



MINISTERUL EDUCAȚIEI
UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI

B-dul. București nr. 39, 100680, Ploiești, România, www.upg-ploiesti.ro

Telefon +40 244 573 171

Fax +40 244 575 847



INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE
DOCTORAT

UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL DE DOCTORAT – MINE, PETROL ȘI GAZE

REZUMAT
TEZĂ DE DOCTORAT
CONTRIBUȚII LA ÎMBUNĂȚĂȚIREA
TRANSPORTULUI BIFAZIC PRIN
CONDUCTE

CONTRIBUTIONS TO THE
IMPROVEMENT OF TWO-PHASE
TRANSPORT THROUGH PIPELINES

Autor: Drd.Ing. Begench Silapov

Conducător științific: Prof. Dr.Ing. Nistor Iulian

Ploiești 2024



MINISTERUL EDUCAȚIEI
UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
B-dul. București nr. 39, 100680, Ploiești, România, www.upg-ploiesti.ro
Telefon +40 244 573 171 Fax +40 244 575 847



INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE
DOCTORAT

UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL DE DOCTORAT – MINE, PETROL ȘI GAZE

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

***CONTRIBUȚII LA ÎMBUNĂȚĂȚIREA TRANSPORTULUI
BIFAZIC PRIN CONDUCTE***

***CONTRIBUTIONS TO THE IMPROVEMENT OF
TWO-PHASE TRANSPORT THROUGH PIPELINES***

Autor: Drd.Ing. Begench Silapov

Conducător științific: Prof. Dr.Ing. Nistor Iulian

Nr. Decizie 384 din 18.04.2024

Comisia de doctorat:

Președinte	Conf.univ.dr.ing. Cristian Eparu	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
Conducător științific	Prof. Univ. Dr.Ing. Nistor Iulian	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
Referent oficial	Prof.univ.dr.ing. Valentin Dan Petrescu	de la	Universitatea Lucian Blaga din Sibiu
Referent oficial	Prof.univ.dr.ing. Ioel Samuel Vereș	de la	Universitatea Tehnică Cluj-Napoca
Referent oficial	Prof. Univ. Habil.Dr.Ing. Chiș Timur-Vasile	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești

Ploiești 2024



ABSTRACT

Industria petrolieră este aceea ramură a economiei mondiale care are rolul de a asigura resurse energetice pentru omenire și tranziție către o energie produsă din resurse regenerabile.

Tocmai de aceea studiul transferului de masă (a transportului fluidelor petroliere prin conducte) reprezintă una din activitățile de bază în cercetarea științifică, rolul acestei discipline fiind de a oferi un suport teoretic în vederea înțelegerii fenomenelor care guvernează aceste procese tehnologice.

Una din aplicațiile industriale ale transportului fluidelor petroliere este reprezentată de mișcarea fluidelor multifazice (lichid-solid, lichid-gaz, țiței-apă) prin conducte și mai ales a fenomenelor de separare a acestor faze.

Din cauza reducerii rezervelor de petrol și gaze exploatare în România și mai ales a reducerii cercetării privind identificarea și descoperirea de noi resurse de petrol și gaze naturale asociate, extracția acestor fluide petroliere se confruntă cu prezența, în compoziție, a cantităților mari de nisipuri, săruri și/sau parafine (prezente ca fază solidă).

De asemenea se identifică tot mai mult în soluția petrolieră, prezența de parafine (cerezine) dizolvate, precum și emulsii apă-țiței sau țiței-apă, ceea ce face ca activitatea de separare, îndepărtare și curățare a fluidelor petroliere de elementele constitutive asociate, să fie o activitate industrială din ce în ce mai necesară pentru continuarea extracției și prelucrării fluidelor petroliere.

Prezenta teză de doctorat are rolul de a analiza modelarea numerică a procesului de separare a fluidelor petroliere, a comportării emulsiilor în procesul de curgere și mai ales simularea proceselor de transport solid-lichid prin sistemele de conducte magistrale.

În capitolul I am prezentat cele mai cunoscute metode de calcul și anume metoda Lockhart-Martinelli și metoda Brill-Beggs.

Curgerea multifazică am definit-o ca fiind fluxul simultan al mai multor faze, sau curgerea printr-o suprafață definită a unui debit format din cele două (trei) faze (lichid, solid, gaz) aflate în interacțiune sau mișcându-se (alunecând) independent una pe lângă alta.

Studiul fluxului multifazic este foarte important în industria energetică și mai ales în industria extractivă de petrol și gaze.





Transportul amestecurilor bifazice gaz-lichid prin conducte orizontale, verticale sau înclinate se întâlnește în industria extractivă a țițeiului, în procesele industriale din reactoarele chimice, în curgerea fluidelor prin schimbătoare de căldură și chiar și în procesele de răcire/condensare.

Curgerea bifazică (gaz-lichid, lichid-solid, gaz-solid) determină în timpul procesului o creștere apreciabilă a căderii de presiune.

În literatura de specialitate sunt mai multe metode de calcul pentru gradientii de presiune ($\Delta p/l$) precum și a celorlalte elemente caracteristice mișcării.

De asemenea am descris și o metoda propusă de doctorand în cadrul acestei teze de doctorat.

În continuare am analizat regimurile de curgere bifazice (lichid-gaz) descriind comportarea acestui amestec bifazic astfel:

- Atunci când avem rații foarte mici de gaz dispersate în faza lichidă, curgerea se realizează sub forma unor bule dispersate în lichid, care ulterior se ridică la partea superioară a fluxului de curgere,
- Creșterea rațiilor de gaz în faza lichidă duce la formarea de dopuri de gaze (prin contopirea bulelor alungite),
- La un moment dat ca cele două faze formează strate diferite care alunecă unul pe lângă altul și deci dopurile de gaze se unesc deasupra lichidului (la partea superioară a sistemului de transfer),
- Creșterea rațiilor de gaz duce la formarea de valuri (de gaze) în lichid,
- În final, atunci când rația de gaz este foarte ridicată, apare ceața ca structură gazlichid.

Pentru studiul curgerii orizontale a amestecurilor bifazice fluid – solid, am propus relațiile de calcul lui MOLERUS și WELLMAN care ne oferă cele mai bune rezultate.

De asemeni am creat o schema de determinare a gradientului de presiune într-un punct oarecare a curgerii amestecului bifazic lichid-solid.

În final am propus un model realizat în COMOSOL privind mișcarea bifazică.

Modelul de amestec propus de mine în simularea COMSOL este similar cu modelul de curgere cu bule, dar ține cont de contribuția de impuls a fazei dispersate.

Este folosit în mod obișnuit pentru modelarea bulelor de gaz sau a particulelor solide dispersate într-o fază lichidă.

Modelul de amestec poate gestiona, de asemenea, un număr arbitrar de faze dispersate.

Atât modelul de amestec, cât și modelul de curgere cu bule presupun că faza dispersată este în echilibru cu faza continuă; adică, faza dispersată nu poate accelera în raport cu faza continuă.





Prin urmare, modelul de amestec nu poate gestiona particule solide mari dispersate într-un gaz.

Modelul Euler–Euler, propus de mine este cel mai precis model de flux multifazic dispersat și, de asemenea, cel mai versatil.

Poate gestiona orice tip de fluxuri multifazate dispersate.

Faza dispersată este lăsată să se accelereze și nu există o limită reală în fracțiile de volum pentru diferitele faze.

Cu toate acestea, definește un set de ecuații Navier-Stokes pentru fiecare fază.

În practică, modelul Euler-Euler este aplicabil doar pentru fluxul în două faze.

Este, de asemenea, relativ dificil de lucrat și necesită condiții inițiale bune pentru a obține convergența în soluția numerică.

Principalul obiectiv al capitolului al II-lea a fost de a analiza filtrarea gazelor sau separarea părții lichide de cea gazoasă prin trei metode de lucru:

- a. Adsorbției lichidelor din gaze pe un material adsorbant cu o capacitate de adsorbție îmbunătățită (realizându-se viteze mari de transfer de căldură și masă).
- b. Utilizarea unor sisteme de separare prin criogenie,
- c. Utilizarea de aditivi adsorbanti a lichidelor (silicagel, etc).

Utilizarea materialelor compozite ca și adsorbanti de lichide au fost promovate în literatură de specialitate de către Aristov, Liu și Wang respectiv, Zhang [36].

