

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

NEFT-QAZ KƏMƏRLƏRİNDƏ XÜSUSİ AXIN HALLARININ DİAQNOSTİKASI VƏ TƏNZİMLƏNMƏSİ

İxtisas: 3354.01 – “Neft-qaz kəmərlərinin,
bazalarının və anbarlarının tikilməsi və
istismarı”

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Məhəmməd Fuad oğlu Şükürlü**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

BAKİ – 2026

Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti PHŞ-nin "Neftin, qazın nəqli və saxlanması" kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər:

Texnika elmləri doktoru, professor
Elman Xeyrulla oğlu İskəndərov

Rəsmi opponentlər:

Texnika elmləri doktoru
Vəli Xanağa oğlu Nurullayev

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Mübariz Maşallah oğlu Quliyev

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru
Teymur Vaqif oğlu Cəfərov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti PHŞ-nin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.03 Dissertasiya şurası.

Dissertasiya şurasının
sədr müavini:



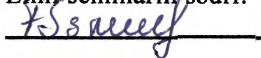
AMEA-nın müxbir üzvü, texnika
elmləri doktoru, professor
Qarib İsaq oğlu Calalov

Dissertasiya şurasının
elmi katibi:



Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Yelena Yevgenyevna Şmonçeva

Elmi seminarın sədri:



Texnika elmləri doktoru, dosent
Fidan Babəli qızı İsmayılova

İmzaları təsdiq edirəm:

ADNSU-nun Elmi katibi



Texnika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
İnqilab Namiq oğlu Əliyev



İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

İşin aktuallığı. Təcrübə göstərir ki, neftin, qazın çıxarılması, yığılması və nəqli prosesləri müxtəlif relyef və termobarik şəraitdə baş verməklə yanaşı, axının çox müxtəlif formaları və strukturları ilə müşahidə olunur. Neft-mədən praktikasında mono və multifazalı axınlar quyu-yığım sistemində geniş yayılmış axın formalarıdır. İstər mono, istərsə də multifazalı axınlar üçün laminar və turbulent hərəkət rejimləri mövcud olur. Hər iki axın formasının hidrodinamikası kifayət qədər geniş tədqiqat obyektinə olub və öyrənilib. Buna baxmayaraq təcrübə göstərir ki, neft və qaz kəmərlərində mono və multifazalı axınlarda xüsusi axın halları da mövcud olur ki, bu cür axın hallarına diqqətin artırılması vacibdir. Dinamik yüklər, hidravlik zərbələrlə müşahidə olunan axınlar, kavitasialı, obliterasiyalı laminar axınlar, laminar axınların başlanğıc hissəsi, yüksək təzyiqlər fərqi olan axınlar bu cür axın hallarına aiddir. Qeyd etmək lazımdır ki, bu cür xüsusi axın hallarının texnoloji mədən kəmərlərində istismar zamanı müəyyən hallarda da formalaşması mümkündür.

Qeyd olunan xüsusi axın hallarının diaqnostikası, hidrodinamik baxımdan araşdırılması və tənzimlənməsi məsələləri elmi və praktik cəhətdən əhəmiyyət kəsb etdiyindən xeyli aktualdır. Bu cür axın hallarının dinamikasının araşdırılması, hidravlik xüsusiyyətlərinin nəzərə alınması neft-qazçıxarmada və karbohidrogenlərin nəqli zamanı texnoloji proseslərin səmərəliliyinin artırılması və avadanlıqların təhlükəsizliyi ilə bağlı problemlərin həlli üçün vacibdir.

Tədqiqatın obyektinə və predmetinə. Tədqiqatın obyektinə neftin, qazın yığılması və nəqli zamanı formalaşan xüsusi axın formaları, predmetinə isə onların diaqnostikası və tənzimlənməsi üsullarının işlənməsi təşkil edir.

