupan" (str. Academiei, 5, MD-2028, Chișinău, R. Moldova și pe pagina web al Consiliului Național pentru Acreditare și Atestare (www.cnaa.md)).

Autoreferatul a fost expediat la _____ 2018.

Secretar științific

al Consiliului Științific Specializat ad-hoc _____ **TÎRȘU Mihai**

Conducător științific,

d.h.ș.t., prof.univ., academician _____ **BOLOGA Mircea**

Autor

_____ **LEU Vasile**

© LEU Vasile, 2018

REPERELE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

Actualitatea temei. Problema abordată se referă la un domeniu științific relativ nou – *electrohidrodinamica (EHD)*, obiectul de studiu al căreia îl constituie fenomenele de interacțiune a mediilor fluide dielectrice, sau slab conductoare de electricitate cu câmpurile electrice exterioare. Sub acțiunea forțelor electromecanice, apar fenomene electrohidromecanice, care pot să se manifeste sub aspect electrohidrostatic (EHS), când interacțiunile aduc doar la modificarea câmpului de presiune, fluidul rămânând în stare de *repas* sau sub formă electrohidrodinamică, când interacțiunea provoacă *mișcări hidrodinamice*, numite de asemenea și *electroconvective* (convecție electrică). Dat fiind faptul că statica, după cum e știut, poate fi considerată caz particular al dinamicii (viteza zero) sub EHD poate fi subînțeles și cazul EHS.

Actualitatea EHD se explică prin diversitatea de efecte fizice, care apar la interacțiunile EHD și diversitatea posibilităților aplicative ale acestor efecte. Menționăm doar câteva din ele: reglarea și intensificarea schimbului de căldură în lichide și gaze; convertizarea de energie – electrică în mecanică (pompe EHD) și viceversa – mecanică în electrică (generatoare EHD); separarea electrică a mediilor eterogene (emulsii, suspensii, aerosoli etc.). Un loc aparte printre cele enumerate îl ocupă cazul particular de separare a mediilor eterogene – *epurarea* sau *curățarea* lor. Cercetarea întreprinsă este consacrată problemei filtrării sau *epurării electrice (EE)*. Sub aspect teoretic abordează tema interacțiunii EHD a câmpului electric creat din exterior în filtrul electric (FE), cu efect de transfer de masă, o temă vastă și de o importanță incontestabilă pe întregul domeniu EHD. În același timp sunt evidente și necesitățile de soluționare a problemelor de separare, cu care se confruntă: industria alimentară (purificarea uleiurilor vegetale), industriile de mașini (epurarea uleiurilor tehnice, carburanților), industria medicinală (probleme de fracționare-sedimentare la diverse analize, inclusiv celor sanguine) etc. Prin urmare putem concluziona că tema abordată este actuală și de o importanță majoră atât din punct de vedere științific, cât și aplicativ.

Descrierea situației în domeniul de cercetare. Curățarea lichidelor de impurități mecanice este utilizată pe larg în practică, iar necesitatea realizării acestui proces este dictată de diverse motive. Uleiul de transformator se curăță pentru diminuarea tangentei unghiului de pierderi; sporirea rezistenței de străpungere electrică; funcționarea durabilă a transformatoarelor. Uleiurile vegetale – pentru îmbunătățirea calității de gust; prelungirea termenilor de păstrare; atribuirea aspectului comercial de realizare a produselor. Carburanții pentru motoare și uleiul de mașină – pentru reducerea eroziunii pieselor motoarelor; sporirea resurselor de funcționare. Solvenții organici – pentru utilizarea multiplă.

Metodele tradiționale de epurare cu filtre mecanice (FM), utilizate la decantare într-un câmp gravitațional sau centrifugal, posedă anumite neajunsuri: viteză mică de decantare, iar la un volum mare de producție necesită vase încăpătoare și terenuri mari pentru plasarea acestora, deci investiții capitale majore și pierderi în timp. FM limitează curățarea particulelor cu dimensiuni mari, deoarece din lichid sunt îndepărtate doar particulele cu o dimensiune mai mare decât porii filtrului. De aceea se caută metode noi care ar extinde posibilitățile și ar îndepărta imperfecțiunea metodelor deja cunoscute.

În scopul unei epurări mai fine a lichidelor dielectrice se aplică metode electrice, bazate pe efectul de separare a fazelor sub acțiunea câmpurilor electrice puternice ($E > 2 \text{ kV/cm}$). Conductivitatea electrică specifică a lichidelor supuse epurării este limitată în intervalul: $(10^{-12} < \sigma < 10^{-9}) \cdot \Omega^{-1} m^{-1}$. Din aceste lichide fac parte uleiurile tehnice de motor pe bază de petrol, cele sintetice (MK-8, MC-20, IC-20, B-3B), uleiul de transformator, lichidele pentru sistemele hidraulice AMГ-10, BMII 3, precum și uleiurile vegetale.

Metoda electrohidrodinamică de epurare constituie obiectivele de studii ale prezentei lucrări și prin surse bibliografice se demonstrează că este aplicabilă pentru lichide dielectrice și gaze, bazându-se pe următoarele fenomene fizice: electrizare; electroforeză; convecție electrică; dielectroforeză; structurare; sedimentare electrostatică.

Scopul și obiectivele lucrării constau în formularea problemei și identificarea obiectivelor principale de cercetare; elaborarea și cercetarea unor mostre experimentale de filtre electrice; selectarea celui mai eficient și mai optimal; generalizarea datelor experimentale; elaborarea modelului matematic de calcul ingineresc al filtrelor electrice; prezentarea concluziilor și recomandărilor generale.

Metodologia cercetării științifice. Experimentele au fost efectuate la standul experimental (fig.2.3) în următoarea ordine succesivă. Au fost preparate mediile de lucru. La curățarea uleiului de floarea-soarelui de ceară – se confecționau suspensiile corespunzătoare sub formă de amestec al uleiului cu bile din ceară (dispersii) cu dimensiuni microscopice de diverse concentrații, obținute în baza metodicii cunoscute: după densitatea optică a acestora determinată cu ajutorul calorimetrului fotoelectric de concentrație КФК 2. Menționăm, că această metodică e aplicabilă nu doar în cazul epurării uleiului de floarea soarelui de particule de ceară, dar și a altor lichide de diverse impurități, în particular, al uleiului de transformator de impurități dielectrice, semiconductoare și conductoare de curent electric.

Conform rezultatelor obținute, a fost determinată dependența concentrației la ieșirea din filtrul electric $\varphi(t)$ sau concentrația relativă a acesteia $\varphi^*(t) \equiv \varphi/\varphi_0$, unde φ_0 este concentrația inițială (la intrarea în filtrul electric).

Experimentele au fost efectuate în două regimuri: „hidrostatic”, când amestecul, se procesa în câmp electric cu ventilele conturului EHD închise, și în regim de flux – când ventilele respective erau deschise, și lichidul sub formă de jet curgea uniform din chiuveta experimentală în vasul de măsurare a debitului. În ambele cazuri probele lichidului procesat aveau un volum cu mult mai mic decât volumul celulei (probele fiind prelevate peste fiecare 5 minute).

Noutatea și originalitatea științifică. Acestea constau în metoda aplicației *câmpului electric*: utilizarea „electrodului - emiter” sub formă de „electrod - fir” de diametru relativ mare, cu izolația din email *perforată*, ceea ce formează un nou mecanism fizic, pur coulombian, în baza descărcării electrice “*coronă*”, cauzată de *perforații*; colectorul și electrozii de captare ce au menirea de a acumula faza dispersă sunt confecționate sub formă de labirinturi din plăci metalice cu potențiale *flotante*; teoria de separare, care ține cont de fenomenul de ecranare a câmpului electric exterior, cauzat de stratul de particule disperse cu grosimea în *creștere* (problemă gen *Stefan*), ce se depun pe suprafața colectorului, particulele fiind considerate ideal dielectrice; totodată, s-a ținut cont și de rezistența electrică a stratului menționat; în cazul particulelor semiconductoare (Cr_2O_3) sau conductoare (carbon), s-au introdus noțiuni noi – fenomen de *difuzie electrică* și de *coeficient* de difuzie electrică, elaborându-se teoria respectivă; sub aspect teoretic a fost determinată *concentrația particulelor la ieșirea* din separatorul electric, ca funcție de timp, demonstrându-se că este de relaxare; au fost generalizate datele experimentale sub formă de ecuații adimensionale de similitudine, rezultatele teoretice fiind confirmate experimental.

Problema științifică importantă soluționată constă în studiul aprofundat al interacțiunilor electrohidrodinamice în medii eterogene de tip suspensii cu faza portantă lichidă dielectrică și aspectele aplicative, ce sunt cercetate și soluționate în cadrul modelului fizic de interacțiuni electrohidrodinamice, condiționate de descărcarea electrică gen “*coronă*”, grație faptului că procesele se desfășoară în câmp electric puternic-neomogen pentru care și sunt caracteristice descărcările electrice menționate.

Semnificația teoretică constă în elaborarea unei noi teorii privind procesul de separare a fazelor în câmpul electric exterior, la baza căreia stă conceptul mecanismului descărcării electrice *coronă*; a fost stabilită ecuația de bază pentru concentrația fazei disperse la *ieșire* din separator ca funcție de timp; au fost elaborate două ipoteze referitor la fenomenul de dispariție a

procesului de curățare: prima - de ecranare a câmpului exterior de către sarcina electrică a stratului de dispersii, depuse în colectorul de impurități și a doua – de creștere a rezistenței electrice a acestui strat; ambele ipoteze nu contravin datelor experimentale.

Valoarea aplicativă a lucrării constă în: cercetarea experimentală a procesului de separare electrică, în baza căruia s-a elaborat modelul matematic de calcul ingineresc al separatoarelor electrice de tip „coronă”; generalizarea datelor experimentale prin ecuații adimensionale pentru toate cazurile de particule disperse (dielectrice, semiconductoare și conductoare de curent electric); obținerea rezultatelor care pot fi utilizate atât în calculele de proiectare, cât și la confecționarea separatoarelor electrice.

Rezultatele științifice principale înaintate spre susținere:

- studiul influenței factorilor fizici asupra procesului de filtrare; generalizarea adimensională a datelor experimentale în baza modelului cu un parametru, și precizarea lui prin modelul cu doi parametri.
- elaborarea modelului teoretic al procesului de epurare a suspensiilor dielectrice de impurități sub formă de particule dielectrice în baza ipotezei depunerii lor pe suprafețele „capcanelor” electrice sub formă de strat încărcat eterogen. Rezultatele teoretice sunt confirmate prin cele experimentale.
- determinarea prin metode statistice a parametrilor procesului de epurare (λ și μ) în funcție de timp; generalizarea datelor experimentale sub formă de ecuație adimensională; interpretarea fizico-teoretică a rezultatelor.
- obținerea formulelor de bază pentru concentrația remanentă în procesul de epurare electrică a uleiurilor tehnice (ulei de transformator) de impurități dispersate - din material semiconductor (Cr_2O_3) și conductor de electricitate (cărbune activat); generalizarea datelor experimentale referitor la concentrația finală staționară φ_∞^* .
- elaborarea teoriei cu privire la epurarea electrică a mediilor eterogene de particule semiconductoare sau conductoare în modelul nestaționar, obținerea graficelor și ecuațiilor respective.

Implementarea rezultatelor. Rezultatele obținute în teză pot fi aplicate la calculele de proiectare, cât și la confecționarea separatoarelor electrice.

Aprobarea rezultatelor. Lucrările elaborate au fost publicate, prezentate și discutate în cadrul mai multor seminare, simpozioane și conferințe de nivel național și internațional (Expozițiile Internaționale Specializate Infinvent, registrul publicațiilor tehnico-științifice al

Agenției de Stat pentru Proprietatea Intelectuală, Institutul de Fizică Aplicată, România, Franța, Rusia etc.).