Rolul utilizării acestor structuri moleculare au avut scop crearea unei capacități de adsorbție ridicată și regenerarea acestora la temperaturi scăzute, în urma studiilor realizate s-a constatat că sitele moleculare asigură o capacitate de adsorbție sporită, față de utilizarea adsorbantilor și mai ales se poate realiza regenerarea la o temperatură scăzută.

Cinetica adsorbției apei din gaze (pe site moleculare) a constituit subiectul a numeroase studii, scopul acestora fiind de a determina noi tehnologii de uscare a gazelor naturale și de purificare a gazelor tehnice și medicale.

Lundgren, Campen, Watanabe și Ewen au demonstrat eficiența adsorbției vaporilor de apă pe materiale compozite impregnate cu alumina activate și silicagel cu clorură de calciu.

Analiza adsorbției apei pe structuri moleculare și cu ajutorul silicagelului a făcut obiectul acestei părți a tezei de doctorat plecând de la utilizarea unor materiale compozite și a doi adsorbanti clasici (silicagel și alumină) în separarea apei din aerul umed.

Pentru a observa eficiența celor două sisteme de separare a apei, am utilizat:

- a. Materiale compozite obținute prin impregnarea unor matrici gazdă poroase cu săruri anorganice higroscopice,





- b. Silicagel sub formă de granule sferice diametrul de 2,57 mm,
- c. Alumina activată cu colțuroase de diametrul mediu de 2,25 mm,
- d. Cărbune active cu diametrul mediu de 0,15 mm.

Materialele poroase pe care le-am creat în laborator au structura:

- a. Silicagel cu soluție de CaCl_2 15%,
- b. Silicagel cu soluție de LiBr 15%,
- c. Alumina cu soluție de CaCl_2 15%,
- d. Alumina cu soluție de LiBr 15%,

Schema experimentală realizată pentru testare a constată într-un tub de metal în lungime de 20 cm și diametru de 2 inch, care la capete a avut vane de separare.

Tubul a fost umplut cu materiale menționate mai sus și s-a determinat valorile temperaturii, concentrației vaporilor din faza gazoasă și a concentrației apei din faza solidă la mai multe valori ale duratei (10, 30, 60, 90, 120, 150 minute) și la diferite înălțimi ale stratului fix de adsorbant (0.08, 0.16, 0.24, 0.32 și 0.4 m).

Primul experiment a constatat în utilizarea unui pat de cărbune activ cu diametrul mediu de 0,15 mm.

Ecuția experimentală obținută în acest caz a fost de forma polinomială cu următoarea structură:

$$X = 1\text{E}+07Y^5 - 1\text{E}+06Y^4 + 49542Y^3 - 832,5Y^2 + 6,95Y - 6\text{E}-12 \quad (1)$$

unde $R^2 = 1$.

Cu toate că literatura de specialitate recomandă utilizarea de relații liniare, de forma $y=a+bx$, se observă că în acest caz am avea o eroare de 0,0118:

$$X = 2,2229Y + 0,0024 \quad (2)$$

La utilizarea Silicagel cu soluție de CaCl_2 15%, cantitatea de apă adsorbită a fost conform ecuației de ordinul 1

$$X = 4,9714Y + 0,009 \quad (3)$$

având un cu un coefficient de exactitate de $R^2 = 0,9935$.

Propun utilizarea relației de forma unui polinom de ordinul 5.

$$X = -8\text{E}+06Y^5 + 1\text{E}+06Y^4 - 45000Y^3 + 745,83Y^2 + 2,0833Y - 1\text{E}-11 \quad (4)$$

Ecuțiile adsorției pe pat de silicagel cu soluție de LiBr 15% determinate experimental sunt următoarele în acest caz:

$$X = 4,6943Y - 0,0009 \quad (5)$$

cu un coefficient de exactitate $R^2 = 0,9973$.

Relația fără eroare a adsorției pe pat de silicagel cu soluție de LiBr 15% determinată experimental este:





$$y = 7E+06x_5 - 858333x_4 + 36625x_3 - 644,17x_2 + 8,4667x - 1E-11 \quad (6)$$

Variația adsorției apei pe pat de Alumina cu soluție de CaCl₂ 15%, este data de ecuațiile
- Ecuația liniară cu o exactitate de $R^2 = 0,998$

$$X = 5,6286Y + 0,0043 \quad (7)$$

- Ecuația polinomială fără eroare de calcul:

$$X = 3E+06Y_5 - 291667Y_4 + 11250Y_3 - 170,83Y_2 + 6,85Y - 1E-11 \quad (8)$$

Ecuația izotermei de asorție apă- pat de Alumina cu soluție de LiBr 15%, este următoarea:

$$X = 5,8857Y + 0,0129 \quad (9)$$

cu un factor de exactitate de $R^2 = 0,9938$.

Ecuația izotermei de asorție apă- pat de Alumina cu soluție de LiBr 15% cu o exactitate de 100 % este:

$$y = -4E+06x_5 + 458333x_4 - 15417x_3 + 104,17x_2 + 8,0833x - 2E-11 \quad (10)$$

Experimentele create în cadrul acestei teze de doctorat ne-a indicat faptul că:

- Concentrația vaporilor de apă în faza gazoasă și concentrația apei din adsorbant scad pe înălțimea stratului de adsorție;
- Cantitatea de apă adsorbită pe stratele utilizate este dată în tabelul 2.5, unde X este concentrația apei din faza solidă (kg/kg) și Y reprezintă concentrația vaporilor de apă din faza gazoasă (kg/m³);
- Cantitatea maximă de apă este adsorbită de Alumina cu soluție de LiBr 15%;
- Cantitatea de apă este adsorbită de Alumina cu soluție de LiBr 15%, este de peste 8 ori față de pat de cărbune;
- Erorile date utilizarea modelelor Lagmuir și Freunlich sunt foarte mici de sub 1%, ceea ce demonstrează utilitatea relațiilor create în acest scop.

Pentru a limita prezența apei în gazele de transport am încercat să creez un dispozitiv care să limiteze formarea gheții și a criohidraților.

Procedeul constă în reținerea apei din gaze prin barbotarea printr-un strat de metanol sau monetilen glicol, coroborat cu o matrice de silicagel.

Am construit un dispozitiv bazat pe principiul absorbției de către monoetil glicol sau de către metanol a apei din gazele care trec printr-o umplutură metalică (bile de fier) sau ceramic.

Dispozitivul este format dintr-un cilindru metalic cu capacitatea de minimum 4.l.

- Diametru dispozitiv de încercare 20 cm;
- Înălțimea dispozitivului de încercare 10 cm;
- Volumul dispozitivului de încercare 0,00315 m³ adică 3,15 cm³.

În cilindru am introdus metanol (2/3 din cilindru-adică 2 cmc).





Experimentul a constatat în trecerea unui flux de aer de la un compresor printr-o cutie cu apă (am barbotat aerul prin apă) pe care apoi l-am introdus în cilindrul construit de mine.

Am folosit o matrice cu silicagel prin care am trecut aerul cu apă apoi am dus aerul prin cilindru.

După care am trecut aerul printr-o pânză absorbantă pe care am cântărit-o înainte de experiment și după experiment.

Se observă că în acest caz:

- debitul influențează capacitatea de absorție a metanolului și silicagelului-viteza redusă ducă la o mai bună colectare a apei;
- capacitatea de absorție cu silicagel și metanol este de 90 g/2cmc adică 90 g/l, timp de 50 de minute;
- se observă o trecere a apei prin metanol dar se poate și din cauza măsurătorilor sau a debitului de aer.

De asemenea am circulat aer cu apă prin metanol și bile de ceramică de 2 mm.

Se constată în experimental al doilea:

- debitul influențează capacitatea de absorție a metanolului -viteza redusă ducă la o mai bună colectare a apei;
- capacitatea de absorție la metanol este de 40 g/2cmc (centimetru cub), adică 40 g/l (gram pe litru);
- se observă o trecere a apei prin metanol dar se poate și din cauza măsurătorilor sau a debitului de aer.

Capitolul al III-lea am analizat pentru început structura fluxului bifazic gaz-lichid în conductă, creând o hartă a acestui fenomen.