Tədqiqatın məqsədi. Xüsusi axın hallarının diaqnostikası və tənzimlənməsi əsasında neft-qaz kəmərlərinin istismar səmərəliliyi və etibarlılığının artırılmasıdır.

Tədqiqatın əsas məsələləri.

1. Neft-qaz kəmərlərində axın formaları və istismar çətinliklərinin təhlili;

- 2.Xüsusi axın hallarının araşdırılması;
- 3.Laminar axınlarda sürət-sərf xarakteristikalarının diaqnostikası;
- 4.Multifazalı axınlarda dinamik yüklər;
- 5.Kondensatın boruda yığılmasının nəql təzyiqinə təsirinin tədqiqi;
- 6.Kavitasialı axınlar və struktur dəyişikliklərinin diaqnostikası;
- 7.Dinamik yüklərin və kavitasialı axınların tənzimlənməsi;
- 8.Boru kəmərinə hidravlik zərbələrin diaqnostikası və tənzimlənməsi;
- 9.Multifazalı axın zonalarının tənzimlənməsi;
- 10.Obliterasiyalı laminar axınların hidravlik araşdırılması;
- 11.Laminar axınların stabiləşmə zonasının diaqnostikası.

Tədqiqatın üsulları. Dissertasiyada qoyulan məsələlər nəzəri və təcrübi yolla, neft və qazın nəqlini təmin edən boru kəmərlərinin faktiki istismar məlumatlarının, istismar çətinliklərinin və təcrübi göstəricilərinin riyazi üsullarla emalı, kompüter və proqram vasitələrindən istifadə olunmaqla öz həllini tapmışdır.

Elmi yeniliklər.

- 1.Kavitasialı axınlarda struktur dəyişiklikləri və böhran parametrlərinin diaqnostikası üsulu işlənmişdir;
- 2.Multifazalı axınlarda axının yeni fiziki modeli nəzərə alınmaqla dinamik yüklərin qiymətləndirilməsi metodu işlənmişdir;
- 3.Nəql parametrlərinə əsasən multifazalı axın zonasının diaqnostikası və tənzimlənməsi üsulları işlənmişdir;
- 4.Multifazalı axınlarda hidravlik zərbələrin qiymətləndirilməsi və tənzimlənməsi üsulu təklif olunmuşdur.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar.

- 1.Kavitasialı axınlarda struktur dəyişiklikləri və böhran parametrlərinin diaqnostikası üsulu;
- 2.Multifazalı axınlarda dinamik yüklərin qiymətləndirilməsi və paylanması üsulları;
- 3.Multifazalı axın zonalarının diaqnostikası və tənzimlənməsi üsulları;
- 4.Hidravlik zərbələrin diaqnostikası və tənzimlənməsi üsulları.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Multifazalı axınlarda yaranan dinamik yüklər axının struktur forması və hansı fazanın aparıcı (dispers mühit) olmasından asılı olaraq əhəmiyyətli hidravlik zərbə dalğaları ilə müşahidə oluna və dağıdıcı təsir göstərə bildiyindən dinamik yüklərin diaqnostikası və tənzimlənməsi üsulları çox əhəmiyyətlidir.

Mədən neft və qaz kəmərlərinin vaxtından tez sıradan çıxmasına səbəb olan mühüm amillərdən olan kavitasiyalı axınların diaqnostikası və tənzimlənməsi üçün işlənmiş üsulun elmi və praktiki əhəmiyyəti böyükdür.

Nəql parametrlərinin tənzimlənməsi əsasında neft kəmərlərində yaranan multifazalı axın zonalarının sayının və yerinin təyini üçün işlənən diaqnostika üsulu şərti neft kəməri təmsalında sınaqdan çıxarılmış və multifazalı axın zonalarının tənzimlənməsinin mümkünlüyü göstərilmişdir. İşlənən metodika həmin zonaların yaranmasının qarşısını almağa imkan verdiyi üçün praktiki əhəmiyyət kəsb edir.

