

Multifazalı şaquli axınlarda struktur rejimlərin formalaşması haqqında

Q.Q. İsmayilov, t.e.d.,

F.B. İsmayılova, t.ü.f.d., G.A. Zeynalova

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti

e-mail: asi_zum@mail.ru

Açar sözlər: dik boru, multifazalı axın, struktur formalar, dispers faza, daşınma sürəti.

DOI.10.37474/0365-8554/2022-11-28-33

О формировании структурных режимов в вертикальных мультифазных потоках

Г.Г. Исмаилов, д.т.н., Ф.Б. Исмаилова, д.ф.т.н., Г.А. Зейналова
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

Ключевые слова: стояк, мультифазный поток, структурные формы, дисперсная фаза, скорость переноса.

В силу того, что в гидродинамических расчетах мультифазных потоков не учитывалось влияние взаимодействия фаз, такие явления, как массоперенос и миграция частицы дисперсных фаз по поперечному сечению потока отнеслись к гидродинамическим парадоксам и при этом расчеты не отвечали требованиям инженерной практики.

Рассмотрены вопросы формирования структурных режимов в вертикальных восходящих, мультифазных потоках с учетом взаимодействия (силы Бернулли) фаз. Были также оценены скорость переноса частиц дисперсных фаз в ядро потока и факторы, влияющие на нее.

On formation of structural regimes in vertical multiphase flows

G.G. Ismayilov, Dr. in Tech. Sc., F.B. Ismayilova, PhD in Tech. Sc., G.A. Zeynalova
Azerbaijan State University of Oil and Industry

Keywords: standpipe, multiphase flow, structural forms, dispersed phase, transition speed.

Since the effect of phase interrelation was not considered in hydrodynamic calculations of multiphase flows, such phenomena as mass transfer and migration of the particles of dispersed phases along the cross-section of the flow are related to the hydrodynamic paradox and the calculations did not meet the requirements of engineering practice.

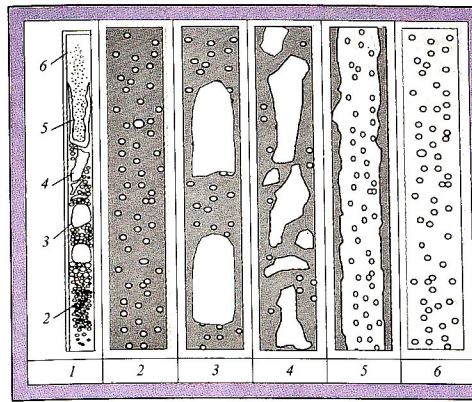
The paper reviews the issues of the formation of structural regimes in the vertical upward multiphase flow considering the effect of phase interaction (Bernoulli principle). The speed of transfer of the particles of dispersed phase into the flow core and the factors affecting them were estimated as well.

Fontan və qazlift quyularının qaldırıcı borularında, eləcə də sualtı boru kəmərlərinin dik borularında qaz-maye axınlarının struktur təhlili göstərir ki, harada ki, təzyiqliq doyma təzyiqindən azdır, ayrılan kiçik ölçülü qaz qabarcıqları neftdə dispersləşərək (bütün həcm boyu bərabər paylanaraq) bircinsli qarışıq əmələ gətirdiyi üçün qaz-maye axınının strukturu qabarcıqlı (emulsiyalı) struktur forması hesab edilir. Adətən qaz qabarcıqlarının ölçüsü çox kiçik olduğundan sistemə dispersliyi yüksək olur və onların Arximed qüvvəsi hesabına mayədə sürüşərək üzə çıxması (sürüşmə sürəti) çox zəif olduğu üçün hesablamalarda nəzərə alınmır və qarışıq bircinsli homogen sistem kimi baxılır. Qaldırıcı borularda yuxarı qalxdıqca təzyiqli düşdüyü üçün həmin qaz qabarcıqlarının həcmi böyüyür və bir-biri ilə birləşərək daha da böyümüş olur. Beləliklə, qabarcıqların maye fazaya nisbətən tədricən sürüşməsi özünü göstərməyə və tədricən müxtəlif struktur rejimləri formalaşmağa başlayır [1–3].

Multifazalı axınlarda qazın nisbi sürəti aşağıdakı amillərdən asılı olaraq dəyişir: qaz qabarcıqlarının disperslik dərəcəsi; multifazalı axının strukturu; maye fazanın özlülüyü; qazın və mayenin sıxlıqlar fərqi; qaldırıcı borunun diametri; axının qaz tutumu. Struktur formalarının sxematik təsviri şəkil 1-də verilmişdir [4].