Am analizat apoi conținutul real de gaz în fluxul gaz-lichid în conductele orizontale și înclinate, scriind ecuațiile de modelare a acestor amestecuri la curgerea prin conducte.

Pentru prima oară în literatura de specialitate am analizat din punct de vedere energetic (al ecuațiilor de conservare) curgerea fluidelor bifazice prin curbe și zone a conductelor ascendente și/sau descendente.

Am observat că o particulă de apă situată pe o rază de curbura r și se imprimă pe direcție radială o forță egală cu:

$$F_s = (\rho_\alpha - \rho) \frac{\omega^2}{2} r^2 \frac{\pi d_p^2}{4} \quad (11)$$

unde ω – este viteza unghiulară.





Se observă cu ușurință că forța imprimată particulei este proporțională cu diferența dintre densitatea particulei și aceea a mediului portant (gazul).

În cadrul acestei teze am efectuat și teste experimentale privind mișcarea amestecurilor bifazice în secțiunilor descendente și ascendente ale unor conducte de transport, creând un echipament necesar pentru analiza experimentală a unui flux de gaz-lichid în conductă orizontală și înclinată.

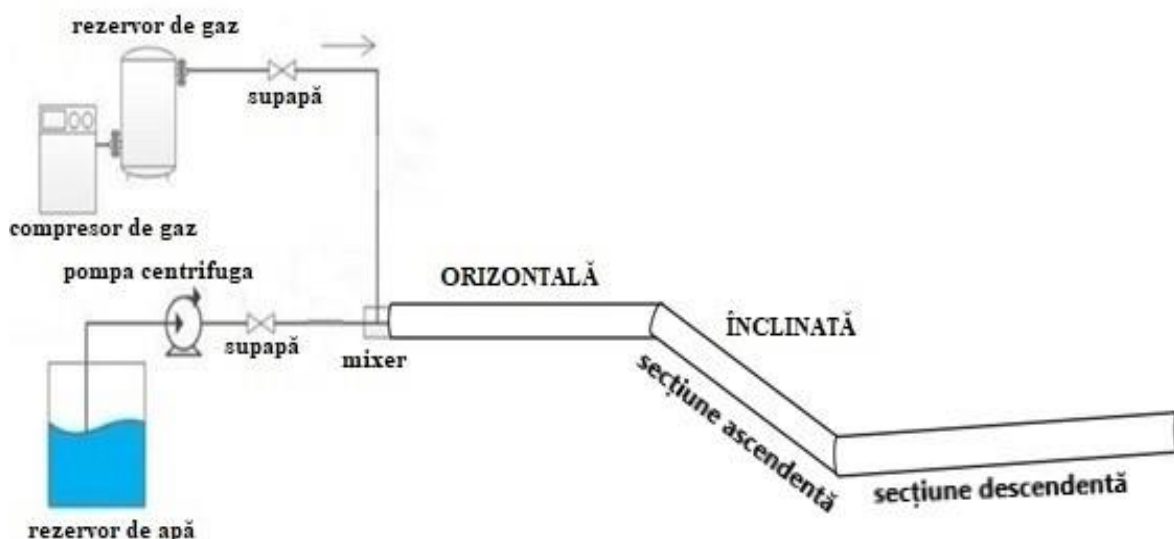


Figura 1. Reprezentare schematică a unui experiment pe un flux bifazic gaz-lichid în conductă orizontală și înclinată.

În urma studiilor experimentale, au fost relevate următoarele structuri caracteristice ale fluxului amestecului gaz-lichid în secțiunea de control a conductei:

- Formare de bule (emulsie), caracterizată prin mișcarea bulelor de gaz în fluxul de lichid;
- Formarea dopurilor (slug, dop-dispersat), caracterizat prin alternarea volumelor de lichid și gaz de-a lungul lungimii conductei.

Formarea, existența stabilă și schimbarea formelor structurale ale fluxului unui amestec gaz-lichid în conductă depinde de o serie de condiții la intrarea în secțiunea de control a conductei: proprietățile termofizice ale fazelor lichide și gazoase; viteza curgerii în două faze și unghiul de înclinare a conductei.

La curgerea prin conducte a fluxului bifazic, curgerea fluidelor interacționează cu un corp exterior (cu peretele conductei).

Interacțiunea forțelor datorată frecării și presiunii, precum și interacțiunea termică datorită schimbului de căldură cu peretele acestor procese pentru fluxurile bifazate gaz-lichid





depinde de structura fluxului, în special de prezența unui film de lichid sau vapori pe perete, distribuția fazelor pe secțiunea transversală a conductei și procese interne în flux.

Structura fluxului unui amestec bifazic se numește de obicei distribuția caracteristică a interfețelor dintre lichid și gaz.

În cazul general, formarea uneia sau alteia structuri de curgere depinde de: debitul fiecăreia dintre faze și proprietățile fizice ale acestora; de la locația conductei prin care se mișcă amestecul; asupra metodelor de intrare și ieșire a fazelor amestecului.

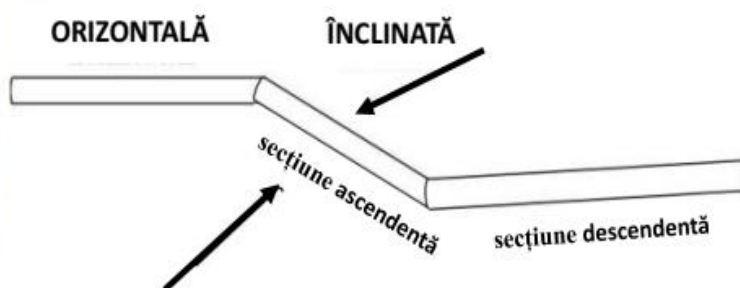


Figura 2. Curgerea structurală a fluxului gaz-lichid în secțiunea ascendentă a conductei.

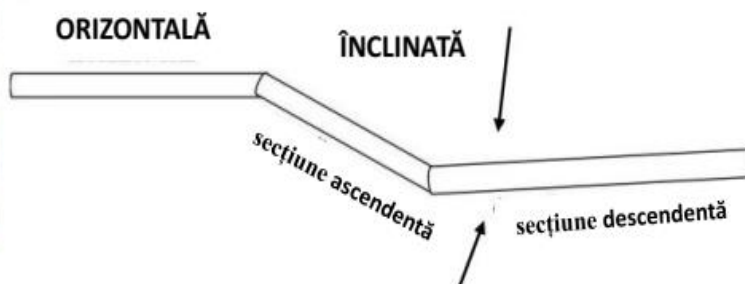


Figura 3. Curgerea structurală a fluxului gaz-lichid în secțiunea descendentă a conductei.

Pentru debitele în conducte orizontale și înclinate a fost formulat și fundamentat principiul, care constă în faptul că o modificarea a structurilor de curgere nu duce în toate cazurile la modificarea dependențelor care determină cantitățile hidrodinamice (conținut real de gaz, rezistență hidraulică, etc.).

Aceste dependențe se schimbă doar cu schimbare calitativă a interfeței dintre lichid și gaz.

Prin urmare, toate tipurile de structuri de curgere care apar în conducte orizontale și înclinate cu direcții de curgere ascendentă și descendentă sunt împărțite condiționat în trei zone principale:





- zonă de curgere inelară generalizată (peliculă dispersată sau inelară dispersată) cu formă inelară a interfeței de fază;
- zonă de curgere generalizată de slug fără o interfață clară de fază;
- zonă de curgere stratificată cu interfață de fază netedă sau ondulată.

Mediul gaz-lichid transportat prin conductă orizontală și înclinată va fi considerat condiționat un amestec bifazic format dintr-un Newtonian monocomponent de vâscos slab compresibil de lichid termoconductor și Newtonian monocomponent de vâscos compresibil de gaz (vapori) termoconductor.

Astfel de amestecuri gaz-lichid, de exemplu, includ uleiuri ușoare cu conținut scăzut de parafină, cu proprii lor vapori și apă fierbinte cu vapori.

De asemenea am efectuat un experiment de curgere solid-lichid în două faze în conductă orizontală și verticală.

În lucrare experimentală, am investigat și demonstrat comportamentul diferitelor solide în conductă la diferite viteze de curgere.

În prima parte a experimentului, am investigat mișcarea bucăților de sticlă spartă în conductă.