Publicații științifice. Rezultatele cercetărilor științifice au fost publicate în 25 lucrări, inclusiv 3 brevete, 5 lucrări ca singur autor, 10 publicații în reviste din Registrul Național al revistelor de profil, categoria A.

Structura și volumul lucrării. Teza include introducerea, 4 capitole, concluzii finale și recomandări, bibliografie (154 de titluri), conține 140 de pagini, include 15 tabele și 42 de figuri.

Cuvinte cheie: lichid dielectric, mediu eterogen, fază închisă, fază dispersă, câmp electric, separare de faze, filtrare electrică, curent electric, concentrația fazei disperse, transfer de masă, potențial, perforație.

CONȚINUTUL TEZEI

În **Introducere** se descrie actualitatea și importanța domeniului științific abordat; sunt stabilite scopul și obiectivele lucrării; scoase în evidență noutatea științifică; semnificația teoretică și valoarea aplicativă a lucrării; este prezentat un sumar al conținutului lucrării.

Capitolul 1. Stadiul actual privind problema de separare a lichidelor eterogene.

În acest capitol a fost analizată situația din domeniul epurării lichidelor de impurități mecanice prin examinarea de monografii, articole, brevete, materiale ale conferințelor științifice etc. Problema aplicării efectului de electrizare la lichide dielectrice, inclusiv, în condițiile de transfer de căldură, a fost abordată și descrisă în surse bibliografice, în care au fost cercetate diverse mecanisme de încărcare electrică a lichidelor dielectrice și slab conductoare. Forța care acționează asupra particulelor la separarea electrică în condițiile unui câmp electric exterior puternic neomogen nu este de natură dielectroforeză, ci coulombiană condiționată de descărcarea prin efect coronă. Distribuția acestei forțe, în caz general, este determinată de relația $\rho\mathbf{E} = \mathbf{j}/k$, în care ρ este densitatea sarcinilor volumetrice libere în mediu, \mathbf{E} – intensitatea câmpului electric exterior, \mathbf{j} – vectorul densității curentului electric, condiționat de sarcinile volumetrice libere, k – coeficientul de mobilitate a purtătorilor de sarcină electrică de semnul electrodului (coronar) activ. Fenomenele electrohidrodinamice și electroconvective sunt prezente, practic, în orice proces din lichidul dielectric aflat sub acțiunea câmpului electric suficient de puternic. În procesul de separare electrică faza dispersată se acumulează în regiunea colectorului, formând structuri sub formă de carcasă. Ele sunt analoge celor ce apar la epurarea electrică a lichidelor dielectrice ideale (capitolul 2), fiind menținute prin „dipol-dipol” interacțiuni reciproce dintre particule. În cazul particulelor conductoare și slab conductoare, formarea structurilor în procesul de EE nu se observă, însă în asemenea cazuri apare un nou fenomen cel de *difuzie electrică*.

Filtrele electrice pentru lichide au particularitățile lor, care sunt examinate în cap.2. E necesar de menționat că lichidele au viscozitate și densitate mai sporită în comparație cu gazele, însă efectele EHD cauzate de descărcarea prin efectul coronă, în ambele cazuri sunt de același ordin. Aceasta are loc deoarece în lichide valoarea curenților este mică și mobilitatea purtătorilor de sarcină corespunzător este mai mică. Raportul dintre densitatea curentului electric și coeficientul de mobilitate a ionilor, adică densitatea forței electrice, este de același ordin.

La dimensionarea filtrelor electrice este necesar de a ține cont de un șir de factori, care prevăd atât intensificarea decantării electrice și formarea structurilor, cât și atenuarea curgerilor convective în capcane. Din categoria acestora fac parte următoarele grupe de factori:

- electrici: tensiunea și intensitatea curentului dintre electrozi, polaritatea tensiunii aplicate, caracterul repartizării câmpului electric în celula de epurare, valoarea sarcinii particulelor de impurități;

- parametri fizici ai mediului (lichidului epurat): viscozitatea, densitatea, permeabilitatea dielectrică, conductivitatea electrică specifică atât a fiecărei faze separat, cât și a amestecului;

- tehnologici: temperatura și presiunea mediului epurat, debitul lichidului prin filtrul electric, concentrația inițială de impurități, productivitatea specifică a instalațiilor și altele;

- constructivi: schema filtrului electric, raportul dimensiunilor unor elemente ale filtrului electric, forma și dimensiunile electrozilor, tipul și parametrii suprafețelor de izolare.

În baza studiului efectuat în problema separării mediilor eterogene prin metode electrice, au fost formulate concluziile și stabilit scopul prezentei lucrări și anume elaborarea unei teorii adaptate la calculul adecvat ingineresc, în baza căruia să fie posibil calculul de dimensionare al filtrelor electrice pentru destinația dată și parametrii prestabiliți.

Capitolul 2. Separarea fazei solide de cea lichidă în suspensii dielectrice prin metode electrice.

Modelul dispersiilor dielectrice (ideale) descrie principiile fizice de funcționare a filtrului electric, particularitățile constructive generale, filtrele utilizate în cercetare, standul experimental și metodică cercetărilor; efectuată generalizarea datelor experimentale pentru modelul cu un parametru și cu doi parametri.

Principiile de funcționare ale filtrelor electrice poartă un caracter electrohidrodinamic (EHD), deoarece interacțiunea unui câmp electric de înaltă tensiune cu un fluid dielectric sau slab conductor de curent electric, inevitabil va conduce la interacțiuni EHD sau la convecție electrică. Însă principiul care stă la baza FE constă în interacțiunea directă a câmpului electric cu particulele de impurități (dispersii) din lichid, care trebuie să fie eliminate. Aceste interacțiuni au

propriul specific electric: pur coulombian ($\mathbf{F}_1=q \cdot \mathbf{E}$) sau „dielectric”, în cazul structurii dipolare a moleculelor [$\mathbf{F}_2 = (\mathbf{p} \cdot \nabla)\mathbf{E}$]. De aceea, procesul de separare a fazei solide de cea lichidă depinde și de tipul câmpului exterior (omogen, neomogen, variabil, constant), dar și de tipul impurităților: dielectrice, conductoare sau semiconductoare. Sub acțiunea forțelor menționate, particulele de impurități se deplasează în direcția electrozilor de semn electric opus față de cel al particulelor, în cazul forțelor de primul tip sau în direcția câmpului neomogen de intensitate maximă, în al doilea caz. Astfel, impuritățile într-un mod sau altul se depun pe suprafața electrozilor, fiind extrase din lichid, ca apoi să fie evacuate și din filtru, de regulă, prin spălarea acestuia cu soluții speciale. Rolul convecției electrice, este important sub două aspecte: pe de o parte, evident, acest fenomen dăunează separării, întrucât contribuie la amestecul mediului, iar pe de altă parte, fluxul electroconvectiv poate servi drept mijloc de transfer al particulelor disperse spre capcanele electrice. Anume în aceasta și constă rolul primordial al fenomenelor EHD în procesele de filtrare electrică.

În experimentele – pilot, drept platou de lucru au servit diverse filtre electrice, în linii generale, reprezentând o chiuvetă din sticlă organică în formă de paralelipiped sau cilindru (în unele cazuri) cu racorduri de intrare și ieșire, în interior fiind instalați electrozii de înaltă tensiune conectați corespunzător la sursa de înaltă tensiune (SÎT), circuitul cu pământul, și capcanele pentru impurități. În calitate de electrod de înaltă tensiune a servit un segment de conductor de cupru cu diametrul 2 mm, lungime 12 cm cu înveliș dielectric din email perforat, conectat la polul negativ al (SÎT) și fixat pe capacul chiuvetei, pe când electrod de contact cu pământul a servit o placă metalică instalată pe fondalul chiuvetei. Prezența electrodului cu înveliș dielectric perforat (emitor), amplasat în fluxul exterior de lichid, asigură încărcarea electrică a lichidului și a curgerilor electroconvective („vântul ionic”) suficient de efective pentru transportul impurităților spre colectoare, unde vor fi captate. În figura 2.1 este prezentată schema filtrului electric 1.

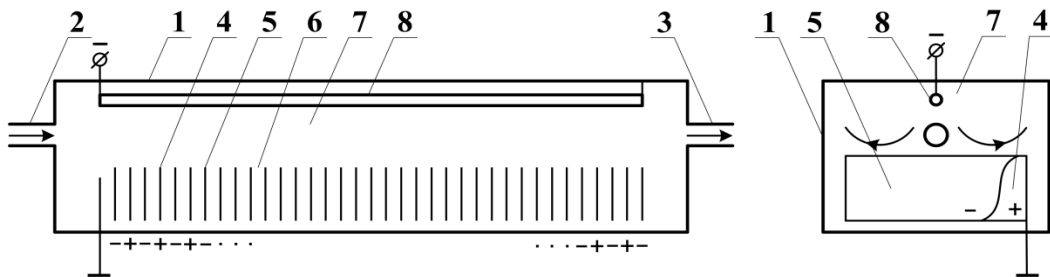


Fig. 2.1. Filtru cu capcane metalice

1 – chiuvetă; racorduri de admisie 2 și de evacuare 3; 4, 5 - electrozii alternanți, care formează între ei colectoarele de impurități 6; 7 - canalul pentru refularea lichidului; 8 - electrod cu înveliș dielectric perforat.

Cu săgeți este indicată direcția de refulare a lichidului și a curgerilor electroconvective.

În fig. 2.2, este prezentat FE 2 care constă dintr-o chiuvetă cu racorduri de admisie și evacuare, în care sunt amplasați doi electrozi marginali și un grup de electrozi intermediari cu potențial flotant, care servesc capcane pentru impurități.

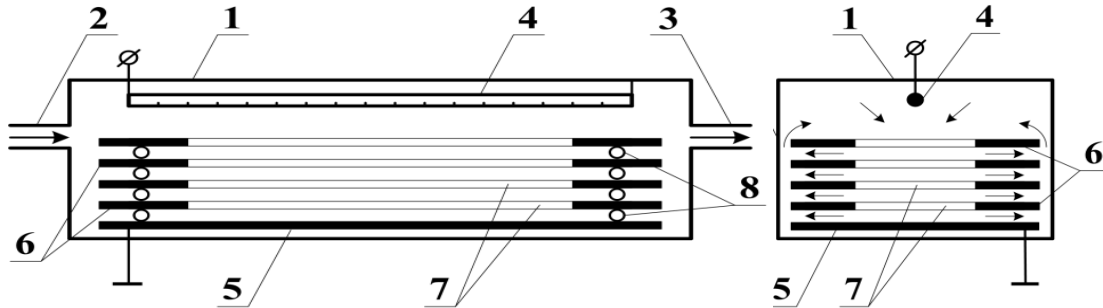


Fig. 2.2. Filtru combinat

1- chiuveta; 2-racord de admisie; 3-racord de evacuare; 4, 5-electrozi; 6- electrozi intermediari; 7-orificii; 8-izolatori.

Schema standului este prezentată în figura 2.3 și include: filtru electric 1, vas sub presiune 2 cu lichid examinat, conectat la intrare în filtru cu furtunul 3 și ventilul 4. Racordul de ieșire al filtrului electric este cuplat prin furtunul 7 și ventilul 5 la celula optică de măsurare 6 a calorimetrului (în figura 2.3 nu este indicată). Electrocul filtrului electric s-a conectat la polul negativ al sursei de înaltă tensiune SÎT-50 și kilovoltmetrul C-96, iar în circuitul contactului cu pământul a fost conectat microampermetru.

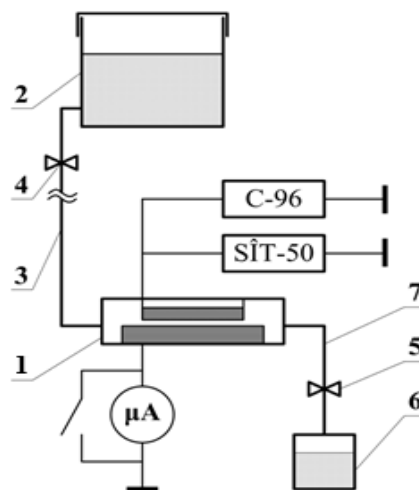


Fig. 2.3. Schema standului experimental.