Ümumiyyətlə, ayrı-ayrı strukturlar arasında dəqiq keçid sərhədi olmasa da hazırda aşağıdan yuxarı axınlar üçün əsas üç struktur formasının – dispersli (emulsiyalı), mərmili (tıxaçlı) və çubuqlu (həlqəvi) strukturların mövcudluğu və daha geniş yayıldığı qəbul edilir.

Qeyd etmək lazımdır ki, mədən şəraitində qaz-neft qarışıqlarının qaldırıcı borularda hərəkəti za-



Şəkil 1. Multifazalı, aşağıdan yuxarı axınların struktur formaları:

1 – axın boyu strukturun dəyişməsi; 2 – qabarcıqlı (dispersləşmiş); 3 – mərmili; 4 – köpüklü; 5 – çubuqlu (həlqəvi); 6 – dispersləşmiş maye

manı axın strukturlarının hər üç formasının eyni vaxtda müşahidəsi mümkündür. Belə ki, qaldırıcı borunun aşağı hissəsində, harada ki, təzyiqli daha yüksəkdir və qaz sərfi azdır, onda emulsiyalı, orta hissədə tıxaçlı və ya mərmili, qaldırıcının yuxarısında isə, harada ki, yüksək qaz sərfi və aşağı təzyiqli mövcuddur –həlqəvi axın forması ola bilər. Təkcə iki strukturun, hətta bir axın formasının da olması mümkündür. Təhlil göstərir ki, mədən şəraitində ən çox yayılmış rejim forması tıxaçlı (mərmili) struktur hesab edilir. Əksər fontan və qazlift qaldırıcıları məhz bu rejimdə işləyir (bax: şəkil 1).

Məlumdur ki, aşağıdan yuxarı hərəkət edən multifazalı axınlarda mövcud olan hər bir struktur forma üçün axının əsas hidrodinamik xüsusiyyətlərinin, hidravlik sürünmə əmsalı və qarışıqda həqiqi qaz tutumunun dəyişməsinin özünəməxsus xüsusiyyətləri var.

Ümumiyyətlə, multifazalı axının hərəkəti mürəkkəb termohidrodinamik proses olmaqla analitik təsviri mədən və laboratoriya təcrübələrinin nəticələri də əlavə olunmaqla yalnız sadələşdirilmiş modellərlə mümkündür. Hazırda bu cür sistemlərin axını üçün homogen və fazaların sürüşməsinə nəzərə alan modellərdən istifadə olunur. Axının homogen modelinə əsaslanan üsullar termodinamik tarazlığı və fazaların xətti sürətinin bərabərliyini nəzərə alır. Bu zaman hər iki faza additivlik prinsipinə görə ortalaşmış sıxlığa malik olan bir homogen sistem kimi qəbul edilir və hesablamalar hidravlikanın monofazalı axınlar üçün mövcud olan düsturlarına əsasən aparılır.

Fazaların sürüşməsi modelinə gəldikdə isə, qeyd etmək lazımdır ki, axının struktur formasından və qaz fazasının maye fazada necə paylanmasından asılı olaraq bu modelin tətbiqi zamanı əvvəlcə struktur formalarının dəqiqləşdirilməsi və sonra mövcud hidravlik hesablama düsturlarının seçilməsi tələb olunur [1, 2, 5, 6].

Multifazalı axınların təhlili göstərir ki, dispers fazaya aid olan hissəciklərin horizontal boru kəmərinin aşağı (dib) səthindən dispersion (aparıcı) fazanın hava və ya maye nüvəsinə qaldırılması mexanikanın məlum qanunları nöqtəyi-nəzərdən izahını tapmadığından bu cür nəticələr hidrodinamik möcüzələrə (paradokslara) aid edilir. Təsəffüfi deyil ki, son zamanlara kimi fazaların qarşılıqlı təsiri nəzərə alınmadığı üçün multifazalı axınlar üzrə aparılan hesablamalar mühəndis praktikasının tələblərinə cavab vermir.

Qeyd etmək lazımdır ki, multifazalı axınlarda fazaların qarşılıqlı təsiri şaquli və üfüqi axınlar üçün fərqlidir. Əgər şaquli axınlarda bu təsir dinamik təzyiqlə əsaslanırsa, üfüqi axınlarda qarşılıqlı təsir aktiv mühitdə statik təzyiqlin dəyişən, passiv mühitdə sürət təzyiqinin sabit olmasına əsaslanır.