După pornirea pompei s-a crescut viteza de curgere astfel ca la o viteză de aproximativ 0,40 metri pe secundă, bucățile de sticlă încep să se miște.

La o viteză de aproximativ 0,55 metri pe secundă, bucățile de sticlă se mișcă de-a lungul conductei orizontale, dar se opresc în cotul conductei verticale.

La o viteză de aproximativ 0,70 metri pe secundă, bucățile de sticlă încep să se miște pe conducta verticală.

În a doua parte a experimentului, am investigat mișcarea pietrelor rotunde în conductă.

După pornirea pompei s-a crescut viteza de curgere la o viteză de aproximativ 0,40 metri pe secundă, când pietrele rotunde încep să se miște ușor.

Cu o viteză de aproximativ 0,45 metri pe secundă, pietrele rotunde se mișcă de-a lungul conductei orizontale, dar se opresc în cot la conducta verticală.

La o viteză de aproximativ 0,60 metri pe secundă, unele pietrele rotunde încep să se miște în sus pe conducta verticală.

La o viteză de aproximativ 0,80 metri pe secundă, toate pietrele rotunde se deplasează în sus pe conducta verticală.

În a treia parte a experimentului, am investigat mișcarea pietrelor cu contururi aspre.





La o viteză de aproximativ 0,45 metri pe secundă, primele pietre încep să se miște.

Cu o viteză de aproximativ 0,50 metri pe secundă, pietrele se deplasează de-a lungul conductei orizontale, dar se opresc la cotul conductei verticale.

La o viteză de aproximativ 0,80 metri pe secundă, unele pietre încep să se miște pe conducta verticală.

Cu o viteză de aproximativ 0,85 metri pe secundă, toate pietrele se deplasează în sus pe conducta verticală.

În a patra parte a experimentului, am investigat mișcarea pieselor mici din oțel, cum ar fi piulițele și șuruburile în conductă.

La o viteză de aproximativ 0,60 metri pe secundă, primele părți încep să se miște.

La o viteză de aproximativ 0,90 metri pe secundă, piesele se deplasează de-a lungul conductei orizontale, dar se opresc în cot la conducta verticală.

La o viteză de aproximativ 1,20 metri pe secundă, primele piese încep să se deplaseze în sus pe conducta verticală.

La o viteză de aproximativ 1,70 metri pe secundă, toate piulițele rămase se deplasează în sus pe conducta verticală.

În partea a cincea a experimentului, am investiga mișcarea (format din pietre, bucăți de sticlă sparte și piese din metal) prin conductă.

La o viteză de aproximativ 0,40 metri pe secundă, primele solide încep să se miște.

Sticla și pietrele sunt separate de amestec.

La o viteză de aproximativ 0,45 metri pe secundă, bucăți de sticlă sparte și pietrele se mișcă de-a lungul conductei orizontale, dar se opresc în cotul conductei verticale.

La o viteză de aproximativ 0,55 metri pe secundă, bucăți de sticlă încep să se miște în sus pe conducta verticală.

La o viteză de aproximativ 0,70 metri pe secundă, toate pietrele încep să se miște pe conducta verticală.

La o viteză de aproximativ 1,70 metri pe secundă, toate piulițele și șuruburile rămase încep să se miște pe conducta verticală.

Experimentele create de noi a avut rolul de a determina rolul parametrilor constructive asupra parametrilor de curgere a amestecului bifazic lichid-solid.

Astfel am încercat și am reușit să determinăm:

- a. Influența diametrului solidelor asupra vitezei critice;
- b. Influența masei solidelor asupra vitezei critice;



c. Comportarea solidelor în amestecul bifazic.

În primul experiment am ales mai multe tipuri de solide care să fie utilizate în mișcarea acestora prin lichid.

Am studiat viteza critică (de început de mișcare) pentru curgerea solidelor în țeava orizontală și țeava verticală.

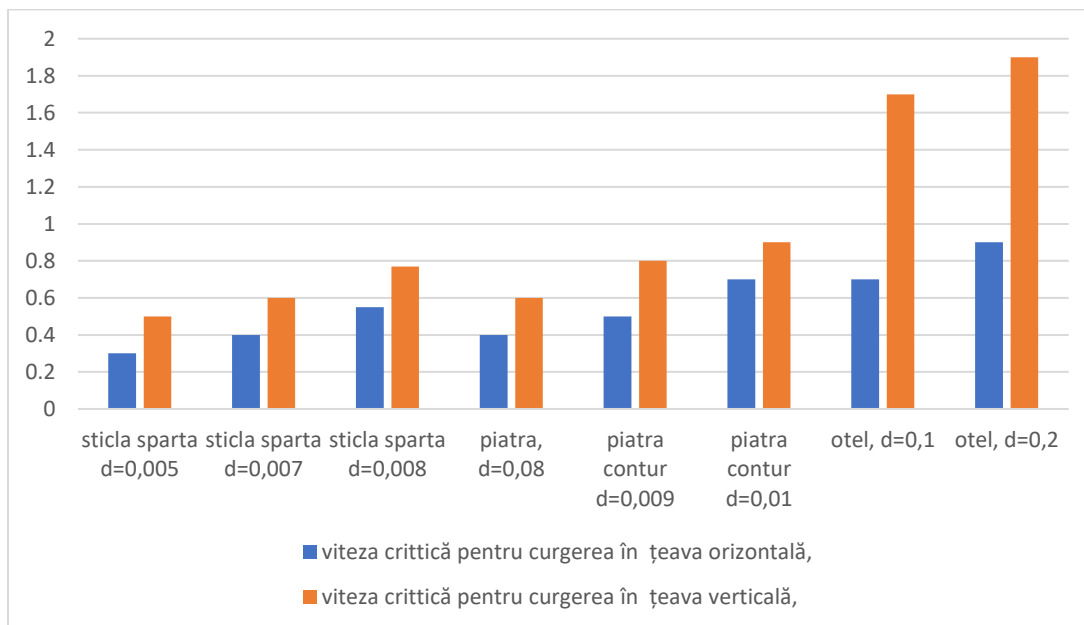


Figura 4. Viteza critică a curgerii solidelor prin țeava orizontală și vertical (m/s).

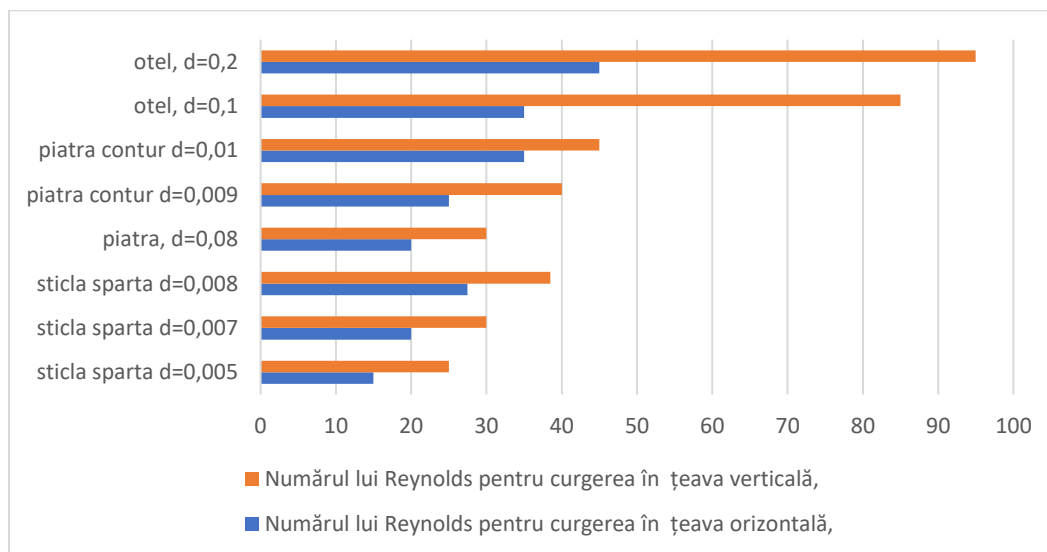


Figura 5. Numărul lui Reynolds la valorile vitezei critice a curgerii solidelor prin țeava orizontală și vertical.