1- filtru electric; 2 – vas cu suspensie; 3, 7 – furtuni de cuplare; 4 și 5 - ventile; 6 – chiuvetă pentru măsurarea optică.

Conform rezultatelor obținute, a fost determinată dependența concentrației la ieșirea din filtrul electric $\varphi(t)$ sau concentrația relativă la ieșire $\varphi^*(t) \equiv \varphi/\varphi_0$, unde φ_0 este concentrația la

intrarea în filtrul electric. S-a demonstrat că eficiența de curățare în condiții similare, depinde esențial de factorii constructivi ai filtrelor electrice, în general, și de capcanele pentru impurități, în special. A fost studiată influența tensiunii electrice U asupra procesului de filtrare și s-a constatat: cu creșterea tensiunii sporește procesul electrofiltrării, însă există valoarea optimă a tensiunii, cu efect maximum de purificare, ceea ce permite selectarea parametrilor optimi ai procesului de separare a impurităților mecanice în câmp electric.

S-a efectuat generalizarea adimensională a datelor experimentale în baza modelului cu un parametru, apoi precizate prin modelul cu doi parametri. Prin metode statistice au fost determinați parametrii (λ și μ) ai dependenței concentrației $\varphi^*(t)$ a procesului de epurare în funcție de timp; generalizate datele experimentale sub formă de ecuație adimensională, ceea ce permite efectuarea calculelor ingineresti; prezentată interpretarea fizico-teoretică a rezultatelor, confirmate prin cele experimentale.

Graficul funcției $\varphi^*(t)$ este reprezentat în figura 2.4, în care punctele sunt cele experimentale.

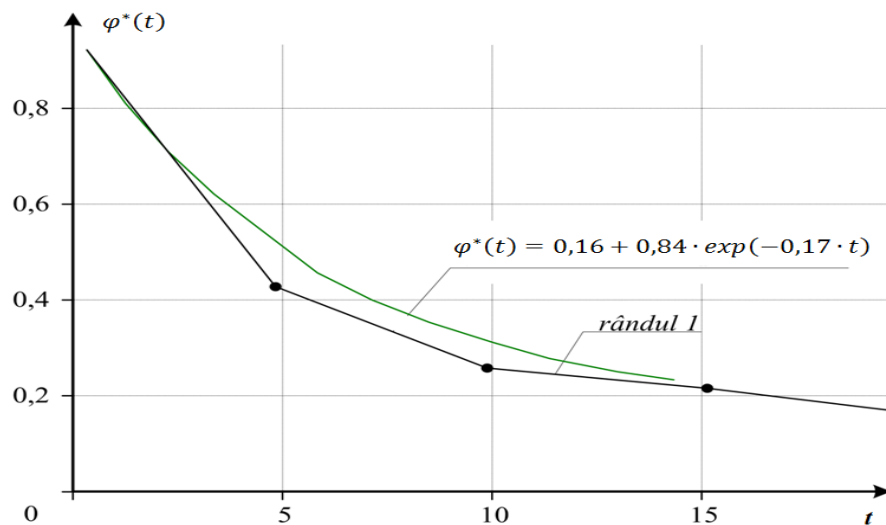


Fig. 2.4. Comparația datelor experimentale și de calcul.

Astfel, constatăm o coincidență satisfăcătoare.

Capitolul 3. Aspecte teoretice și experimentale ale procesului de separare prin metode electrice a fazei disperse solide în suspensii dielectrice.

Particulele de impurități sub influența câmpului se polarizează, obținând moment dipolar \mathbf{P} și se pot electriza cu o sarcină anumită q . Concomitent, particulele dielectrice de ordinul micrometrului, de exemplu în sistemele coloidale, posedă sarcină electrică (ξ – potențial), independent de prezența sau absența câmpului exterior, fiind supuse acțiunii forțelor electrostatice:

$$\mathbf{f} = \begin{cases} (\mathbf{P} \cdot \nabla)\mathbf{E}, \\ q\mathbf{E}, \\ (\mathbf{P} \cdot \nabla)\mathbf{E} + q\mathbf{E}. \end{cases} \quad (3.1)$$

Particulele migrează spre electrozi, unde se depun, astfel efectuându-se procesul de epurare, care conform cercetărilor poartă un caracter de relaxare:

$$\varphi = \varphi_0 \cdot e^{-t/\tau}, \quad (3.2)$$

unde φ_0 este concentrația inițială a particulelor în lichidul curățat, τ – *timpul caracteristic*. Acest parametru se numește timpul de relaxare, în cazul nostru – a particulelor disperse, care depinde de un șir de factori, în special, de proprietățile mediului, de caracteristicile câmpului, particularitățile constructive ale filtrului electric, etc.

Modelul teoretic de curățare electrică a fost cercetat, luând în considerare creșterea în timp a grosimii stratului de impurități depus pe electrod pentru cazul electrohidrostatic în câmpul condensatorului plan-parallel (figura 3.1).

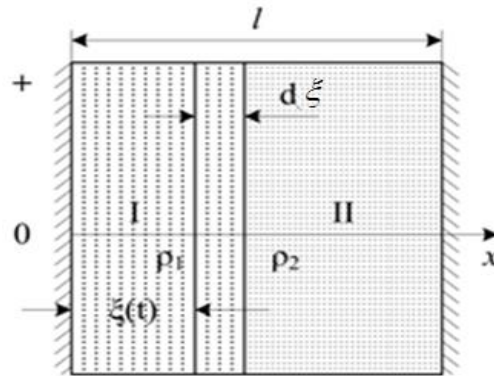


Fig. 3.1 Modelul de calcul al filtrului electric.

I — $\xi(t)$ grosimea stratului de impurități; II — stratul de lichid

Sub acțiunea forței electrice, stabilită prin una din interacțiuni din (3.1), particulele migrează spre electrodul din partea stângă, formând un strat cu grosimea $\xi(t)$, ce depinde de timp t . Problema constă în determinarea concentrației în stratul II ca funcție de timp, luând în calcul deplasarea graniței fazelor. Această problemă (de tip Stefan), a fost soluționată din considerente fizice, în baza balanței maselor de impurități depuse pe electrod:

$$dm_l = isdt, \quad (3.3)$$

pe de o parte, și a diminuării acesteia din lichid, pe de altă parte:

$$dm_l = -\gamma \mathcal{N} d\varphi, \quad (3.4)$$

În rezultat a fost obținută ecuația pentru $\xi^*(t)$:

$$\frac{\gamma_1^* l}{b} \cdot \frac{d\xi^*}{[\varphi_0 + \gamma_1^* \ln(1 - \xi^*)] f} = dt, \quad (3.5)$$

unde f este forța care se exercită asupra particulei în vecinătatea ξ – stratului, adică $f = f(\xi)$.

Integrând (3.5), vom găsi $\xi^*(t)$, iar apoi conform (3.4) și dependența finală $\varphi(t)$. În linii generale, anume așa se soluționează problema inițială.

Au fost examinate câteva cazuri particulare ale relației (3.1).

Particule neîncărcate.

În acest caz, fiindcă $q = 0 \Rightarrow \rho = 0 \Rightarrow \frac{dE}{dx} = 0 \Rightarrow E = const \Rightarrow f \equiv 0$ este imposibilă curățarea

electrică în câmp omogen la neutralitatea electrică a particulelor.

Particule încărcate.

Dacă $q \neq 0$, atunci ξ – stratul se va încărca opus semnelui electrozului, pe care sedimentează particulele. În spațiul dintre electrozi apare o structură formată din două straturi: faza solidă (la impuritățile solide) - I și lichidă - II cu densitatea de sarcini - ρ_1 și ρ_2 corespunzător.

Pe lângă sarcinile volumetrice, la granița de separare a fazelor, din cauza diferenței timpului de relaxare electrică a fazelor: $\tau_1 = \varepsilon_0 \varepsilon_1 / \sigma_1$, și $\tau_2 = \varepsilon_0 \varepsilon_2 / \sigma_2$ va apărea și sarcina superficială. În rezultat a fost obținută formula:

$$\varphi^* = \begin{cases} \frac{(1 - \nu^{-\lambda t})}{1 - \nu \cdot e^{-\lambda t}}, & 0 \leq t \leq t_0, \\ \frac{(1 - \nu^{-\lambda t_0})}{1 - \nu \cdot e^{-\lambda t_0}}, & t \geq t_0. \end{cases} \quad (3.6)$$

unde timpul t_0 , după cum s-a menționat este caracteristic pentru epurarea în regim dinamic.

Acesta poate fi evaluat în funcție de timp, după care concentrația (după formula (3.2) cade de *e ori*, sau experimental în funcție de timp până la $\varphi(t) = const$.

A fost efectuată comparația cu experimentul, fiind dedusă relația finală:

$$\varphi^* = \begin{cases} 0,815e^{-0,0501t/(1-0,1845e^{-0,0501t})}, & t \leq 20 \text{ min} \\ 0,32, & t \geq 20 \text{ min} \end{cases} \quad (3.7)$$

Având drept scop de a clarifica efectul cantitativ al influenței câmpului electric, precum și particularitățile mediului, dar și a altor caracteristici asupra procesului de curățare electrică, au fost determinate valorile numerice ale parametrilor λ și ν , cât și dependența lor de tensiunea aplicată (fig.3.2.).

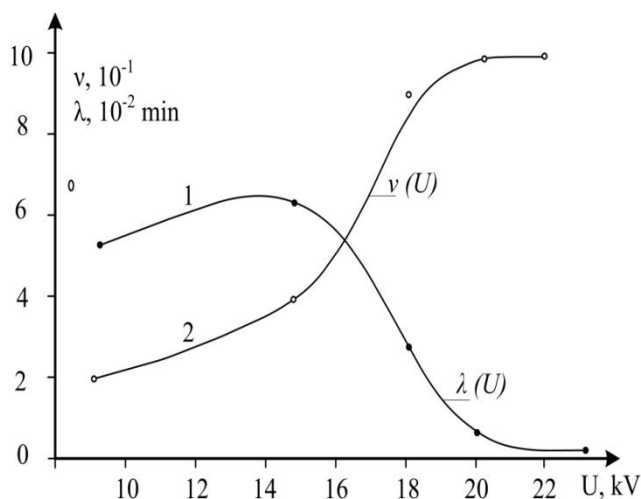


Fig. 3.2. Dependenta parametrilor λ și ν de tensiunea aplicată U

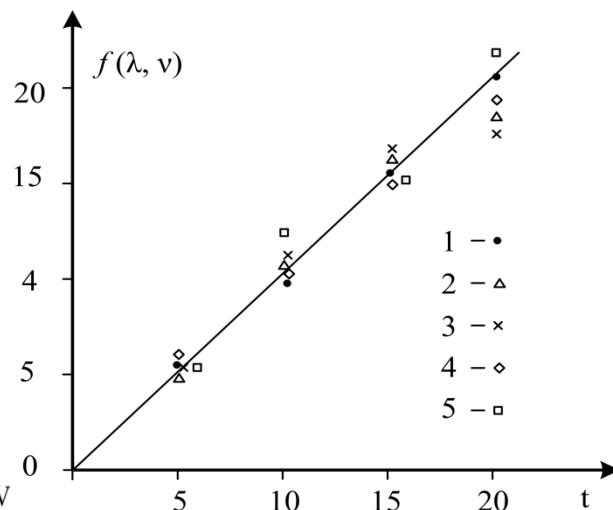


Fig. 3.3. Dependenta generalizată $f(\lambda, \nu) = t$

Datele experimentale au fost generalizate prin funcția: (3.8)

$$f(\lambda, \nu) = t,$$

unde

$$f(\lambda, \nu) \equiv \frac{1}{\lambda} \ln \frac{1 - \nu(1 - \varphi^*)}{\varphi^*}. \quad (3.9)$$

Dependenta generalizată $f(\lambda, \nu) = t$ în coordonatele graficului 3.3. reprezintă o dreaptă înclinată sub 45° față de axa t .