Müəllifin şəxsi iştirakı. Dissertasiyada əks olunmuş praktik nəticələr müəllif tərəfindən yerinə yetirilmişdir. Məsələnin qoyuluşu, işlərin aparılması, nəticələrin təhlili, sistemləşdirilməsi və ümumiləşdirilməsi müəllifin iştirakı ilə yerinə yetirilmişdir.

Aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiya işinin əsas müddəaları aşağıdakı beynəlxalq və yerli nüfuzlu konfrans və seminarlarda müzakirə olunmuş və bəyənilmişdir:

1. XVIII Международная научно-практическая конференция «Трубопроводный транспорт – 2023», Уфа, 16–17 ноября, 2023;

2. Международная научно-техническая конференция «Транспорт и хранение углеводородного сырья», посвященная 60-летию ТИУ, Тюмень, 4–5 июня, 2024;

3. COP-29 Side Event – The Sixth Eurasian Conference RISK-2024 «Innovations in Minimization of Natural and Technological Risks of Climate Changes: Methodology and Practice», Baku, 27–29 November, 2024;

4. XVII Международная конференция «Рассохинские чтения – 2025», Ухта, 6–7 февраля, 2025;

5.7th Eurasian Conference on «Risk-oriented Design and Operation of Infrastructure Systems: Sustainability Paradigm», Baku, 21–23 October, 2025;

6.XI Международная научно-техническая конференция, посвященная памяти проф. В.К. Липского, Новополюцк, 27–28 ноября, 2025.

İşin dərc olunması. Dissertasiya işinin əsas məzmunu 16 məqalə və konfrans materiallarında dərc olunmuşdur.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işinin strukturunu giriş (14 485 işarə), I Fəsil – (25 351 işarə), II Fəsil – (22 300 işarə), III Fəsil – (31 476 işarə), IV Fəsil – (84 104 işarə), nəticə (1 723 işarə), istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı və əlavələr təşkil edir. Dissertasiya işinin ümumi həcmi 13 şəkil, 27 qrafik, 12 cədvəl, 152 adda ədəbiyyat siyahısı olmaqla mətni kompüterdə yazılmış 156 səhifə, şəkillər, cədvəllər, qrafiklər və ədəbiyyat siyahısı istisna edilməklə 179 439 işarədən ibarətdir.

Müəllif dəstəyə görə dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti PHŞ-nin «Neftin, qazın nəqli və saxlanması» kafedrasının əməkdaşlarına və dəyərli tövsiyələrinə görə elmi rəhbəri, t.e.d., professor E.X.İskəndərova minnətdarlığını bildirməyi özünə borc bilir.

Müəllif, həmçinin dissertasiyada məsələlərin qoyuluşu, həlli və müzakirəsi zamanı verdiyi məsləhətlərə görə t.e.d., professor Q.Q.İsmayılova və t.e.d., dosent F.B.İsmayılovaya minnətdarlığını bildirir.

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə dissertasiya işinin aktuallığı əsaslandırılmış, məqsədi və həll olunmuş əsas məsələlər verilmiş, elmi yeniliyi, təcrübə əhəmiyyəti, müdafiə olunan əsas müddəalar qeyd edilmiş və qısa şəkildə işin məzmunu açıqlanmışdır.

Birinci fəsil neft-qaz kəmərlərində axının xüsusi hallarının araşdırılması və baş vermə səbəblərinin təhlilinə həsr olunmuşdur. Belə ki, kavitasialı, obliterasiyalı, hidravlik zərbələrlə müşayiət

olunan axınlar, bu axınların yaranma mexanizmləri, diaqnostikası və tənzimlənməsi metodları vurğulanmışdır.