În etapa a II-a a proiectului am măsurat:

- Viteza critică de început de mișcare pe secțiunea orizontală a conductei;
- Viteza amestecului omogen lichid-solid pe secțiunea orizontală a conductei;
- Viteza critică de început de mișcare pe secțiunea verticală a conductei;
- Viteza amestecului omogen lichid-solid pe secțiunea verticală a conductei.

În finalul experimentului am analizat viteza de curgere obținută experimental și prin ecuațiile noastre de calcul față de relația din literature de specialitate:

$$v_{crit} = F_l(2Dg(s-1))^{1/2} \quad (12)$$

Unde:

- F_l - este un factor de neuniformitate a materialului solid aflat în fluxul de lichid;
- D - este diametrul de curgere;
- g - este accelerația gravitațională;
- s - este suprafața particulei din flux.

Totodată am reușit să determin eroarea absolută a vitezei critice (a relației exponențiale, polinomială și a celei din literatura de specialitate) față de viteza critică determinată experimental (m/s).

De asemenea am studiat diferențele vitezei critice (a relației exponențiale, polinomială și a celei din literatura de specialitate) față de viteza critică determinată experimental (m/s).

În urma măsurărilor am putut determina ecuațiile de mișcare a amestecului fluid-solid (x este distanța de curgere, y este viteza fluxului de fluid, m/s) (tabelul 1).

solid	Ecuația exponențială de mișcare a amestecului bifazic lichid solid	Coeficientul de determinare a exactității relației față de cercetarea științifică, R^2	Ecuația polinomială de mișcare a amestecului bifazic lichid solid	Coeficientul de determinare a exactității relației față de cercetarea științifică, R^2
sticla sparta d=0,005	$y = 0,2121e^{0,2899x}$	0,9847	$y = -0,0083x^3 + 0,1x^2 - 0,1917x + 0,4$	1
sticla sparta d=0,007	$y = 0,2828e^{0,272x}$	0,9574	$y = 0,0083x^3 + 7E-15x^2 - 0,0083x + 0,4$	1
sticla sparta d=0,008	$y = 0,4468e^{0,1948x}$	0,9851	$y = 0,02x^3 - 0,12x^2 + 0,33x + 0,32$	1
Piatra d=0,08	$y = 0,2828e^{0,272x}$	0,9574	$y = 0,0083x^3 + 7E-15x^2 - 0,0083x + 0,4$	1



piatra contur d=0,009	$y = 0,3536e^{0,2914x}$	0,9749	$y = 0,0167x^3 - 0,05x^2 + 0,1333x + 0,4$	1
piatra contur d=0,01	$y = 0,5112e^{0,2404x}$	0,8772	$y = 0,0833x^3 - 0,5x^2 + 1,0167x + 0,1$	1
otel, d=0,1	$y = 0,87\ln(x) + 0,7338$	0,9917	$y = 0,05x^3 - 0,5x^2 + 1,85x - 0,7$	1
otel, d=0,2	$y = 0,9246\ln(x) + 0,9154$	0,9966	$y = 0,0667x^3 - 0,6x^2 + 2,0333x - 0,6$	1

La curgerea amestecurilor gaz-lichid care se deplasează în conductă se constată că vitezele de fază nu sunt similare.

În secțiunile orizontale și ascendente ale conductelor, viteza fazei gazoase este mai mare decât cea a lichidului, iar în secțiunile descendente ale conductelor, viteza fazei gazoase este mai mică decât cea a lichidului.

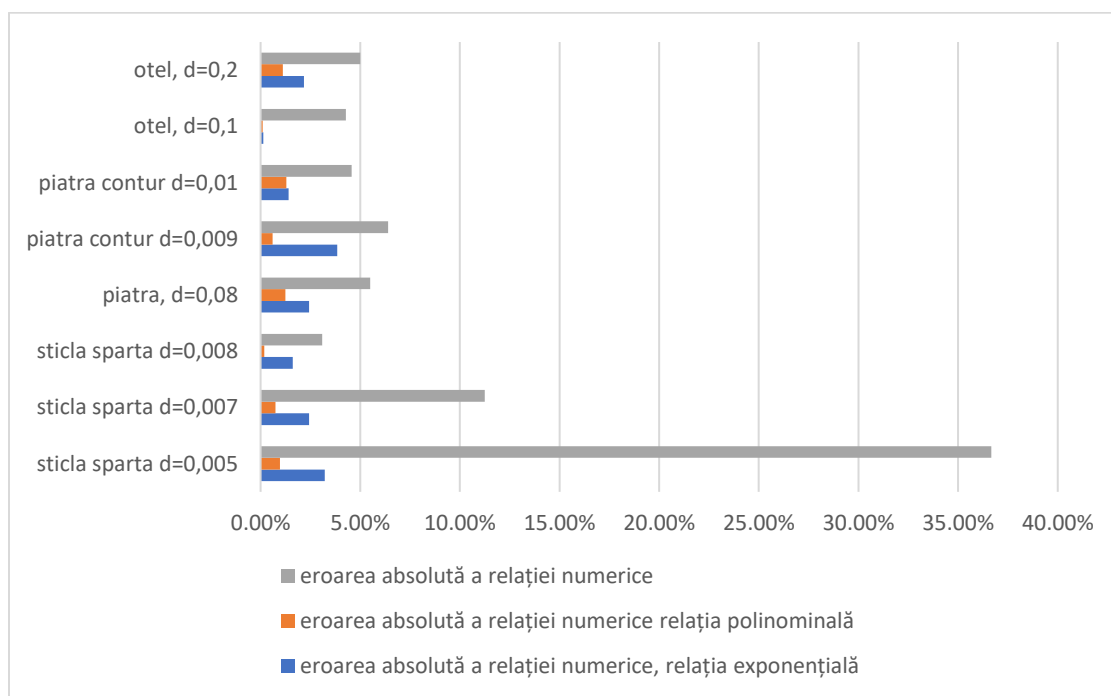


Figura 6. Eroarea absolută a relației numerice, polinomială și exponențială.



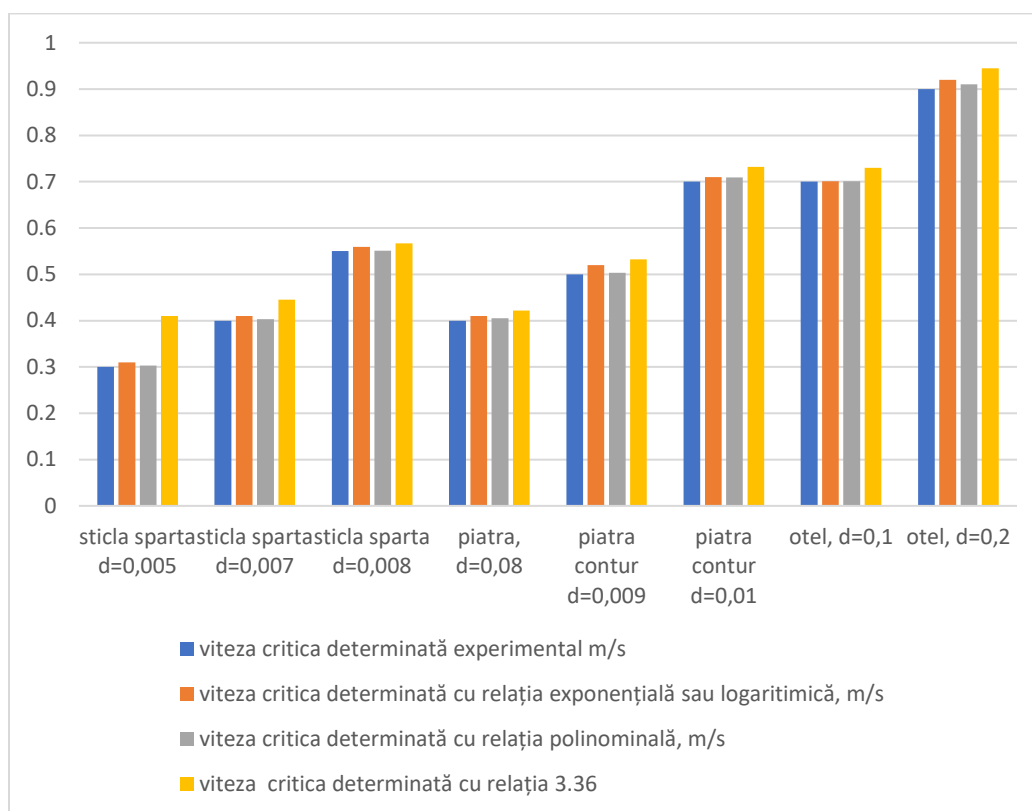


Figura 7. Viteza critica determinată experimental, cu relația exponențială sau logaritmică, polinomială etc.