A fost obținută expresia pentru timpul critic t_c , adică timpul minim necesar pentru efectuarea procesului de epurare electrică

$$t > t_c \equiv \frac{1}{\lambda} \cdot \ln \frac{1 - \nu \cdot B}{1 - B}; B \equiv \frac{2 \cdot \varepsilon_1 \cdot (E_0 - E_c)}{|\rho_1| \cdot \xi_m} \equiv \frac{\xi_{mE}}{\xi_m}, \quad (3.10)$$

unde B – parametru, dependent de proprietățile mediului și câmpul electric. Dacă se consideră curățarea la 80 %, adică, $B = \xi_{mE} / \xi_m = 0,8$; ($\nu=0,2$; $\lambda=0,05 \text{ min}^{-1}$) ajungem la o evaluare numerică a duratei procesului de curățare de $t_c = 29$ minute, conform formulei (3.10), ceea ce corespunde datelor experimentale.

Considerațiile de mai sus cu privire la fenomenul de prag de curățare au avut un caracter „electrostatic”, nu s-a ținut cont de existența curenților prin filtrul electric, dar o atenție deosebită s-a acordat formării sarcinii. Această problemă a fost examinată din punct de vedere a legii Ohm, observând în prealabil, că dispariția efectului separației electrice, în principiu, poate fi explicată și fără considerarea nemijlocită a proceselor de formare a sarcinii. Anume, a fost stabilită expresia pentru determinarea intensității E_2 în regiunea descărcării coronă

$$E_2 = \frac{\mu \cdot U}{\xi + \mu \cdot l} = \frac{\mu}{\xi_* + \mu} \cdot \frac{U}{l}, \quad (3.11)$$

unde $\xi_* \equiv \xi/l$ prezintă grosimea relativă a stratului, $\bar{\sigma}_1/\bar{\sigma}_2 \equiv \mu$. Dacă pentru uleiul de floarea-soarelui vom estima $\bar{\sigma}_2 \sim 10^{-9} \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, iar pentru stratul de ceară $\bar{\sigma}_1 \sim 10^{-13} \Omega^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, atunci vom obține $\mu \sim 10^4$. Mai departe, $\xi \approx \xi_m \approx \varphi_0 \cdot l \approx 5 \cdot 10^{-3} \cdot l$. Conform relației (3.11) intensitatea E_2 în regiunea descărcării coronă, după aceste date, se atenuează de 50 de ori în comparație cu $(U/l) \approx E_0$, adică cu un ordin sau două. O astfel de diminuare a câmpului electric este suficientă pentru dispariția descărcării coronă, ceea ce este identic cu ecranarea câmpului exterior (pentru « ξ – strat»).

A fost demonstrat, că valoarea de prag a intensității câmpului electric la care începe procesul de curățare electrică, se explică prin faptul că aceasta posedă prag la descărcarea electrică ($E = E_c$). Deoarece orice proces de CE începe cu o intensitate mai mare decât valoarea critică $E_0 > E_c$, atunci pe măsura finisării acestui proces, din cauza motivelor indicate mai sus, are loc căderea intensității E_0 până la E_c , la menținerea tensiunii inițiale U . Trecerea $E_0 \rightarrow E_c$ se datorează fie ecranării câmpului E_0 din contul sarcinilor electrice « ξ – strat», fie că e identică cu mărirea bruscă a rezistenței electrice a acestui strat.

Au fost abordate probleme ce țin de separarea electrică a lichidelor dielectrice (tehnice) de impurități semiconductoare și conductoare de curent electric. În mod firesc, această cercetare a completat procesul anterior – particulele dielectrice. Cercetările experimentale referitor la procesul de curățare electrică a uleiului pentru transformatoare au fost efectuate cu două tipuri de impurități: de crom Cr_2O_3 – semiconductor, și de cărbune activat – C. Dimensiunile particulelor nu depășesc $\sim 10 \mu\text{m}$, iar concentrația inițială constituie $\varphi_0 = 0,05\%$.

Standul experimental și metoda de cercetare sunt aceleași, ca și pentru particulele de ceară în uleiul de floarea soarelui (capitolul precedent). Datele experimentale au fost prelucrate, ca și în cazul precedent, în coordonatele t și $\varphi^*(t) \equiv \varphi(t)/\varphi_0$.

Dependențele tipice experimentale pentru dispersii semiconductoare sunt prezentate în fig.3.4 și poartă un caracter analog cu amestecul "uleiul floarea-soarelui + ceară", ceea ce demonstrează mecanismul fizic, practic, comun al procesului de transfer de masă în ambele cazuri. Concentrația mică inițială ($\varphi_0 = 0,05\%$) în comparație cu cazul impurităților de rezistență mare ($\varphi_0 = 0,5\%$) este limitată de posibilitatea formării unui câmp electric suficient de puternic, necesar pentru menținerea efectului de curățare. Deși curbele pe această figură sunt determinate

în regim dinamic, le vom interpreta de pe pozițiile EHS, în prealabil observând că debitul, după cum și era de așteptat, are impact doar asupra valorii concentrației reziduale (pentru $t \rightarrow \infty$), adică la deplasarea curbelor pe verticală, lăsându-le similare (vezi figura 3.4). Curbele 1, 2 din figura 3.4. corespund debitului constat de lichide ($Q = 7 \text{ ml/min}$) la diverse tensiuni ale filtrului electric: $U = 6$ și respectiv 9 kV . Odată cu creșterea tensiunii U sporește curățarea profundă.

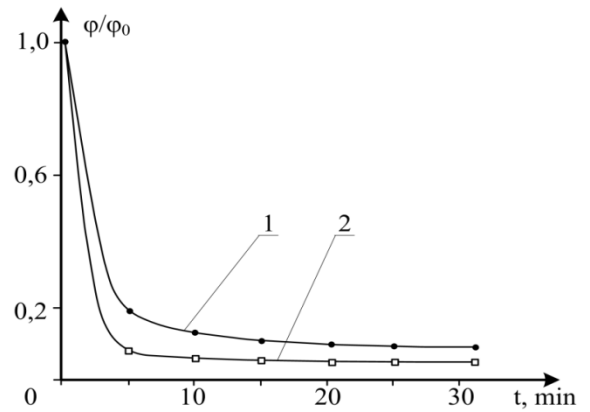
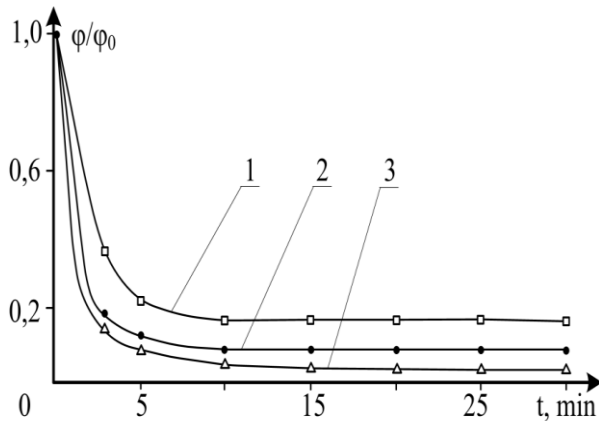


Fig. 3.4. Dependenta concentrației de impurități reziduale Cr_2O_3 în uleiul de transformator în funcție de timp $\varphi_0 = 0,05 \%$, $U, 10^3 \text{ V}$: 1-6; 2-9; 3-15; $Q, \text{ ml/min.}$: 1, 2 -7,0; 3 - 10,0.

Fig. 3.5. Dependenta concentrației de impurități reziduale de particule de cărbune în uleiul de transformator $\varphi_0 = 0,05 \%$, $U, 10^3 \text{ V}$: 1-5; 2- 7; $Q, \text{ ml/min.}$: 1 -10; 2-8.

Debitul de lichid în regim continuu acționează contrar tensiunii câmpului electric, adică cu cât e mai mare debitul, cu atât mai mari sunt concentrațiile de impurități la ieșirea din FE. Totuși, curba 3 cu toate că corespunde debitului maximum ($Q = 10,0 \text{ ml/min}$), s-a dovedit a fi inferioară în raport cu (1,2). Nu este contradicție, deoarece acestei curbe îi corespunde și tensiunea maximală ($U = 15 \text{ kV}$) și aceasta demonstrează faptul că se poate atinge o eficacitate înaltă ale filtrelor electrice chiar și la debite mai mari din contul creșterii compensatoare a tensiunii de funcționare a FE. Vizual s-a constatat că particulele nu formează strat pe suprafața capcanelor collectorului, ca particulele de ceară. În cazul particulelor semiconductoare ele formează un nor, ce ocupă tot spațiul collectorului. Se observă tendințe slabe de structurare în regiuni de variație bruscă a câmpului electric, la marginile electrozilor.

Dependențele tipice $\varphi^*(t) = \varphi(t) / \varphi_0$, pentru particulele conductoare (de carbon) sunt analoge celor anterioare și le vom examina de pe aceleași poziții EHS. Curbele respective sunt prezentate în figura 3.5. Spre deosebire de cazul dispersiilor semiconductoare (figura 3.4), avem o cădere inițială a concentrației cu timpul mai rapidă, și practic, în primele (5÷10) minute lichidul se curăță în proporție de (80 ÷ 90) la sută.

Celelalte deducții referitor la influența câmpului și debitului asupra procesului de curățare rămân în vigoare. Vizual, particulele conductoare ca și cele semiconductoare, nu se depun pe suprafețele capcanelor sub formă de strat, dar formează un nor dens, împrăștiat în spațiul colectorului, spre deosebire de particulele semiconductoare, mișcarea lor este mai intensivă și nu se observă tendința de structurare. A fost obținută repartiția staționară a concentrației dispersiilor în spațiu și anume:

$$\varphi(z) = \frac{\beta \cdot l \cdot \exp(-\beta \cdot z)}{1 - \exp(-\beta \cdot l)} \cdot \varphi_0, \quad (3.12)$$

care conține doar parametrii β , φ_0 și l , stabiliți pe cale experimentală.

În acest capitol a fost elaborat modelul teoretic de descriere a procesului de epurare a suspensiilor dielectrice de impurități solide sub formă de particule dielectrice (ceară) în baza ipotezei că particulele se depun pe pereții capcanelor electrice sub formă de strat încărcat eterogen în raport cu suprafețele menționate. Rezultatele teoretice sunt confirmate de datele experimentale.

Capitolul 4. Procesul de epurare în flux.

În procesul de sedimentare electrică a impurităților din mediul dispers, la pomparea prin celula de lucru ($ABCD$, figura 4.1), componentele longitudinale ale vitezei \bar{v}_0 sunt mici, constituind $\bar{v}_0 \leq (0,1-1,0)$ mm/s. De asemenea, sunt mici și vitezele de sedimentare a particulelor pe electrodul de captare (CD) sub influența câmpului electric exterior constant. De aceea mișcarea particulelor poartă un caracter laminar. Deoarece faza portantă este dielectrică, iar câmpurile electrice sunt puternice ($E \geq 2$ kV/cm), în fluid apar curgeri electroconvective neregulate, dar laminare. O asemenea mișcare favorizează procesul de depunere, deoarece intensifică frecvența contactului particulelor cu electrodul CD , ce joacă rolul și de capcane pentru amestecurile încărcate, din cauza apariției pe suprafața electrozilor a unor interacțiuni puternice cu imaginile electrostatice ale particulelor.