Multifazalı qaz-maye axınının strukturu boru kəmərinin trasının relyefindən və axının hərəkət istiqamətindən çox asılıdır. Multifazalı axının üfüqi və şaquli boruda aşağıdan yuxarı və əksinə – yuxarıdan aşağı hərəkəti zamanı hidravlik xarakteristikalar bir-birindən çox fərqlənir. Qeyd etmək lazımdır ki, hazırda aşağıdan yuxarı şaquli axınlara həsr olunmuş xeyli işlər mövcud olsa da, yuxarıdan aşağı istiqamətlənmiş multifazalı axınlara həsr olunmuş işlər çox azdır. Ümumiyyətlə, yuxarıdan aşağı şaquli axınlar çox məhdud səviyyədə tədqiq edilmişdir. Buna misal olaraq tədrübə yolu ilə aparılmış elmi-tədqiqat işlərini göstərmək olar [7–17].

Məsələn elmi-tədqiqat işində daxili diametri 25.4 mm olan şaquli boruda aşağıdan yuxarı və əksinə olan axınlarda qaz tutumu və təzyiqlər fərqinin ölçülməsi həyata keçirilmiş və müəyyən edilmişdir ki, aşağıdan yuxarı hərəkət zamanı həqiqi qaz tutumu daha çox olur, nəinki, yuxarıdan aşağı hərəkət zamanı [7]. Bu zaman yuxarı hərəkət zamanı qazın sərfi artdıqca təzyiqli itkiləri də çoxalmışdır. Digər tədqiqat işində yuxarıdan aşağı axın rejimlərində qaz tutumu, hidravlik müqavimət, istilikkeçirmə, qabarcıqlı axın strukturu tədqiq olunmuşdur [8]. Müəyyən edilmişdir ki, qaz tutumunun paylanması ilə bağlı borunun divarından müəyyən məsafədə onun maksimal paylanması baş verir. Boru divarı zonasında isə

qazın miqdarı, demək olar ki, sıfır qədər azalması olur. Bu zaman axının nüvəsində qaz tutumu dəyişməz qalır. Boruda mayenin sürətinin paylanmasına gəldikdə isə bu sürət boru divarı zonasında maksimal qiymət alır.

Müəlliflərin işində daxili diametri 15 mm olan şaquli boruda qaz qabarcıqlarının kiçik ölçülərində yuxarıdan aşağı axınların lokal strukturlarının tədqiqi məsələləri öz əksini tapmışdır [9]. Axının 0.3–0.6 m/s sürətində və kiçik qaz tutumunda ($\beta = 4-9.6\%$) təcrübələr aparılmış və müəyyən edilmişdir ki, birləşən axınla müqayisədə boru divarına yaxın yerlərdə qaz tutumu və mayenin hərəkət sürətinin döyüntülərinin, həmçinin sürütmə döyüntülərinin əhəmiyyətli azalması baş verir. Daxili diametri 57.2 mm olan şaquli boruda turbulent strukturun və fazaların paylanması işində öyrənilmişdir [10]. Bir sıra işlərdə də qaz-maye axınlarının müxtəlif diametrlə borularda laboratoriya şəraitində yuxarıdan aşağı axınlar tədqiq edilmiş və məlumat bazası təklif olunmuşdur [11–14]. Buna baxmayaraq, qeyd etmək lazımdır ki, şaquli axınlarda bu cür hərəkət növü, demək olar ki, tam öyrənilməmişdir. Son illərin tədqiqatları göstərir ki, hətta çox kiçik qaz tutumlarında belə yuxarıdan aşağı multifazalı axınların xarakteristikası monofazaldan xeyli fərqli ola bilər [17]. Lokal hidrodinamik xarakteristikaların multifazalı axınlar üçün monofazalı axınlardan fərqli olduğu və bunun həcmi qaz sərfinin artması ilə çoxalması qeyd alınmışdır. Maye fazanın gətirilmiş sürətinin çoxalması halının qaz axınının xüsusiyyətinə nisbi təsirini azaltmış olur və bu zaman axının xüsusiyyəti bir fazalıya yaxınlaşır. Son illər elmi nəşrlərdə kiçik dispersli qaz fazası olan şaquli axınlara olan maraq xeyli artmışdır. Bu cür axınlar neftqazçıxarmada, əsasən dəniz yataqlarının məhsullarının yığılması və nəqlində çox geniş yayılmışdır. Şaquli axınların yaxından öyrənilməsi və fazaların dispersliyinin nəzərə alınması texnoloji proseslərin və mövcud sənaye aparat və qurğularının səmərəliliyi üçün xeyli əhəmiyyətlidir. Şaquli axınlarda qismən qazsızlaşdırılmış və kiçik sərfli qaz tutumlu axınların lokal xarakteristikalarının qaz və ya maye fazanın dispersliyindən asılılığının öyrənilməsi vacibdir. Borunun en kəsiyi boyu lokal qaz tutumunun paylanması göstərir ki, bütün ölçmələr zamanı boru divarına yaxın yerlərdə qaz qabarcıqları olmamışdır. Yuxarıdan aşağı vertikal axınlar üçün xarakterik olan bu hal həm təcrübə, həm də nəzəri tədqiqat işlərində dəfələrlə qeyd edilmişdir [15–17]. Qabarcıqlı qaz-maye axınlarında əksər hallarda lokal qaz tutumları sərfi