Contribuții proprii aduse cercetărilor în studiul curgerii multifazice prin conducte.

În cadrul studiilor și experimentelor efectuate în cadrul acestui program de cercetare științifică, consider ca și contribuții proprii următoarele aspecte promovate pentru prima oară în literatura de specialitate:

- a. Am reușit să analizez curgerea multifazică a fluidelor petroliere prin conductele ascendente și descendente;
- b. Am creat sisteme de separare a apei prin site moleculare;
- c. Am analizat fenomenele din cadrul separatoarelor de picături;
- d. Am reușit să vizualizez formarea bulelor și dopurilor în zonele ascendente și descendente ale conductei, la curgerea fluidelor bifazice lichid-gaz;
- e. Am creat o instalație care să analizeze curgerea bifazică lichid-solid, astfel încât să pot să determin experimental viteza critică de transport a fazei solide;
- f. Am reușit să creez un model numeric exponențial, logaritmic și polinomial, care să ofere date privind curgerea fluidelor bifazice lichid-solid în conductele ascendente și verticale;
- g. Acest model numeric l-am comparat cu rezultatele obținute pe plan mondial, simularea din această teză fiind cea mai aproape de datele experimentale;
- h. Am analizat efectul curburii sistemelor de transport asupra particulelor solide din fluxul de gaze transportat prin conducte;
- i. Am prezentat în teză toate modelele de curgere bifazică și multifazică, lucrarea fiind o reală bază de date pentru doctoranzi și cercetători.





BIBLIOGRAFIE

1. Robescu, D.N., Szabolecz, L., Robescu, L.D., Constantinescu, I., *Dinamica fluidelor polifazate*, Editura Tehnică, București, 2000.
2. Hewitt, G.F., *Handbook of Multiphase Systems*, Chapter 2, (Editor: G. Hetsroni), Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1982.
3. Barnea, D., A Unified Model for Predicting Flow-pattern Transitions for the Whole Range of Pipe Inclinations, *Int. J. Multiphase Flow*, 13, 1-12, 1987.
4. Dukler, A.E., Taitel, W., *Flow Pattern Transitions in Gas-Liquid Systems: Measurement and Modeling*, Chapter 1 of *Multiphase Science and Technology*, Vol. 2, (Editor: G.F. Hewitt), Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1986.
5. Crețu, I., Ionescu, E.M., *Hidraulica generală*, Editura U.P.G., Ploiești, 2004.
6. Oroveanu, T., *Transferul de impuls și aplicații, în Ingineria prelucrării hidrocarburilor*, (coord. Suciu, G.C.), vol. 2, Editura Tehnică, București, 1985.
7. Beggs, H.D. , *An Experimental Study of Two-Phase Flow in Inclined Pipes*, University of Tulsa, 220 pages, 1987.
8. Jimenez-Carmona, M.M., Ubera, J.L., Luque de Castro, M.D. , Comparison of continuous subcritical water extraction and hydrodistillation of marjoram essential oil, *Journal of Chromatography A*, 855 (1999) 625–632.
9. Kumar, S.P.J., Prasad, S.R., Banerjee, R. *et al.* Green solvents and technologies for oil extraction from oilseeds. *Chemistry Central Journal* 11, 9, (2017). <https://doi.org/10.1186/s13065-017-0238-8>.
10. Zhang, Y.-P.; Wang, N.; Chen, D.-L.; Chen, Y.; Chen, M.-J.; Chen, X.-X. Smart Superhydrophobic Filter Paper for Water/Oil Separation and Unidirectional Transportation of Liquid Droplet. *Membranes* , 12, 1188 (2022). <https://doi.org/10.3390/membranes12121188>.
11. Branion, R., Principles for the separation of oil drops from water in gravity type separators, Editor(s): JOHN H. VANDERMEULEN, STEVE E. HRUDEY, *Oil in Freshwater: Chemistry, Biology, Countermeasure Technology*, Pergamon, 1987, Pages 431-442, ISBN 9780080318622, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-031862-2.50035-6>.
12. Parker, H. D., Pitt, G. D. A technical review of the principles of oil-water separation *Pollution Control Instrumentation for Oil and Effluents*, 1987, ISBN : 978-94-010-7951-8.





13. Wallau, W., Schlawitschek, Ch., Arellano-Garcia, H., Industrial & Engineering Chemistry Research 55 (16), 4585-4598 (2016), DOI: 10.1021/acs.iecr.5b03876.
14. Ashraf, Y. Hosny, Separating oil from oil-water emulsions by electroflotation technique, Separations Technology, Volume 6, Issue 1, (1996), Pages 9-17, ISSN 0956-9618, [https://doi.org/10.1016/0956-9618\(95\)00136-0](https://doi.org/10.1016/0956-9618(95)00136-0).
15. Kim, DH, Mauchauffé, R, Kim, J, Moon, SY. Simultaneous, efficient and continuous oil-water separation via antagonistically functionalized membranes prepared by atmospheric-pressure cold plasma. Sci Rep. Feb 4;11(1):3169 (2021). doi: 10.1038/s41598-021-82761-9. Erratum in: Sci Rep. 2021 May 3;11(1):9782. PMID: 33542433; PMCID: PMC7862374.
16. Moroi, Y., Relationship between solubility and micellization of surfactants: He temperature range of micellization. Progr Colloid & Polymer Sci, , 77: 55-61, (1988),
17. Semancik, P, Dielectric analysis of natural oils. Acta Electrotechnica et Informatica, 2007, p: 7.
18. Hao, B., Jiale Y., Qing Y., Xun H., Feng C. Simple and Low-Cost Oil/Water Separation Based on the Underwater Superoleophobicity of the Existing Materials in Our Life or Nature , Frontiers in Chemistry, 8, (2020), <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fchem.2020.00507>,10.3389/fchem.2020.00507.
19. Aini, Amran N, Nor Adibah Mustapha S. Oil–Water Separation Techniques for Bilge Water Treatment [Internet]. Resources of Water. IntechOpen, (2021). Available from: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.91409>.
20. Brown, PS, Bhushan B. 2016 Bioinspired materials for water supply and management: water collection, water purification and separation of water from oil. **Phil. Trans. R. Soc. A** 374, (2016).
21. Bhushan, B, Jung, YC. , Natural and biomimetic artificial surfaces for superhydrophobicity, self-cleaning, low adhesion, and drag reduction. **Prog. Mater. Sci.** 56, 1–108 (2011), (doi:10.1016/j.pmatsci.2010.04.003).
22. Park, YH, Kim, HJ, Formulation and stability of horse oil-in-water emulsion by HLB system. Food Sci Biotechnol. Jul 16;30(7):931-938 (2021). doi: 10.1007/s10068-021-00934-8. PMID: 34395024; PMCID: PMC8302701,
23. Agrawal, S.S., Gregory, G.A., Govier, G.W. , An Analysis of Horizontal Stratified Two Phase Flow in Pipes”. Can. J. Chem. Eng., Vol. 51, Iss. 3, pp. 280-286, (1973).
24. Sevigny, R. An Investigation of Isothermal, Co-current, Two-Fluid, Two-Phase Flow in an Inclined Tube, N.Y. University of Rochester, ProQuest Dissertations Publishing, 1962.
25. Mamaev, V.A. ,The movement of gas-liquid mixtures in pipes, Moscow, Nedra, page-270, 1978.