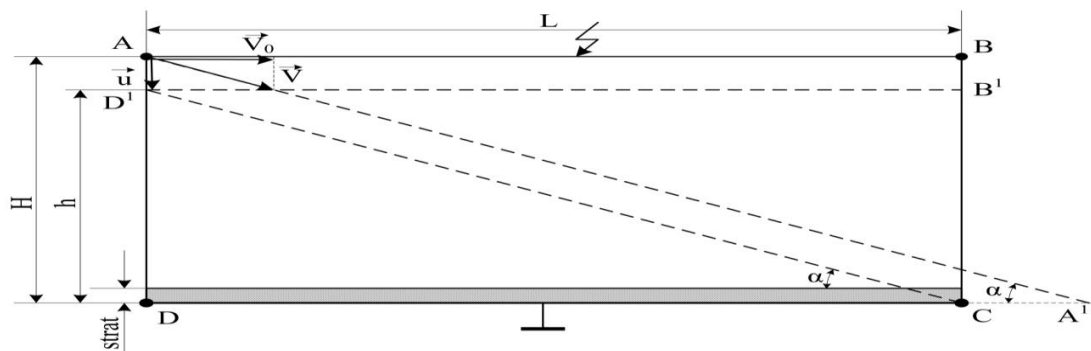


Fig. 4. 1. Schema de calcul a procesului de sedimentare electrică

A fost determinată expresia generală pentru concentrația relativă:

$$\varphi^*(t) = 1 - h^* + h^* \cdot \varphi_E = 1 - h^* \cdot (1 - \varphi_E); \quad h^* = h/H. \quad (4.1)$$

Pentru modelul dispersiilor dielectrice, s-a obținut expresia:

$$\varphi^*(t) = 1 - \frac{Lu}{H\nu_0} + \frac{Lu}{H\nu_0} \cdot \frac{1 - \frac{\rho_1 \varphi_0 Lu}{\varepsilon_0 \varepsilon_2 E_0 \nu_0}}{\exp\left[\frac{bqE_0 \nu_0}{Lu} \left(1 - \frac{\rho_1 \varphi_0 Lu}{\varepsilon_0 \varepsilon_2 E_0 \nu_0}\right)\right]} \cdot t - \frac{\rho_1 \varphi_0 Lu}{\varepsilon_0 \varepsilon_2 E_0 \nu_0} \quad (4.2)$$

unde pentru densitatea sarcinilor electrice ρ_1 se subînțelege valoarea absolută, m_1 - masa unei particule; γ_1 - densitatea masei stratului; γ_0 - densitatea masei materialului, ce constituie particulele (în modelul cel mai simplu al particulelor conductoare; încărcarea capacitativă).

Pentru a clarifica acțiunea câmpului electric asupra procesului de curățare, vom admite $u = kE_0 = u_E$. În acest caz, vom obține:

$$\varphi^*(t) = 1 - \frac{Lu}{H\nu_0} + \frac{Lu}{H\nu_0} \cdot \frac{1 - \frac{\rho_1 \varphi_0 Lu}{\varepsilon_0 \varepsilon_2 E_0 \nu_0}}{\exp\left[\frac{bqE_0 \nu_0}{Lu} \left(1 - \frac{\rho_1 \varphi_0 Lu}{\varepsilon_0 \varepsilon_2 E_0 \nu_0}\right)\right]} \cdot t - \frac{\rho_1 \varphi_0 Lu}{\varepsilon_0 \varepsilon_2 E_0 \nu_0} \quad (4.3)$$

Din această formulă observăm, că φ_∞^* diminuează odată cu creșterea intensității câmpului (termenul în paranteze rotunde după semnul "="), adică nivelul de curățare în regim staționar ($t \rightarrow \infty$) crește. Dar odată ce formula (4.3) conține E_0 peste tot în formă de fracție E_0/ν_0 , ne putem imagina că influența câmpului asupra calității procesului de curățare este opusă influenței pompării forțate. Forma tipică a dependenței experimentale $\varphi^*(t)$ la diverse consumuri Q și tensiuni U : concentrația și în acest caz depinde doar de raportul U/Q , prin urmare, ajungem la dependențe de tipurile celor prezente în figurile 4.2; 4.3.

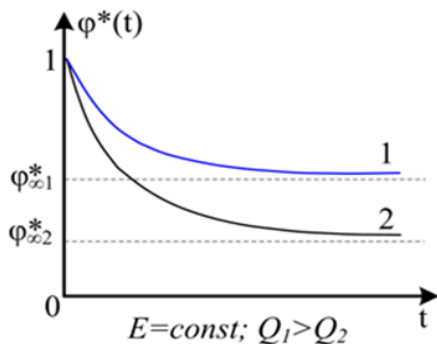


Fig. 4.2. Dependenta concentrației de impurități reziduale φ^* de timpul epurării t la o intensitate constantă a câmpului $E=const$ și la diferite debite de lichid: Q_1 - curba 1 și Q_2 - curba 2; $Q_1 > Q_2$

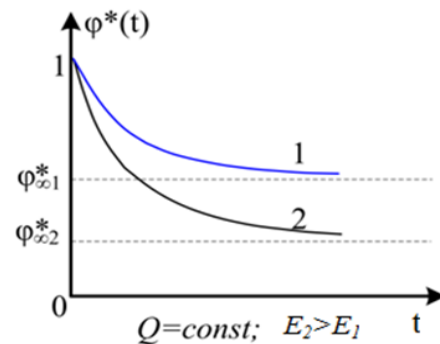


Fig. 4.3. Dependenta concentrației de impurități reziduale φ^* de timpul epurării t la debite constante $Q=const$ și diferite intensități ale câmpului: $E_2 > E_1$; E_1 - curba 1; E_2 - curba 2.

Cu scopul de a stabili influența debitului Q asupra epurării electrice, precum și a generaliza datele experimentale, s-au efectuat cercetări complexe ale procesului de epurare electrică a uleiului pentru transformatoare de particule disperse conductoare și semiconductoare în cazul mișcării forțate a mediului. Rezultatele sub aspectul dependenței $\varphi^*(t) \equiv \varphi(t)/\varphi_0$, sunt prezentate în figurile (4.4) – (4.8), două dintre care (4.4) și (4.8), deja au fost folosite în cap.3 la elaborarea bazelor teoretice ale procesului de EE a mediilor cu dispersii semiconductoare și conductoare. În acest context, s-a extins semnificativ cercul acestor cercetări după numărul de date experimentate pentru diferite tensiuni U și debite Q . Curbele 1, 2 în figura 4.4 corespund debitului constant ($Q = 7$ ml/min.) la diferite tensiuni aplicate filtrului electric ($U= 6; 9$ kV - respectiv). Curba 3 este obținută la debit considerabil ($Q = 10$ ml/min.), dar și tensiune înaltă ($U=15$ kV).

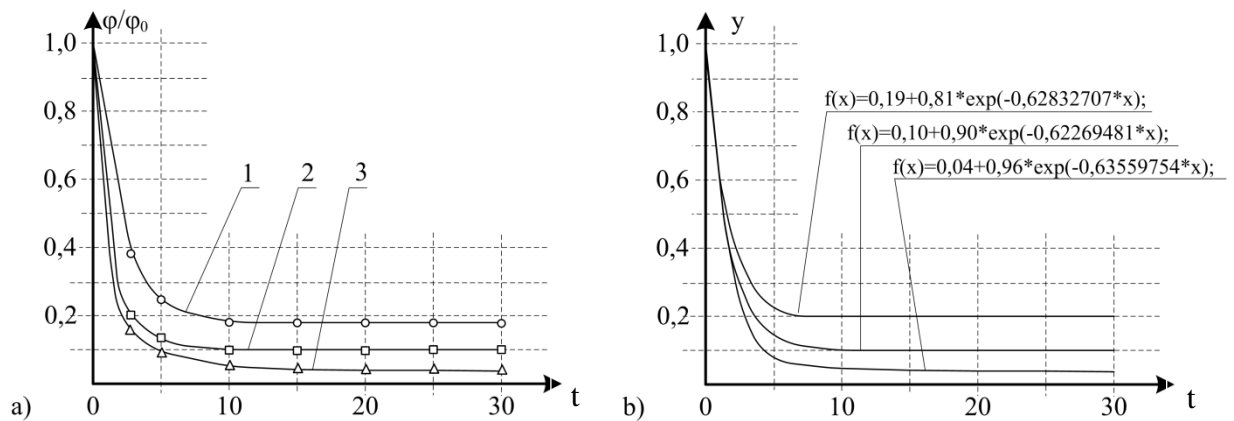


Fig. 4.4. Dependența concentrației impurităților de Cr_2O_3 în uleiul de transformator funcție de timp: $\varphi_0 = 0,05$ %; $U, 10^3$ V: 1-6; 2-9; 3-15; $Q, \text{ml/min}$: 1, 2 -7,0; 3 - 10,0 ; a) experiment; b) calcul prin $\varphi^*(t)$.

Observăm: creșterea concentrației reziduale din contul majorării debitului poate fi compensată în întregime cu majorarea tensiunii, ceea ce confirmă și concluzia generală privind caracterul opus al influenței tensiunii aplicate filtrului electric U și debitul Q . Curbele 1-3 în figura 4.5 au fost obținute la una și aceeași tensiune $U=9$ kV, dar la diferite debite $Q = (20; 10; 4)$ ml/min., prin urmare cu cât e mai mic debitul de lichid prin celula de lucru, cu atât e mai mare efectul de curățare, ceea ce rezultă și din formulele (4.2), (4.3). În figura 4.6 curbele 1, 2 sunt obținute la tensiunea $U = 12$ kV și consumul $Q= 11,3$ și $6,7$ ml/min.

Datele experimentale prezentate în figurile (4.4 – 4.6) se referă la suspensiile "ulei de transformator + Cr_2O_3 ", în care particulele de impurități sunt semiconductoare. La o analiză minuțioasă ale datelor se poate observa că la raporturi identice ale tensiunii la debit și gradul de curățare este aproximativ identic, fapt menționat și mai sus.

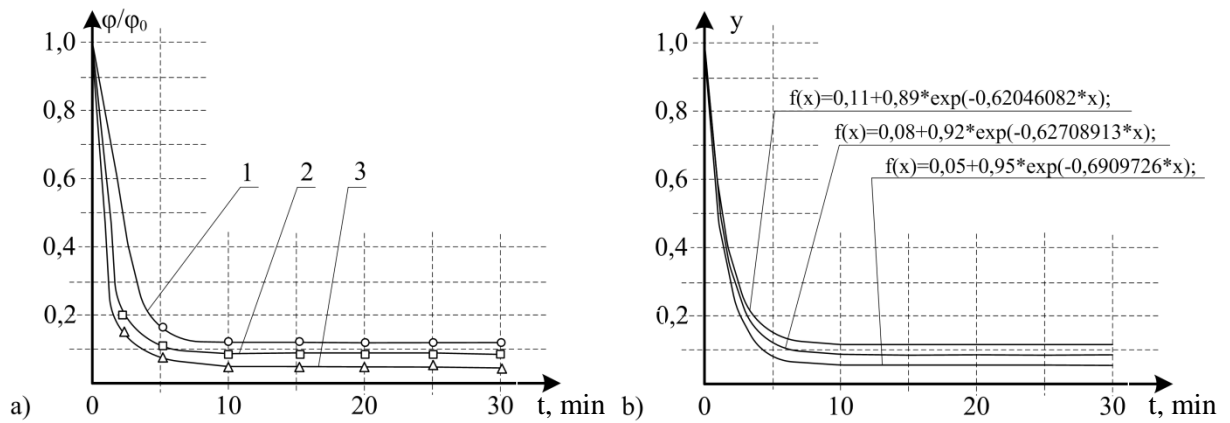


Fig. 4.5. Dependența concentrației impurităților reziduale de particule Cr_2O_3 în uleiul de transformator funcție de timp $\varphi_0 = 0,05 \%$, $U, 10^3 \text{ V}$: 1; 2; 3 -9; $Q, \text{ ml/min}$: 1 -20; 2-10; 3-4; a) experiment; b) calcul prin $\varphi^*(t)$