qaz tutumundan fərqli olmuşdur. Bu effekt qaz qabarcıqlarına təsir edən qaldırıcı qüvvə ilə bağlıdır. Beləliklə, aşağıdan yuxarı hərəkət zamanı lokal qaz tutumu həcmi qaz tutumundan çox az olur. Bu onunla bağlıdır ki, qaz qabarcıqlarının sürəti maye fazanın sürətindən çox olduğu üçün fazaların sürüşməsi baş verir. Aşağıdan yuxarı axından fərqli olaraq yuxarıdan aşağı axınlar zamanı isə qaz mayedən geri qalır və bu həqiqi qaz tutumunun orta sərf qaz tutumu ilə müqayisədə çoxalmasına səbəb olur. Bu cür axınlar zamanı maye sürətinin azalması və ya qaz qabarcıqlarının ölçülərinin böyüməsi ilə əlaqədar elə bir rejim yarana bilər ki, qaldırıcı-Arximed qüvvəsi tamamilə sürütmə qüvvəsinə bərabər olsun və qabarcıqların hərəkəti dayanmış olsun. Həqiqi və sərf qaz tutumlarının təqribi bərabərliyinə maye sürətinin artırılması, yəni qabarcıqların məxsusi sürət təsirinin azaldılması və ya qabarcıqların ölçüsünü azaltmaqla nail olmaq olar. Tədqiqatlarla müəyyən edilmişdir ki, mayeyə qaz qabarcıqlarının əlavə edilməsi onun hərəkət sürəti profilinin yastılaşmasına gətirib çıxarır [11,13,16]. Bu zaman borunun mərkəzi hissəsində mayenin hərəkət sürəti praktiki olaraq sabit olur və bu hal borunun divarına yaxın zonada aşağıdan yuxarı axınla müqayisədə çoxalmış olur. Bu cür vəziyyət axının aşağı sürətlərində daha xarakterik olur. Mayenin hərəkət sürəti çoxaldıqca onun qalxan və enən hərəkətləri üçün sürət profilləri arasında fərq daha az gözəçarpan olur.

Laboratoriya tədqiqatları nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, boru divarından təqribən 2 mm məsafədə mayenin 0.3 m/s sürəti üçün çox da böyük olmayan pik (artım) baş verir, sonra mayenin sürəti tədricən artmağa başlayır [11, 16]. Boruda böyük sürət qradientlərində olan zona qabarcıqlardan azad olur ki, bu da yan qüvvənin mövcudluğu ilə izah edilə bilər. Bu qüvvə boru divarından axının mərkəzinə yönəlmiş qüvvədir. Qeyd olunan müəlliflər tərəfindən qaz-maye axınlarının yuxarıdan aşağı hərəkəti üçün qaz tutumunun və Reynolds ədədinin kiçik qiymətlərində yeni təcrübə məlumatları alınmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, axına hətta az miqdar qazın əlavə edilməsi turbulent pulsasiyaları azaltmış olur. Bu halın baş vermasının qaz fazasının dispers tərkibindən xeyli asılılığı göstərilmişdir.

Qaz axını və onun daxilində olan aerosol hissəciklərinin borunun en kəsiyi boyunca sürətlərinin paylanması da maraqlıdır. Belə ki, hissəciyin yerli sürəti qazın sürəti ilə eyni olmayıb, divara yaxın hissədə daha böyük, nüvədə isə qazın sürətindən kiçik olur. Maqnuş effekti adı ilə tanınan bu hadisə

onu göstərir ki, hissəciklər qaza nisbətən ya axın istiqamətində (divar ətrafı zonada), ya da onun əks istiqamətində (axının nüvəsində) sürüşür. Fazaların sürüşməsi öz növbəsində asılı hissəciyin qaldırıcı miqrasiyasına təsir edir.