26. Govier, G.W. , Omer M.M. ,The Horizontal Pipeline Flow of Air-Water Mixtures, Can. J. Chem. Eng., Vol. 40, Issue 3, pp. 93-104, 1962.
27. Gould T.L. , Ramsey E.L., ,Design of Offshore Gas Pipelines Accounting for TwoPhase Flow” SPE 4844, Presented at SPE-European Meeting, Amsterdam, The Netherlands, May 1974.
28. Hoogendoorn, C.J. ,Holdup in Gas-Liquid Flow, Chemical Engineering Science, Elsevier, Vol. 9, Iss. 4, pp. 205-217, 1959.
29. Mandhane, J.M., Gregory, G.A., Aziz, K. ,A Flow Pattern Map for Gas-Liquid Flow in Horizontal Pipes.” Int. J. of Multiphase Flow, Elsevier, Vol. 1, Iss. 4, pp. 537-553, 1974.
30. Liu, JR, Xu, YG, Wang, D., Numerical simulation of solid-liquid two-phase turbulent flow in impeller channel and pump characteristics analysis. Tran Chin Soc Agric Mach; 41: 86-90, 2010.
31. Kozlov, W.W., Ramodanov, S.M. ,On the motion of a variable solid in an ideal liquid // Applied mathematics and mechanics. Russia. T. 65, № 4. p. 631-644, 2001.
32. Jaeger H.M., Nagel S.R., Behringer R.P., Granular solids, liquids and gases, Rev. Mod. Phys. 68, p. 1259-1273,1996.
33. Hyder, M., Sabah, T., Laith, J.,Two-phase flow for gas-liquid, gas-solid, liquid-solid and liquid-liquid in a horizontal smooth and turbulator conduit –A review. Journal of Mechanical Engineering Research and Developments. ISSN: 1024-1752. CODEN: JERDFO. Vol.43. №7, p.26-50, 2020.
34. Arisa, G. Gordeeva, Yao, Dong Tu, Quanwen Pan, M.L. Palash, Bidyut, B. Saha, Yuri, I. Aristov, Ru Zhu Wang, Metal-organic frameworks for energy conversion and water harvesting: A bridge between thermal engineering and material science, Nano Energy, Volume 84,2021, 105946,ISSN 2211-2855, <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2021.105946>.
35. Liu, J.X., Haataja, M.P., Košmrlj, A. *et al.* Liquid–liquid phase separation within fibrillar networks. *Nat Commun* **14**, 6085 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-41528-8>.
36. Zhang, Lu Liu, Chao Li, Molecular simulations of competitive adsorption behavior between CH₄-C₂H₆ in K-illite clay at supercritical conditions, Fuel, 260, 116358, 2020.
37. Xiaohong, Zhang, Aditya, Savara, Rachel, B. Getman, A Method for Obtaining Liquid–Solid Adsorption Rates from Molecular Dynamics Simulations: Applied to Methanol on Pt(111) in H₂O, Journal of Chemical Theory and Computation 2020 16 (4), 2680-2691, DOI: 10.1021/acs.jctc.9b01249.
38. Watanabe, S., Tadokoro, C., Miyake, K. *et al.* Processes of molecular adsorption and ordering enhanced by mechanical stimuli under high contact pressure. *Sci Rep* **12**, 3870 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07854-5>.





39. Siri, R., Thongrom, S., van Dommelen, P., Muensit, N. & Daengngam, C. Demonstrating spray deposition of self-regulated nanorough layers for stable transparent superhydrophobic film coatings. *Thin Solid Films* <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2019.137429> (2019).
40. Khoo, H. S. & Tseng, F. G. Engineering the 3D architecture and hydrophobicity of methyltrichlorosilane nanostructures. *Nanotechnology* **19**(34), 345603. <https://doi.org/10.1088/0957-4484/19/34/345603> (2008).
41. Mohan Kumar, P., Ajayan, J., Mohanraj, T. & Yasodharan, R. Recent developments in biosensors for healthcare and biomedical applications: a review. *Measurement* <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108293> (2021).
42. Blasi, D. *et al.* Enhancing the sensitivity of biotinylated surfaces by tailoring the design of the mixed self-assembled monolayer synthesis. *ACS Omega* **5**(27), 16762–16771. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c01717> (2020).
43. Zhang, C. *et al.* Sum frequency generation vibrational spectroscopic studies on buried heterogeneous biointerfaces. *Opt. Lett.* **39**(9), 2715–2718. <https://doi.org/10.1364/OL.39.002715> (2014).
44. Lundgren, S. M. *et al.* Unsaturated fatty acids in alkane solution: adsorption to steel surfaces. *Langmuir* **23**(21), 10598–10602. <https://doi.org/10.1021/la700909v> (2007).
45. Campen, S., Green, J. H., Lamb, G. D. & Spikes, H. A. In situ study of model organic friction modifiers using liquid cell AFM; saturated and mono-unsaturated carboxylic acids. *Tribol. Lett.* **57**(2), 18. <https://doi.org/10.1007/s11249-015-0465-x> (2015).
46. Watanabe, S., Nakano, M., Miyake, K. & Sasaki, S. Analysis of the interfacial molecular behavior of a lubrication film of n-dodecane containing stearic acid under lubricating conditions by sum frequency generation spectroscopy. *Langmuir* **32**(51), 13649–13656. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.6b03954> (2016).
47. Ewen, J. P., Kannam, S. K., Todd, B. D. & Dini, D. Slip of alkanes confined between surfactant monolayers adsorbed on solid surfaces. *Langmuir* **34**(13), 3864–3873. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b00189> (2018).
48. https://en.wikipedia.org/wiki/Freundlich_equation.
49. https://en.wikipedia.org/wiki/Langmuir_adsorption_model.
50. Dukler, A.E. , Taitel, W, Flow Pattern Transitions in Gas – Liquid Systems: Measurement and Modeling, Chapter 1 of Multiphase Science and Technology, Vol. 2, (Editor: G.F. Hewitt), Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1986.
51. Govier, G.W., Aziz, K.: The Flow of Complex Mixtures in Pipes, Van Nostrand Reinhold, New York, 1972.





52. Hewitt, G.F., Handbook of Multiphase Systems. Chapter 2, (Editor: G. Hetsroni), Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1982.
53. Maurice, S. , Ken, A. , Gas-liquid and liquid-liquid separators, Gulf equipment Guides, Oxford, UK. 2008.
54. Richard, C. , Sivalls, P.E., Oil and gas separation design manual., SIVALLS, INC. BOX 2792 ODESSA, TEXAS. 2009.
55. Ampuero, J. F. I. , Castro, A. J. C. et. Al, ,Design of oil-gas separators from hydrocarbon stream., National University of Engineering, course: production I, pp-414,2017.
56. Omar, M.Q., Natural gas separators: types, classification, application and terminology, University of Mosul, Collage of Petroleum Engineering and Mining, Petroleum Reservoir Engineering Department. Mosul, Iraq. 2020.
57. Nigam, A. K., Gas-liquid and liquid-liquid separators, Genre: Technology and Engineering. Publisher: Scitus Academics LLC. ISBN 9781681173870 USA. 2016.
58. Kassem, Y., Fundamentals of oil and gas processing: design and operation of oil field treatment facilities., Published by Independently, pp. 44-101. 2019.
59. Olayinka, I. Ogunsola, L., Gamwo, I., Solid-liquid separation technologies: applications for produced water, First Edition Published by CRC Press. 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL 33487-2742, 2022.
60. Duroudier, J.P., Liquid-gas and solid-gas separators, ISTE Press-Elsevier. eBook ISBN: 9780081017814. Hardback ISBN: 9781785481819. Printed and bound in the UK and US. 2016.
61. Ronald, J., Robichaux, K, Gas liquid separation: liquid droplet development dynamics and separation, Outskirts Press. 1522 Savannah Drive, Garland, Texas. 2009.
62. Wallis, G. B., One-Dimensional Two-Phase Flow, McGrawHill Book Co., Inc., New York City, 1969.
63. Gould, T. L. , Ramsey, E. L. ,Design of Offshore Gas Pipelines Accounting for Two-Phase Flow, J. Pet. Tech. March, 366-374, 1975.
64. Carslaw, H. S. , Jaeger, J. S., Conduction of Heat in Solids, Oxford Press, London 1959.
65. Guzhov, A., Mamayev, V. , Odishariya, G.E., A Study of Transportation in Gas – Liquid Systems, paper IGU/C19-67 presented at 10th Intl. Gas Conference, Hamburg, Germany, June 6-10, 1967.
66. Hagedorn, A. R., Brown, K. E., Experimental Study of Pressure Gradients Occurring During Continuous Two-Phase Flow in Small-Diameter Vertical Conduits, J. Pet. Tech. April, pp. 475-484,1965.
67. Hugmark, G.A.,Holdup in Gas-Liquid Flows, Chem. Eng. Prog. April, pp. 58-62,1962.