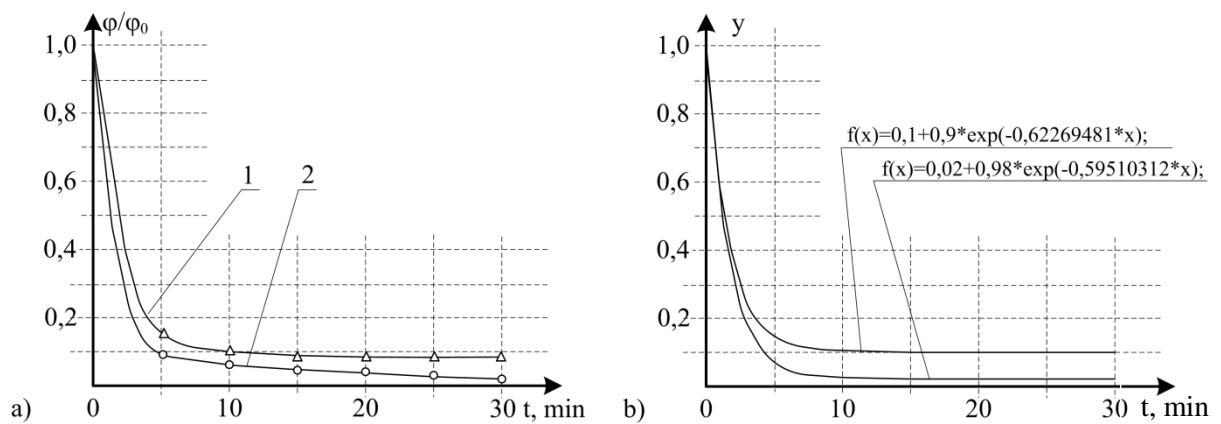


Fig. 4.6. Dependența concentrației impurităților reziduale de particule Cr_2O_3 în uleiul de transformator funcție de timp $\varphi_0 = 0,05 \%$, $U, 10^3 \text{ V}$: 1; 2- 12; $Q, \text{ ml/min}$: 1 - 11,3; 2-6,7; a) experiment; b) calcul prin $\varphi^*(t)$

Rezultatele referitoare la dispersiile conductoare, sunt prezentate în figurile (4.7. – 4.8), fiind similare celor precedente.

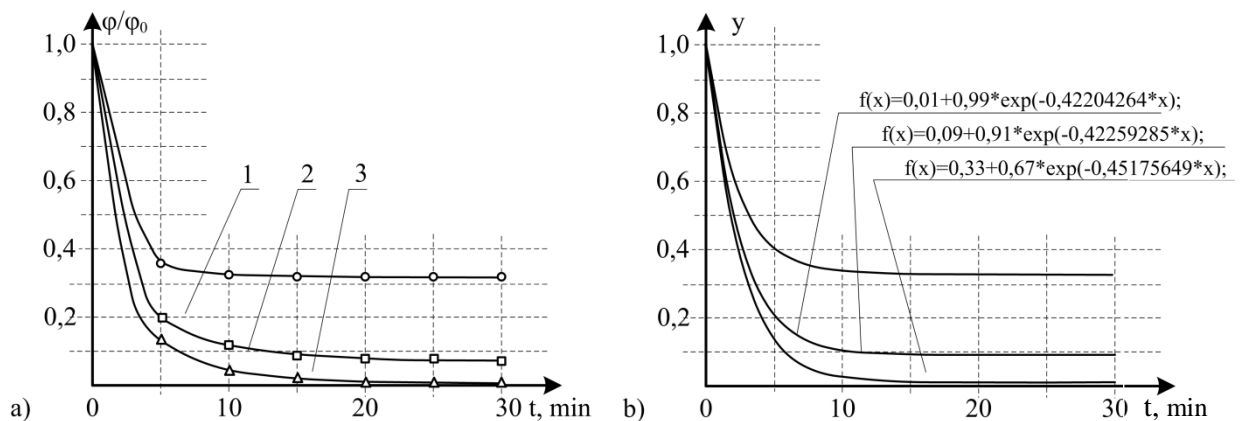


Fig. 4.7. Dependența concentrației impurităților reziduale de particule de cărbune în uleiul de transformator. $\varphi_0 = 0,05 \%$, $U, 10^3 \text{ V}$: 1; 2; 3 - 5; $Q, \text{ ml/min}$: 1 -19; 2 - 10; 3 - 3; a) experiment; b) calcul prin $\varphi^*(t)$

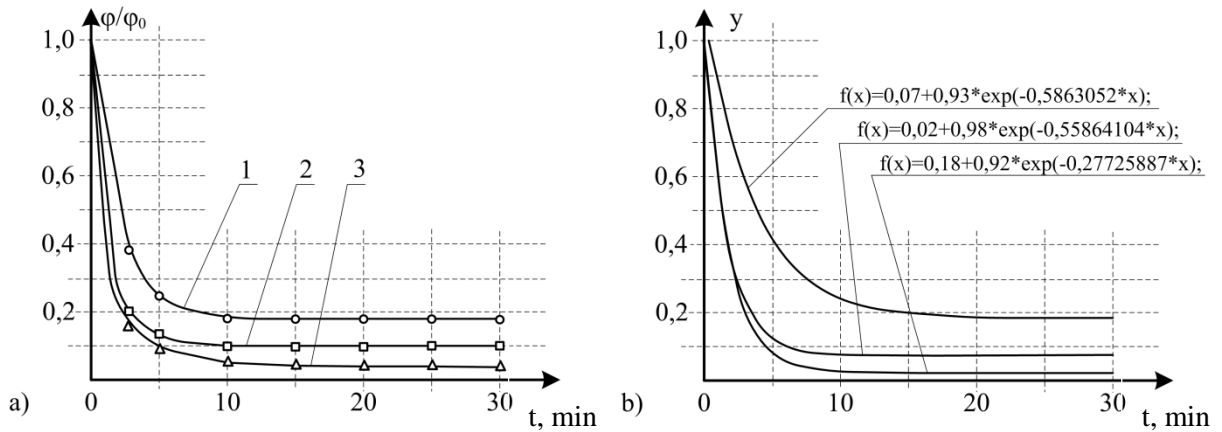


Fig. 4.8. Dependența concentrației impurității reziduale de particule de cărbune în uleiul de transformator. $\varphi_0 = 0,05 \%$, $U, 10^3 \text{ V}$: 1; 2; 3 - 7; $Q, \text{ ml/min}$: 1 -17; 2-8; 3-3; a) experiment; b) calcul prin $\varphi^*(t)$.

Particularitățile curbelor corespunzătoare – diapazonul tensiunilor admisibile este cu mult mai limitat, decât în cazul precedent ($U = 10 \text{ kV}$), ceea ce s-a stabilit anterior. În figura 4.7 curbele 1, 2, 3 sunt obținute la tensiunea $U = 5 \text{ kV}$ și corespunzător debitul $Q = (19; 10; 3) \text{ ml/min}$. La consumul minimal ($Q=3 \text{ ml/min.}$) are loc curățarea completă a lichidului după 20-30 de minute. Rezultate analoage sunt prezentate în figura 4.8 curbele 1-3, $U = 7 \text{ kV}$ și $Q = 17; 8; 3 \text{ ml/min}$. Legitățile calitative sunt aceleași, însă gradul de curățare e cu mult mai înalt.

A fost efectuată generalizarea datelor experimentale, obținând dependența adimensională:

$$\Delta\varphi_{\infty}^* \cong 24,262 \cdot \left(\frac{BLk_1U}{HQ} \right)^{0,113}, \quad (4.4)$$

De asemenea, a fost stabilită dependența generalizată $\Delta\varphi_{\infty}^*$ de raportul $\theta \equiv U / Q$ (figura 4.9).

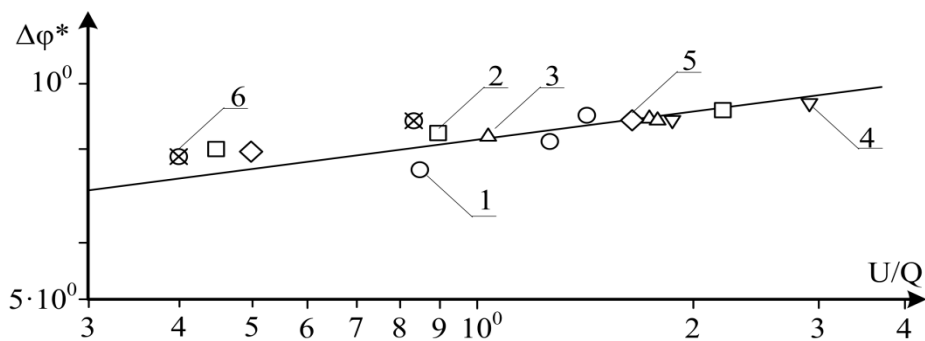


Fig. 4.9. Dependența generalizată $\Delta\varphi_{\infty}^*$ de raportul $\theta \equiv U / Q$.

În cadrul tezei a fost efectuată generalizarea rezultatelor experimentale în modelul netaționar pentru dispersii semiconductoare și conductoare fiind dedusă ecuația:

$$\bar{\varphi}^*(t) = \bar{\varphi}_{\infty}^* + (1 - \bar{\varphi}_{\infty}^*) \cdot \exp(-\lambda t), \quad (4.5)$$

În urma mai multor experimente numerice s-a ajuns la o interpolare liniară, conform ecuațiilor:

$$\beta \cdot F = 0,056 \cdot \theta + 0,842 \quad ; \text{(SC)}; \beta \cdot F = 0,106 \cdot \theta + 0,788 \quad ; \text{(C)}; \quad (4.6)$$

$$\lambda = 0,011 \cdot \theta + 0,611; \text{(SC)}; \lambda = 0,045 \cdot \theta + 0,419; \text{(C)}, \quad (4.7)$$

în paranteze este indicat tipul materialelor: semiconductoare (SC) sau conductoare (C).

La generalizarea datelor experimentale a fost utilizat programul de calcul "GRAF". În figurile 4.10 și 4.11 sunt prezentate graficele generalizărilor pentru dispersii semiconductoare și conductoare, ecuațiile cărora sunt determinate prin expresiile corespunzătoare:

$$Y(t) = \frac{1}{0,011 \cdot \theta + 0,611} \cdot \ln \frac{0,056 \cdot \theta + 0,842}{\bar{\varphi}^*(t) + 0,056 \cdot \theta - 0,158} = t \quad (4.8)$$

$$Y(t) = \frac{1}{0,045 \cdot \theta + 0,419} \cdot \ln \frac{0,106 \cdot \theta + 0,788}{\bar{\varphi}^*(t) + 106 \cdot \theta - 0,212} = t$$

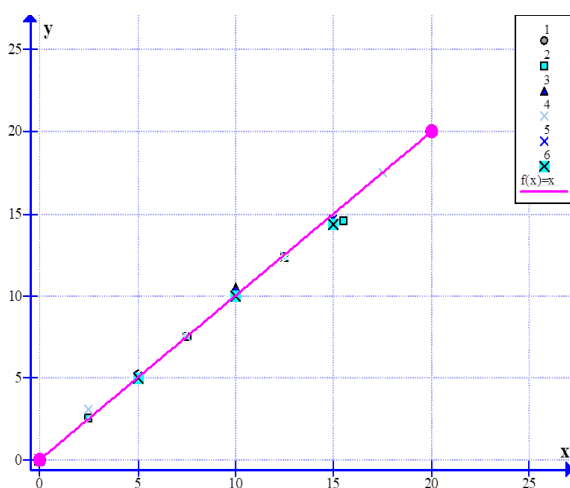


Fig. 4.10. Generalizarea datelor experimentale, dispersii semiconductoare

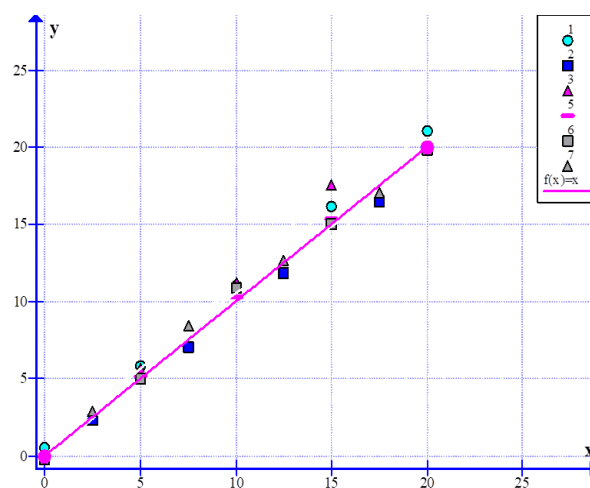


Fig. 4.11. Generalizarea datelor experimentale, dispersii conductoare

CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

1. A fost examinată influența tensiunii electrice asupra procesului de filtrare prin aplicarea efectului "coronă", ce formează un nou mecanism fizic, pur coulombian și s-a constatat - cu creșterea tensiunii sporește eficiența procesului, există o valoare optimă a tensiunii, cu efect maxim de epurare; pentru mediile eterogene cercetate sunt prestabiliți parametrii tehnologici a separării impurităților mecanice în câmp electric.