Məsələnin qoyuluşu və həlli. Son zamanlar aparılan tədqiqatlar göstərir ki, multifazalı axınlarda maddə və enerjinin en kəsik boyu ötürülməsi təkcə turbulent diffuziya hesabına baş vermir [3, 6]. Bu prosesə həmçinin mühitin istiqamətlənmiş hərəkəti də səbəb olur. Bu cür ötürmənin hərəkətverici qüvvəsi en kəsik boyu yaranan təzyiqli qradientdir. Multifazalı axınlar üçün xarakterik olan bu cür ötürmə hadisələri istər horizontal, istərsə də qravitasiyalı axınlarda fazaların qarşılıqlı təsirinə səbəb olan Bernulli qüvvəsinin hesabına baş verir:

$$F_B = 0.167 \pi d^3 dp/dr, \quad (1)$$

burada d – dispers faza hissəciyinin diametri; $0.167 \pi d^3$ – diametri d olan dispers faza hissəciyinin (qaz qabarcığının) həcmi; dp/dr – axının en kəsiyi boyu təzyiqli qradientidir.

Axının kənarlarından onun oxuna doğru təcillə hərəkət edən hissəciklər mərkəzə çatdıqca xeyli zəif sürətdə malik olur. Buna baxmayaraq axının nüvəsində onların dayanıqlı hərəkəti baş vermiş olur. Axının en kəsiyi boyu ötürmə hərəkəti uzunluq boyu təzyiqli qradientinin təsiri altında, mühitin hərəkəti fonunda baş verir. Orta sərf sürətinin çoxalması ilə axının turbilizasiyası da artır. Ona görə ki, sürətin çoxalması ilə en kəsik boyu təzyiqli qradienti (dp/dr) axın boyu olan təzyiqli qradientdən (dp/dl) fərqli olaraq sürətlə, aşağıdakı ifadəyə uyğun olaraq artır [6]

$$dp/dr = 16 \rho_m u^2 \alpha (1 - \alpha^2) / D, \quad (2)$$

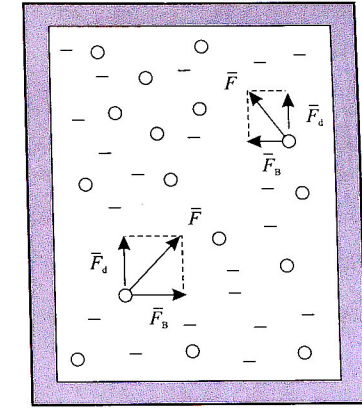
burada ρ_m – daşıyıcı maye fazanın sıxlığı; $\alpha = r/R$ – en kəsik boyu şərti koordinat; u – axının orta sərf sürətidir.

Diametri D olan şaquli boruda multifazalı qaz-maye axınında diametri d olan qaz hissəciyinin (qabarcığının) aparıcı faza ilə qarşılıqlı təsiri belə baş verir: aşağıdan yuxarı hərəkət zamanı dinamik təzyiqli təsirdən boru divarına yaxın olan qaz qabarcıqları digər qabarcıqlar kimi təcilli hərəkət edir. Bu zaman fazaların sürüşməsi halı da baş verə bilər. Formalaşan qradient-sürət sahəsinin gərginliyindən asılı olaraq aşağıdakı hallar mövcud ola bilər:

– $dp/dr < (\rho_m - \rho_q)g$ boru səthinə yaxın olan (qaz qabarcıqları) axının sürətilə öz yerlərini en

kəsik boyu dəyişməyərək hərəkətini davam etdirir (ρ_q – qazın sıxlığı).

– $dp/dr > (\rho_m - \rho_q)g$. Bu halda boru divarına yaxın yerləşən qabarcıqlar axının mərkəzinə doğru istiqamətlənmiş Bernulli qüvvəsinin təsiri altında olacaqlar. Həmin hissəciklərin hərəkət istiqaməti sxematik olaraq şəkil 2-də təsvir edilmişdir.