68. Odishariya, G. E., On Certain Problems in Gas-Liquid Flow Through Pipelines, *Neft Khoz*, Sept., pp.54-59, 1966.
69. Grace, J. R., Contacting modes and behavior classification of gas-solid and other two-phase suspensions, *Can. J. Chem. Eng.*, 64, june, pp.353. 1986.
70. Kopko, R. J., Barton, P., McCormick, R. H., Hydrodynamics of vertical liquid-solid transport *Ind. Eng. Chem. P.D.D.*, 14,3, pp.264, 1975.
71. Fan L. S., Zhu C.: "Principles of gas solid flows." Cambridge University Press-USA- 1998.
72. Alvarez Maciel, C., Valiente Barderas, A., Prediction of the flow patterns to two phases, vapor –liquid in horizontal pipes, –EPRA International Journal of multidisciplinary research- Volume 6, Issue 5, May p.204, 2020.
73. Christopher, E.B., Fundamentals of multiphase flows, Cambridge Univ. Press UK, 2005.
74. Yeoh G.H., Tu J., Basic Theory and Conceptual Framework of Multiphase Flows, *Handb. Multiph. Flow Sci. Technol.*, pp. 1–47, 2017.
75. Baha Abulnaga, P.E., *Slurry Systems Handbook*, McGraw-Hill, 2002.
76. Wilson, K. C., Addie, G. R., Sellgren, A., Clift R., *Slurry Transport Using Centrifugal Pumps*, Springer, 2006.
77. Matousek, I., Predictive model for frictional pressure drop in settling-slurry pipe with stationary deposit. *Powder Technology*, 192:367–374, 2009.
78. Newitt, D. M., Richardson, J. F., Abbott, M., Turtle, R. B., Hydraulic conveying of solids in horizontal pipes. *Trans. Instn. Chem. Engrs.*, 33:93–110, 1955.
79. Engelmann, H. E. Vertical hydraulic lifting of large-size particles — a contribution to marine mining. In 10th Off. Tech. Conf., pages 731–740, 1978.
80. Pougatch K. , Salcudean, M. Numerical modeling of deep sea air-lift. *Ocean Engineering*, 35:1173, 2008.
81. Newitt, D. M., Richardson, J. F., Gliddon B. J., Hydraulic conveying of solids in vertical pipes. *Trans. Instn. Chem. En-grs.*, 39:93–100, 1961.
82. Richardson J. F. , Zaki W. N., Sedimentation and fluidisation. *Trans. Inst. Chem. Engrs.*, 32:35–53, 1957.
83. Xia, J. X., Ni, J. R., Mendoza C., Hydraulic lifting of manganese nodules through a riser. *J. Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 126:72, 2004.
84. Hong S., Choi J., Yang C. K., Experimental study on solid-water slurry flow in vertical pipe by using ptv method. In *Proceedings of the Twelfth International Offshore and Polar Engineering Conference*, pages 462–466, 2002.





85. Yoon, C. H., Kang, J. S., Park, Y. C., Kim Y. J., Park J. M., S. K. Kwon, Solid-liquid flow experiment with real and artificial manganese nodules in flexible hoses. In Proceedings of the Eighteenth (2008) International Offshore and Polar Engineering Conference, pages 68–72, 2008.
86. Silapov, B., Nistor, I., Technological scheme of two-phase separator, IAI Academic Conference Proceedings Vienna, 20 September 2023, <https://ia-institute.com/iai-academic-conference-proceedings-vienna-20-september/2023/>
87. Silapov, B., Nistor, I., Movement of two-phase gas-liquid flow in horizontal and inclined pipes, Romanian Journal of Petroleum & Gas Technology, Vol. IV (LXXV) • No 1/2023, http://jpgt.upg-ploiesti.ro/wp-content/uploads/2023/02/06_Articol-jurnal-UPG-nr-1_2023_Silapov-Nistor_06.02.2023_rev.pdf
88. Cristea, I., Silapov, B., Nistor, I., & Chis, T. (2024). Numerical Modeling of Two-Phase Liquid-Solid Movement through Pipes. *Journal of Advances in Mathematics and Computer Science*, 39(4), 90-99. <https://doi.org/10.9734/jamcs/2024/v39i41884>
89. Akbar, M. K., Plummer, D. A., and Ghiaasiaan, S. M., 2003, On Gas-Liquid Two-Phase Flow Regimes in Microchannels, *International Journal of Multiphase Flow*, 29 (5) pp. 855-865.
90. Al-Sarkhi, A., Sarica, C., and Magrini, K., 2012, Inclination Effects on Wave Characteristics in Annular Gas-Liquid Flows, *AIChE Journal*, 58 (4), pp. 1018-1029.
91. Awad, M. M., 2007a, Two-Phase Flow Modeling in Circular Pipes, Ph.D. Thesis, Memorial University of Newfoundland, St. John's, NL, Canada.
92. Awad, M. M., 2010a, Comments on Experimental Investigation and Correlation of TwoPhase Frictional Pressure Drop of R410A-Oil Mixture Flow Boiling in a 5 mm Microfin Tube *Int. J. Refrigeration* 32/1 (2009) 150-161, by Ding, G., Hu, H., Huang, X., Deng, B., and Gao, Y., *International Journal of Refrigeration*, 33 (1), pp. 205-206.
93. Banasiak, K., and Hafner, A., 2011, 1D Computational Model of a Two-Phase R744 Ejector for Expansion Work Recovery, *International Journal of Thermal Sciences*, 50 (11), pp. 2235-2247.
94. Beattie, D. R. H., and Whalley, P. B., 1982, A Simple Two-Phase Frictional Pressure Drop Calculation Method, *International Journal of Multiphase Flow*, 8 (1), pp. 83-87.
95. Bonfanti, F., Ceresa, I., and Lombardi, C., 1979, Two-Phase Pressure Drops in the Low Flowrate Region, *Energia Nucleare*, 26 (10), pp. 481-492.
96. Borishansky, V. M., Paleev, I. I., Agafonova, F. A., Andreevsky, A. A., Fokin, B. S., Lavrentiev, M. E., Malyus-Malitsky, K. P., Fromzel V. N., and Danilova, G. P., 1973, Some Problems of Heat Transfer and Hydraulics in Two-Phase Flows, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 16 (6), pp. 1073-1085.





97. Chang, J. S., 1989, Stratified Gas–Liquid Two-Phase Electrohydrodynamics in Horizontal Pipe Flow, *IEEE Transactions on Industrial Applications*, 25 (2), pp. 241–247.
98. Cengel, J., 1967, Viscosity of Liquid-Liquid Dispersions in Laminar and Turbulent Flow, PhD Dissertation Thesis, Oregon State University.
99. Changhong, P., Yun, G., Suizheng, Q., Dounan, J., and Changhua, N., 2005. Two-Phase Flow and Boiling Heat Transfer in Two Vertical Narrow Annuli, *Nuclear Engineering and Design*, 235 (16), pp. 1737–1747.
100. Cherlo, S. K. R., Kariveti, S., and Pushpavanam, S., 2010, Experimental and Numerical Investigations of Two-Phase (Liquid–Liquid) Flow Behavior in Rectangular Microchannels, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 49 (2), pp. 893-899.
101. Chisholm, D., 1967, A Theoretical Basis for the Lockhart-Martinelli Correlation for TwoPhase Flow, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 10 (12), pp. 1767-1778.
102. Crowe, C. T., 2006, *Multiphase Flow Handbook*, CRC: Taylor & Francis, Boca Raton, FL.
103. Ding, G., Hu, H., Huang, X., Deng, B., and Gao, Y., 2009, Experimental Investigation and Correlation of Two-Phase Frictional Pressure Drop of R410A–Oil Mixture Flow Boiling in a 5 mm Microfin Tube, *International Journal of Refrigeration*, 32 (1), pp. 150-161.
104. Fourar, M. and Bories, S., 1995, Experimental Study of Air-Water Two-Phase Flow Through a Fracture (Narrow Channel), *International Journal of Multiphase Flow*, 21 (4), pp. 621-637.
105. Ghiaasiaan, S. M., 2008, *Two-Phase Flow, Boiling and Condensation in Conventional and Miniature Systems*, Cambridge University Press, New York.