2. În baza rezultatelor obținute a fost propusă metoda de epurare în trepte, care permite curățarea mediului prelucrat cu exactitatea solicitată la ieșirea din filtrul electric.

3. A fost efectuată generalizarea adimensională a datelor experimentale în baza modelului cu un singur parametru, și precizată prin modelul cu doi parametri.

4. A fost elaborat modelul teoretic al procesului de epurare a suspensiilor dielectrice de impurități sub formă de particule dielectrice în baza ipotezei depunerii lor pe suprafețele „capcanelor” electrice sub formă de strat încărcat eterogen. Rezultatele sunt confirmate de cele experimentale.

5. Prin metode statistice au fost determinați parametrii (λ și μ) ai procesului de epurare electrică a dependenței concentrației impurităților ca funcție de timp; generalizate datele experimentale sub forma unei ecuației adimensionale, ceea ce permite efectuarea calculelor inginerești; prezentată interpretarea fizico-teoretică a rezultatelor, rezultatele experimentale fiind în concordanță cu cele teoretice.

6. S-a demonstrat că fenomenul ecranării câmpului electric de către stratul eterogen de impurități și (sau) rezistența electrică a stratului pot duce la dispariția totală a efectului de epurare.

7. Au fost obținute formulele de bază pentru concentrația remanentă în procesul de epurare electrică a uleiurilor tehnice de impurități disperse semiconductoare (Cr_2O_3) și conductoare de electricitate (cărbune activat).

8. Au fost generalizate datele experimentale referitor la concentrația finală staționară φ_∞^* în baza conceptului, conform căruia impuritățile dielectrice se încarcă electric.

9. În baza teoriei elaborate cu privire la epurarea electrică în modelul nestaționar al particulelor semiconductoare sau conductoare s-au obținut graficele și ecuațiile respective ale curbelor teoretice.

10. Au fost generalizate sub formă grafică și analitică datele experimentale referitor la particulele disperse semiconductoare și conductoare, elaborat modelul matematic de calcul al separatoarelor electrice de tipul ”coronă”, ce permite aplicativitatea în plan ingineresc.

Recomandări privind cercetările de perspectivă:

1. Stabilirea dependenței curentului electric de concentrația remanentă în procesul de separare a uleiurilor tehnice și vegetale de impurități mecanice în câmp electric.

2. Generalizarea dependenței nestaționare $\Delta\varphi^*(t)$.

3. Implementarea soluțiilor obținute în proiectarea filtrelor electrice.

ABREVIERI ȘI NOTAȚII

EHD	electrohidrodinamica
EHS	electrohidrostatic
FE	filtre electrice
EE	epurare electrică
η	coeficientul de viscozitate dinamică, kg/(m·s)
γ	densitatea volumică a mediului, kg/m ³
F	forța coulombiană
α	parametru caracteristic al filtrului electric
β	parametru caracteristic al filtrului electric
U	tensiunea electrică, V
T	temperatura absolută, K
λ	conductibilitatea termică, W/(m·K)
ρ	densitatea volumică a sarcinilor electrice C/m ³
κ	coeficientul de mobilitate, m ² /V·s
σ	conductivitatea electrică specifică, $\Omega^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$
E	intensitatea câmpului electric, V/m
q	sarcina electrică a particulei, C
u	viteza de migrare a particulelor, m/s
f	forța ce acționează asupra particulei, N
p	momentul dipolar al moleculei, C·m
ξ	grosimea stratului, m
φ_0	concentrația inițială, %
φ_∞	concentrația remanentă la infinit, %
Q	debitul de lichid, m ³ /s
ρ_1	densitatea sarcinii în interiorul stratului de particule, C/m ³
a	raza particulelor, m
i	densitatea fluxului de mase, kg/(m ² ·s)
τ	timpul de relaxare, s
r	raza particulei, m

Publicații:

1. Болога М.К., Кожухарь И.А., Гросу Ф.П., **Лей В.И.** Релаксационные процессы в электрофильтрах. В книге: Современные проблемы электрофизики и электрогидродинамики жидкостей, Доклады Международной научной конференции, 26 июня - 30 июня 2000, Санкт-Петербург. 2000. с.210-213.
2. Болога М.К., Кожухарь И.А., Гросу Ф.П., **Лей В.И.** Исследование процесса очистки диэлектрических жидкостей от механической примеси в электрическом поле //Электронная обработка материалов 2001 №5 с. 34-39.
3. Гросу Ф.П., Болога М.К., Кожухарь И.А., **Лей В.И.** К теории очистки диэлектрических жидкостей от механической примеси в постоянном электрическом поле //Электронная обработка материалов 2001 №6 с. 35-40.
4. **Vasile Leu.** Epurarea lichidului de floarea soarelui în câmp electric. În cartea: Probleme actuale în domeniul îmbunătățirilor funciare, cadastrului și organizării teritoriului, 27 octombrie 2001, Chișinău, UASM. 2001 p.107-111.
5. Bologa M., **Leu V.**, Cojuhari I., Grosu T., Policarpov A. Procedeu și dispozitive de epurare a lichidelor dielectrice de impurități mecanice în câmp electric. Catalog oficial. Expoziția Internațională Specializată Infoinvent – 2001, 3-7 octombrie Chișinău, 2001, p.36.
6. **Лей В.И.** Электроочистка трансформаторного масла от механической примеси в постоянном электрическом поле //Электронная обработка материалов 2002 №5 с. 55-59.
7. Гросу Ф.П., Болога М.К., Кожухарь И.А., **Лей В.И.** Электроосаждение механической примеси из диэлектрической жидкости при вынужденном движении в постоянном электрическом поле //Электронная обработка материалов 2002 №6 с. 33-38.
8. Гросу Ф.П., Болога М.К., Кожухарь И.А., **Лей В.И.** Обобщение экспериментальных данных по очистке диэлектрических жидкостей в постоянном электрическом поле //Электронная обработка материалов 2003 №2 с. 53-58.
9. Гросу Ф.П., Болога М.К., Кожухарь И.А., **Лей В.И.** Теоретические аспекты процесса нестационарной электроочистки диэлектрических жидкостей во внешнем постоянном электрическом поле //Электронная обработка материалов 2003 №3 с. 37-42.
10. Bologa M., Cojuhari I., **Leu V.** Electrofiltre pentru fluide dielectrice. Catalog oficial. Expoziția Internațională Specializată Infoinvent – 2003, 5-8 noiembrie Chișinău, 2003, p.34-35.
11. Bologa Mircea, **Leu Vasile.** Brevet de invenție nr.2139(13) B1. Electrofiltru pentru lichide. BOPI nr.4/2003, p.20-21.
12. Bologa Mircea, **Leu Vasile**, Cojuhari Ivan, Grosu Tudor, Policarpov Albert. Brevet de invenție nr.2071(13) C2. Electrofiltru pentru lichide. BOPI nr.1/2003.
13. Bologa Mircea, Cojuhari Ivan, Grosu Tudor, Leu Vasile, Policarpov Albert. Brevet de invenție nr.3189(13) C2. Electrofiltru pentru lichide. BOPI 11/2006.
14. Bologa M. K., Grosu F. P., **Leu V. I.** Separation of dielectric Liquids from mechanical impurities in a direct Field//Proceedings of the 2nd European Conference on Filtration and Separation, p.423-431, Compiègne, France, October, 2006.

15. Bologa M., Grosu T., Kozhukhar I., **Leu V.** Dielectric liquids Purification from Mechanical Impurity in an Electric Field. The 30th Internationally Attended scientific Conference of the military technical Academy. Modern Technologies in the 21st centari. Section 15, p.187-190, Bucharest, 6-7 november 2003.

16. Гросу Ф.П., Болога М.К., Кожухарь И.А., **Лей В.И.** Физические особенности очистки диэлектрических жидкостей в электрическом поле. В книге: Современные проблемы электрофизики и электрогидродинамики жидкостей, Сб. докладов, VI Международной научной конференции, 25-29 июня 2003, Санкт-Петербург, с.82-86.

17. Болога М.К., Гросу Ф.П., Кожухарь И.А., **Лей В.И.** Процессы очистки диэлектрических жидкостей от механической примеси в электрическом поле. В книге: Современные проблемы электрофизики и электрогидродинамики жидкостей, Сб. докладов, VI Международной научной конференции, 25-29 июня 2003, Санкт-Петербург, с.25-28.

18. Гросу Ф.П., Болога М.К., **Лей В.И.**, Ал.М. Болога. Некоторые особенности электрической сепарации. //Электронная обработка материалов 2012 №1 с. 50-57.

19. Гросу Ф.П., Болога М.К., **Лей В.И.**, Ал.М. Болога. К вопросу электрической очистки жидких диэлектриков от примесных частиц диэлектрической жидкости. //Электронная обработка материалов 2012 №2 с.72-78.

20. Гросу Ф.П., Болога М.К., **Лей В.И.**, Болога Ал. М. Нестационарный массоперенос при электросепарации. //Электронная обработка материалов 2012 №3 с.73-82.

21. Гросу Ф. П., Болога М. К., **Лей В. И.**, Болога Ал. М. Электрическая фильтрация диэлектрических жидкостей от полупроводящих и проводящих частиц. //Электронная обработка материалов 2012 №4 с.33-43.

22. Гросу Ф.П., Болога М.К., **Лей В.И.**, Болога Ал. М. Сепарация диэлектрических сред в электрических сред. В книге: Современные проблемы электрофизики и электрогидродинамики жидкостей, Сб. докладов, Международной научной конференции, 25-28 июня 2012, Санкт-Петербург, с.50-52.

23. **Vasile Leu.** The dependence of the efficiency of electrical purification on the voltage at the electrofilter. 6th International Conference Materials Science and Condensed Matter Physics, Institute of Applied Physics, academy of Sciences of Moldova, Chisinau, september 11-14, 2012, p.303.

24. **Vasile Leu.** Aspecte ale epurării electrice a dispersiilor semiconductoare și conductoare. Simpozion științifico-practic internațional. Universitatea Agrară de Stat din Moldova, 12-13 noiembrie 2015, lucrări științifice volumul 45, pag. 367-372.

25. **В.И. Лей.** О сущности электрогидродинамической очистки жидкостей. The 9th International Conference "Microelectronic and Computer Science" & the 6th Conference of Physicists of Moldova, October 19-21, 2017, p. 499.

ADNOTARE

Autor – LEU Vasile. **Titlul** – *Separarea uleiurilor tehnice și vegetale de impurități mecanice în câmp electric*. Teză de doctor în vederea conferirii titlului științific de doctor în tehnică la specialitatea 221.01 – *sisteme și tehnologii energetice*.

Structura lucrării: Lucrarea conține introducere, patru capitole, concluzii și recomandări, bibliografie cu 154 referințe, include 15 tabele și 42 figuri. Rezultatele sunt publicate în 25 lucrări științifice.