Şəkil 2. Bernulli və dinamik təzyiqli qüvvələrinin aşağıdan yuxarı axında sxematik təsviri

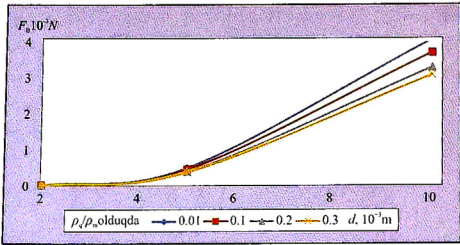
Göründüyü kimi, Bernulli (F_B) və dinamik təzyiqli (F_d) qüvvələrinin əvəzləyicisi olan F qüvvəsinin təsirdən boru divarına yaxın olan qaz qabarcıqları sürətini artıraraq axının mərkəzinə doğru hərəkət edir. Hissəcik axının oxu boyu rəqsi hərəkətə məruz qalmaqla müəyyən vaxtdan sonra dayanıqlı vəziyyətdə axının nüvəsi ilə hərəkətini davam etdirir. Şübhəsiz ki, qaz qabarcıqlarının bu cür miqrasiyası zamanı onların bir-biri ilə toqquşması ehtimalı artdığı üçün birləşərək böyüməsi – iri qaz qabarcıqlarına çevrilməsi də daha intensivləşmiş olur.

Silindrik axınlar üçün yuxarıda qeyd olunan tarazlıq şərtinə əsasən Bernulli qüvvəsinin qiymətləndirilməsi üçün (1) tənliyini aşağıdakı kimi yazmaq

$$F_B = 0.167 \pi d^3 (\rho_m - \rho_q)g. \quad (3)$$

Sonuncu tənlikdən göründüyü kimi, qaz qabarcıqlarının diametrinin artması ilə boru divarından axının oxuna doğru yönəlmiş bu qüvvə daha intensiv çoxalır. Qazın sıxlığının təzyiqli hesabına çoxalması isə həmin qüvvəni azaltmış olur. Yəni fazaların sıxlıqları fərqi çoxaldıqca Bernulli qüvvəsinin qiyməti də artacaqdır. Məsələn $d = 10$ mm, $\rho_q = 10$ kq/m³ və $\rho_m = 800$ kq/m³ olan hal üçün

Bernulli qüvvəsinin qaz qabarcığının diametrindən və fazaların sıxlıqları nisbətindən asılılıqları diametrin 2.5 və $10 \cdot 10^{-3}$ m qiymətləri üçün şəkil 3-də göstərilmişdir.



Şəkil 3. Bernulli qüvvəsinin qaz qabarcıqlarının diametrindən asılılığı

Qaz qabarcıqlarının d və borunun məlum diametrinə D əsasən qabarcıqların axının nüvəsinə daşınmasının hansı sürətdə baş verməsini də hesablamaq olar.

Bu məqsədlə yuxarıda qeyd olunan tarazlıq şərtinə uyğun olaraq yazmaq olar:

$$16 \rho_m u^2 \alpha (1 - \alpha^2) / D = (\rho_m - \rho_q) g. \quad (4)$$

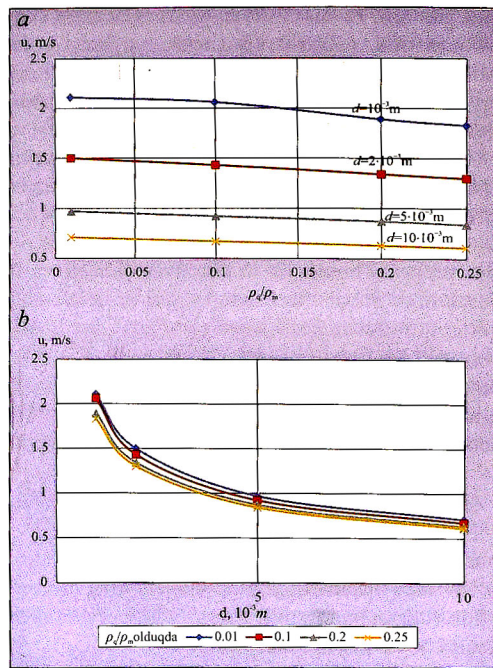
Sonuncu ifadədən daşınma sürətinin qiymətini hesablamaq üçün aşağıdakı ifadəni alarıq

$$u = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{(\rho_m - \rho_q) g D}{\rho_m \alpha (1 - \alpha^2)}} = \frac{1}{4} \sqrt{\left(1 - \frac{\rho_q}{\rho_m}\right) \frac{g D}{\alpha (1 - \alpha^2)}}. \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{r}{R} = \frac{D - d}{D} \text{ olduğunu (5) ifadəsində nəzərə alsaq, sadə çevrilmələrdən sonra yazırıq}$$

$$u = \frac{1}{4} \sqrt{\left(1 - \frac{\rho_q}{\rho_m}\right) \frac{g D}{\frac{d}{D} \left(1 - \frac{d}{D}\right) \left(2 - \frac{d}{D}\right)}}. \quad (6)$$