Cuvinte-cheie: lichid dielectric, mediu eterogen, fază închisă, fază dispersă, câmp electric, separare de faze, filtrare electrică, curent electric, concentrația fazei disperse, transfer de masă, potențial, perforație.

Domeniul de studiu: procese de transfer de masă și căldură.

Scopul tezei constă în elaborarea modelului teoretic adecvat privind calculul ingineresc al filtrelor pentru lichide dielectrice, confirmarea modelului teoretic prin cercetări experimentale și implementarea în practică a rezultatelor obținute prin brevetarea filtrelor electrice, confecționate cu participarea autorului.

Obiectivele studiului: formularea problemei și obiectivelor principale de cercetare; elaborarea și cercetarea unor mostre experimentale de filtre electrice; selectarea celui mai eficient și mai optimal filtru; generalizarea datelor experimentale; crearea modelului matematic de calcul ingineresc al filtrelor electrice; concluzii generale și recomandări.

Noutatea și originalitatea din punct de vedere științific: metoda aplicației *câmpului electric*; utilizarea „electrodului - emiter” sub formă de „electrod - fir” ca diametru relativ mare, cu izolația din email *perforată*, ceea ce formează un nou mecanism fizic, pur coulombian, în baza descărcării electrice „*coronă*”, cauzată de *perforații*; colectorul și electrozii de captare ce au menirea de a acumula faza dispersă sunt confecționate sub formă de labirinturi din plăci metalice cu potențiale *flotante*; teoria de separare, care ține cont de efectul de ecranare a câmpului electric exterior, cauzat de stratul de particule disperse cu grosimea în *creștere* (problemă gen *Stefan*), ce se depun pe suprafața colectorului, particulele fiind considerate ideal dielectrice; totodată, s-a ținut cont și de rezistența electrică a stratului menționat; în cazul particulelor semiconductoare (Cr_2O_3) sau conductoare (carbon), s-au introdus noțiuni noi – fenomen de *difuzie electrică* și de *coeficient* de difuzie electrică, elaborându-se teoria respectivă; sub aspect teoretic a fost determinată *concentrația particulelor la ieșirea* din separatorul electric, în funcție de timp, demonstrându-se că este de relaxare; au fost generalizate datele experimentale sub formă de ecuații adimensionale de similitudine, rezultatele teoretice fiind confirmate experimental.

Problema științifică importantă soluționată: interacțiunile electrohidrodinamice în medii eterogene de tip suspensii cu faza portantă lichidă dielectrică și aspectele aplicative, ce sunt cercetate și soluționate în cadrul modelului fizic de interacțiuni electrohidrodinamice, condiționate de descărcarea electrică de tip „*coronă*”, grație faptului că procesele se desfășoară în câmp electric puternic-neomogen pentru care și sunt caracteristice descărcările electrice menționate.

Semnificația teoretică: semnificația teoretică a lucrării constă în elaborarea unei noi teorii privind procesul de separare în câmpul electric exterior, la baza căreia este conceptul mecanismului descărcării electrice de tip „*coronă*”; a fost stabilită ecuația de bază pentru concentrația fazei disperse la *ieșirea* din separator în funcție de timp; a fost cercetat efectul de stagnare „aparentă” a procesului de separare electrică în timp, elaborându-se două ipoteze: prima - de ecranare a câmpului exterior de către sarcina electrică a stratului de dispersii, depuse în colectorul de impurități și a doua – de creștere a rezistenței electrice a acestui strat; deși ambele ipoteze nu contravin datelor experimentale, ulterior s-a demonstrat că efectul de stagnare a procesului de separare, în anumite cazuri, poate fi explicat și prin proprietățile asimptotice ale funcției de tip exponențial;

Valoarea aplicativă a lucrării - au fost efectuate cercetări experimentale ale procesului de separare electrică, pe baza cărora s-a elaborat modelul matematic de calcul ingineresc al separatoarelor electrice de tipul „*coronă*”; au fost generalizate datele experimentale prin ecuații adimensionale pentru toate cazurile de particule disperse: dielectrice, semiconductoare și conductoare de curent electric; rezultatele obținute pot fi utilizate atât în calculul de proiectare, cât și la confecționarea separatoarelor electrice.

АННОТАЦИЯ

Автор - Леу Василе. Название – Очистка технических и растительных масел от механических примесей в электрическом поле. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, специальность 221.01 – энергетические системы и технологии.

Структура работы: состоит из введения, четырех глав, выводов и рекомендаций, библиографии 154 наименований, 42 рисунка и 15 таблиц. Результаты исследований опубликованы в 25 научных работах.

Ключевые слова: диэлектрическая жидкость, гетерогенная среда, закрытая фаза, дисперсная фаза, сепарация фаз, электрическая очистка, электрическое поле, концентрация дисперсных фаз, массообмен, потенциал, перфорация.

Область исследования: процессы масса - и теплообмена; электротехнологии.

Цели диссертации: разработка теоретической модели инженерного расчета электрофильтров для очистки диэлектрических жидкостей; подтверждение теоретической модели экспериментальными исследованиями; внедрение результатов исследований, получение патентов на исследуемые электрофильтры, созданные с участием автора.

Задачи диссертации: формулировка и постановка задач; разработка, создание и исследование опытных образцов электрофильтров; выбор оптимальной конструкции электрофильтра; обобщение экспериментальных данных; инженерный расчет электрофильтров; выводы и практические рекомендации.

Научная новизна работы: применение *электрического поля* в целях очистки; использование «электрода-эмиттера» в виде «провода» с перфорированной эмалевой изоляцией, что привело к новому физическому механизму электрической очистки, на базе коронного разряда; изготовление коллектора и ловителей примесей в виде лабиринтов из металлических пластинок с плавающими потенциалами; теория очистки, учитывающая эффект экранирования внешнего электрического поля противоположным полем заряда слоя дисперсных частиц; теоретическое определение *концентрации* в очищаемой жидкости *на выходе* из электросепаратора как функция от времени, показав, что она является релаксационной; обобщение экспериментальных данных в виде уравнений подобия; подтверждение теоретических результатов экспериментально.

Решенная научная проблема: математически сформулированы задачи электрогидродинамических взаимодействий внешних электрических полей с гетерогенными средами типа суспензий с несущей фазой жидкого диэлектрика; получены наиболее важные частные решения применительно к прикладным аспектам электрической очистки; найдено и исследовано физическое решение электрогидродинамических взаимодействий, обусловленных электрическим разрядом типа «короны», благодаря специально изготовленному активному электроду в виде провода с перфорированной изоляцией, что приводит к развитию процессов в сильно неоднородном электрическом поле, для которого и характерны упомянутые электрические разряды.

Теоретическая значимость: разработана новая теория процесса очистки во внешнем электрическом поле, в основу которой заложена концепция коронного разряда; составлено и решено уравнение для концентрации дисперсной фазы на выходе из сепаратора в зависимости от времени; исследован эффект «кажущего» исчезновения эффекта электрической сепарации от времени, выдвинув для этой цели две гипотезы: экранирование внешнего поля электрическим зарядом дисперсного слоя заряженных примесей, осаждаемых в коллекторе, и увеличение электрического сопротивления слоя; несмотря на то, что обе гипотезы не противоречат экспериментальным данным, было показано, что эффект исчезновения очистки в определенных случаях может быть объяснен и свойствами функции экспоненциального типа.

Прикладное значение работы состоит в том, что выполнены экспериментальные исследования процесса электрической очистки и разработана модель инженерного расчета электрических электрофильтров, «типа короны»; обобщены экспериментальные данные в безразмерных уравнениях подобия для диэлектрических, полупроводниковых и проводниковых дисперсных сред; полученные результаты могут использоваться в расчетах при проектировании и изготовлении электрофильтров для различных практических целей.

ANNOTATION

Author - LEU Vasile. Title - «**The separation of technical oils plant mechanical impurities in the electric field**», PhD thesis in Technical Science.

Thesis structure: The papers comprises an introduction, four chapters, conclusions, recommendations and future research directions, 154 bibliography sources, 15 tables and 42 figures. The results are published in 25 scientific works.

Keywords: dielectric liquid, heterogeneous environment, closed phase, dispersed phase, electric field, separation of phases, electrical filtration, electric current, the dispersed phase concentration, mass transfer, potential, perforation.

The field of study: transfer processes of mass and of heat. **Purpose of work:** elaboration of adequate theoretical model for engineering calculation of the filters for the dielectric liquids; confirmation of the theoretical model through experimental researches; practical implementation of the achieved experimental results by patenting of experimental samples - which were obtained with the participation of author.

Objectives of the paper: formulation of the problem and of the main research questions; elaboration of experimental samples of electrical filters and their research; selecting of the most effective and optimal filter; generalization of the experimental data; creation of mathematical model for the engineering calculation of the electrical filters; general conclusions and recommendations.

Scientific novelty and originality: method application of *electric field*; use of "emitter electrode" as "thread electrode" with relatively large diameter, but with *perforated* enameled insulation, who lead to a new physical mechanism, purely Coulomb, what is based on electrical discharge type "*coronă*", caused by perforations; collector and traps are designed to accumulate the dispersed phase - are made in the form of mazes from metal plates with *floating* potentials; separation theory, which takes into account the shielding effect of external electric field by layer with thickness in growing (like Stefan problem) of dispersed particles, which are deposited on the collector surface, the particles is being considered ideal dielectrical; also has took into account the electrical resistance of the mentioned layer; in the case of semiconductor particles (Cr_2O_3) or conductors (carbon) are introduced new concepts - phenomenon of *electrical diffusion* and of *coefficient* of electrical diffusion, was elaborated the respective theory; at the level of theoretical aspect - was determined concentration at the output from the electrical separator, as function of time, was demonstrated that this function is of relational type; experimental data were generalized the form of equations dimensionless of similarity; theoretical results are confirmed by the experimental results.

The important scientific problem which is solved: electro-hydrodynamic interactions in heterogeneous environments of suspension type, with dielectrical liquid load phase and their applied aspects, which is researched and resolved under physical appearance of electro hydrodynamic interactions, conditioned by electric discharge type "*coronă*", because the processes happening in electric strongly inhomogeneous fields, for which are characteristic mentioned electrical discharges.

Theoretical significance and practical value: theoretical significance of the paper consists in developing a new theory of the separation process in external electrical field, on basis of which is placed the mechanism concept of the electrical discharge type "*coronă*"; it was established basic equation for the dispersed phase concentration at the *exit* of the separator like function of time; was researched the effect of the "apparent" disappearance of electrical separation process in time, were developed two hypotheses: of shielding of external field by the electrical load of stratum of dispersions, filed in collector for impurities, and second hypothesis - of increasing the electrical resistance of this layer; although both hypotheses do not contradict experimental data, later been shown that the effect of extinction of separation process, in some cases, can be explained and through asymptotic properties of the exponential function.

The practical value of the work. The value of the research work consist in that were performed the experimental researches of the electrical separation process and was drafted the mathematical model for engineering calculation for separators, the type of which we will call «*coronă*»; experimental data were generalized by dimensionless equations – for all three cases of dispersed particles: dielectrics, semiconductors and conductors of electric current; results obtained can be directly used for goals of calculation and manufacturing of electrical separators.

LEU VASILE

**SEPARAREA ULEIURILOR TEHNICE ȘI VEGETALE
DE IMPURITĂȚI MECANICE ÎN CÂMP ELECTRIC**

221.01 – SISTEME ȘI TEHNOLOGII ENERGETICE

Autoreferatul tezei de doctor în tehnică

Aprobat spre tipar: 23.07.18

Hârtie ofset. Tipar ofset.

Coli de tipar: 1,75

Formatul hârtiei 60x84 1/16

Tiraj 70 ex.

Comanda nr. /18.

Centrul Editorial - Poligrafic al USM

Str. Al. Mateevici, 60, Chișinău, MD, 2009