Sonuncu ifadəyə əsasən $\rho_m = 8000 \text{ kq/m}^3$ və $D = 0.12 \text{ m}$ qiymətləri üçün hesablamalar aparılmış və daşınma sürətinin fazaların sıxlıqları nis-



Şəkil 4. Daşınma sürətinin fazaların sıxlıqları nisbətindən (a) və qaz qabarcıqlarının diametrindən (b) asılılığı

bətindən ρ_q / ρ_m və qabarcıqların diametrindən d asılılıqları qurulmuşdur (şəkil 4).

Şəkil 4-dən göründüyü kimi, qabarcıqların diametri və fazaların sıxlıqları nisbətinin çoxalması ilə, qaz qabarcıqlarının (dispers fazanın) axının mərkəzinə daşınma sürətinin xeyli azalması ən çox qabarcıqların diametrinin çoxalması ilə baş verir. Başqa sözlə, disperslik dərəcəsinin azalması ilə dispers fazanın axının mərkəzinə miqrasiyası nisbətən aşağı sürətlərdə də mümkündür.

Nəticə

Şaquli multifazlı axınların struktur rejimlərinin formalaşması qaldırıcı borularda uzunluq (hündürlük) boyu təzyiğin düşməsi və qazın ayrılması ilə yanaşı, qaldırıcının en kəsiyi boyu dəyişən təzyiqli qradientinin yaratdığı Bernulli qüvvəsinin təsirindən qaz qabarcıqlarının axının nüvəsinə miqrasiyası hesabına da formalaşır. Odur ki, üfüqi axınlarda olduğu kimi, şaquli axınlar üçün də hidrodinamik hesablamalar zamanı fazaların qarşılıqlı təsirinə nəzərə alınması vacibdir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Гриценко А.И., Кляпчук О.В., Харченко Ю.А. Гидродинамика газожидкостных смесей в скважинах и трубопроводах. – М.: Недра, 1994, 238 с.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. – М.: Наука, 1986, 736 с.
3. İsmayilov Q.Q., İsmayilova F.B., İskəndərov E.X. Neftqazçıxarmada multifazlı texnologiyalar. – Bakı: Elm, 2018, 248 s.
4. İsmayilov Ş.Z., Süleymanov A.Ə., Novruzova S.H. və b. Neft və qazın quyusu ilə çıxarılması texnologiyası. – Bakı: Elm, 2022, 537 s.
5. Ключев Н.И., Соловьева Е.А. Математические модели двухфазных течений. – Самара: Изд. Самарский университет, 2010, 51 с.
6. Ситенков В.Т. Теория градиентно – скоростного поля. – М.: ОАО “ВНИИОЭНГ”, 2004, 308 с.
7. Oshinovo T., Charles M.E. Vertical two-phase flow: Pt 2. Holdup and pressure drop // The Canadian J. of Chem. Eng., 1974, v. 52, pp. 438-448.
8. Ганчев Б.Г., Пересадыко В.Г. Процессы гидродинамики и теплообмена в опускающих пузырьковых потоках // ИФЖ, 1985, т. 49, No. 2, с. 181-189.
9. Горелик Р.С., Кашинский О.Н., Накоряков В.Е. Исследование опускающего пузырькового течения в вертикальной трубе // Прикладная механика и техническая физика, 1987, № 1, с. 69-73.
10. Wang S.K., Lee S.J., Jones O.S. Jr, Lahey R.T. Jr. 3-D turbulence structure and phase distribution measurements in bubbly two-phase flows // Intern. J. Multiphase Flow, 1987, v. 13, No. 1, pp. 327-343.
11. Kashinsky O.N., Randin V.V. Downward bubbly gas-liquid flow in vertical pipe. // Int. J. Multiphase Flow/ 1999, v. 25, No. 1, pp. 109-138.
12. Hibiki T., Coda H., Kim S., Ishii M., Uhle J. Experimental study on interfacial area transport of a vertical downward bubbly flow // Experiments in Fluids, 2003, v. 35, pp. 100-111.
13. Sun X., Paranjape S., Kim S., Ozar B., Ishii M. Liquid velocity in upward and downward air-water flows // Annals Of Nuclear Energy, 2004, No. 31, pp. 357-373.
14. Sun X., Paranjape S., Ishii M., Uhle J. LDA measurements in air-water downward flow // Exp. Thermal and Fluid Science, 2004, v. 28, pp. 317-328.
15. Лобанов П.Д., Пахомов М.А. Исследование структуры опускающего течения // Докл. молодеж. конференции. Устойчивость и турбулентность течений гомогенных и гетерогенных жидкостей, 2005, Вып. 10, с. 114-118.
16. Кашинский О.Н., Рандин В.В., Лобанов П.Д., Чимитов Т.Д. Опускное пузырьковое течение при малых расходных газосодержаниях // Теплофизика и аэромеханика, 2004, т. 11, № 4, с. 619-625.
17. Накоряков В.Е., Бурдуков А.П., Кашинский О.Н., Гешев П.И. Электродиффузионный метод исследования локальной структуры турбулентных течений. – Новосибирск: Ин-т теплофизики, 1986, 247 с.

References

1. Gritsenko A.I., Klapchuk O.V., Kharchenko Yu.A. Hidrodinamika gazozhidkostnykh smesey v skvazhinakh i truboprovodakh. – M.: Nedra, 1994, 238 s.
2. Landau L.D., Lifshchits E.M. Hidrodinamika. – M.: Nauka, 1986, 736 s.
3. İsmayilov G.G., İsmayilova F.B., İskenderov E.Kh. Neftqazçıxarmada multifazlı texnologiyalar. – Bakı: Elm, 2018, 248 s.
4. İsmayilov G.G., Süleymanov A.A., Novruzova S.H. və b. Neft və qazın quyusu ilə çıxarılması texnologiyası. – Bakı: Elm, 2022, 537 s.
5. Klyuchev N.I., Solov'yova E.A. Matematicheskie modeli dvukhfaznykh techeniy. – Samara: Izd. Samarskiy universitet, 2010, 51 s.
6. Sitenkov V.T. Teoriya gradientno-skorostnogo polya. – M.: ОАО “ВНИИОЭНГ”, 2004, 308 с.
7. Oshinovo T., Charles M.E. Vertical two-phase flow: Pt 2. Holdup and pressure drop // The Canadian J. of Chem. Eng., 1974, v. 52, pp. 438-448.
8. Ganchev B.G., Peresad'ko V.G. Protsessy gidrodinamiki i teploobmena v opusknykh puzyr'kovykh potokakh // IFZH, 1985, t. 49, No. 2, s. 181-189.
9. Gorelik R.S., Kashinsky O.N., Nakoryakov V.E. Issledovanie opusknykh puzyr'kovogo techeniya v vertikal'noy tube // Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika, 1987, No 1, s. 69-73.
10. Wang S.K., Lee S.J., Jones O.S. Jr, Lahey R.T. Jr. 3-D turbulence structure and phase distribution measurements in bubbly two-phase flows // Intern. J. Multiphase Flow, 1987, v. 13, No. 1, pp. 327-343.
11. Kashinsky O.N., Randin V.V. Downward bubbly gas-liquid flow in vertical pipe // Int. J. Multiphase Flow / 1999, v. 25, No. 1, pp. 109-138.
12. Hibiki T., Coda H., Kim S., Ishii M., Uhle J. Experimental study on interfacial area transport of a vertical downward bubbly flow // Experiments in Fluids, 2003, v. 35, pp. 100-111.
13. Sun X., Paranjape S., Kim S., Ozar B., Ishii M. Liquid velocity in upward and downward air-water flows // Annals Of Nuclear Energy, 2004, No. 31, pp. 357-373.
14. Sun X., Paranjape S., Ishii M., Uhle J. LDA measurements in air-water downward flow // Exp. Thermal and Fluid Science, 2004, v. 28, pp. 317-328.
15. Lobanov P.D., Pakhomov M.A. Issledovanie struktury opusknykh techeniy // Dokl. molodezh. konferentsii. Ustoichivost' i turbulentnost' techeniy gomogennykh i geterogennykh zhidkostey, 2005, vyp. 10, s. 114-118.
16. Kashinsky O.N., Randin V.V., Lobanov P.D., Chimitov T.D. Opusknoye puzyr'kovoye techenie pri malykh raskhodnykh gazosoderzhaniyakh // Teplofizika i aeromekhanika, 2004, t. 11, No 4, s. 619-625.
17. Nakoryakov V.E., Burdukov A.P., Kashinsky O.N., Geshev P.I. Elektrodifuzionnyy metod issledovaniya lokal'noy struktury turbulentnykh techeniy. – Novosibirsk: In-t teplofiziki, 1986, 247 s.