Məlumdur ki, boru kəmərlərində mayələrin hərəkəti zamanı bəzi hallarda onların aqreqat halının dəyişilməsi baş vermiş olur. Yəni mayenin buxara çevrilməsi, həmçinin mayedə həll olmuş qazın ayrılması hadisəsi baş verir. Misal üçün mayenin axması zamanı borunun yerli daralma yerindən keçdikdə onun sürəti artır, təzyiqi isə azalmış olur. Əgər bu zaman mütləq təzyiq verilən temperaturda buxar elastikliyi təzyiqinə çatırsa və yaxud mayedən qazın ayrılma təzyiqinə (doymuş buxar təzyiqinə) bərabər olursa, onda borunun (axının) bu yerində intensiv olaraq buxar əmələ gəlməsi (qaynaması) və qaz ayrılması baş verir. Borunun genişlənən yerində axının sürəti azalır və təzyiq çoxalmış olur və qazın, buxarın ayrılması prosesi dayanır. Ayrılan qaz yenidən tədricən mayedə həll olunur. Qaz və buxar qabarcıqlarının (boşluqlarının) əmələ gəlməsi ilə müşahidə olunan axının səltliyinin yerli pozulması halı, hansı ki, təzyiqin yerli düşməsi ilə yaranmış olur, kavitasiya adlanır. Belə axın isə kavitasiyalı axın hesab olunur. Kavitasiyalı axınların yaranması və xarakteristikası şərh olunmuş, bu cür axınların arzuolunmaz hal olduğunu nəzərə alaraq onların boru kəmərlərində və digər hidrosistemlərdə yaranmasının yolverilməzliyi göstərilmişdir. Kavitasiyalı axınların diaqnostikası və tənzimlənməsinin vacibliyi göstərilmişdir.

Mayələrin kapillyardan və kiçik aralıqlardan axması zamanı hərdən elə hallar da ola bilər ki, hidravlikanın qanunları ilə izah mümkün olmur. Belə ki, bu cür axınlar zamanı vaxt keçdikcə, baxmayaraq ki, təzyiqlər fərqi və axan mayenin fiziki xüsusiyyətləri dəyişməz qalır, mayenin sərfi azalır. Hətta elə hallar da olur ki, mayenin bu cür hallarda hərəkəti tam dayanmış olur. Bu hadisə obliterasiya adlanır və qeyd olunan axın halı obliterasiyalı axın hesab edilir. Obliterasiyanın baş verməsi hal-hazırda onunla izah olunur ki, müəyyən hallarda kanalın en kəskin sahəsi azalır. Azalmanın səbəbini isə mayenin polyar aktiv molekullarının səthdə adsorbsiyası (çökməsi) ilə izah etməyə çalışırlar. Bu cür adsorbsiya qatının qalınlığı yağlar üçün bir neçə mikrometr təşkil edə bildiyi üçün axının en kəskin sahəsini xeyli azalda, hətta tam bağlaya bilər.

Neftqazçıxarmada və karbohidrogenlərin nəqli praktikasından yaxşı məlumdur ki, boru kəmərlərində mono və ya multifazlı axının qarşısını ani olaraq kəsdikdə və ya hərəkət sürətini ani olaraq dəyişdikdə təzyiqin kəskin olaraq dəyişməsi prosesi baş verir. Boru kəmərlərində təzyiq dalğalarının yaranması və yayılması ilə müşahidə olunan bu cür hidravlik zərbələr nəticəsində nəql olunan mühitin az da olsa sıxılması və xüsusiyyətlərinin dəyişilməsi texnoloji proseslərə olan təsirinin nəzərə alınması, ümumiyyətlə avadanlıqların təhlükəsiz və səmərəli işləməsinin təmini baxımından çox vacibdir. Odur ki, hidravlik zərbələr kimi dinamik proseslərin düzgün diaqnostikası və qiymətləndirilməsi, həmçinin vaxtında qarşısının alınması üçün elmi və praktiki cəhətdən əsaslandırılmış tədbirlərin görülməsi əhəmiyyət kəsb edir.

Neft-mədən praktikasında hidravlik zərbələrlə müşahidə olunan çoxlu sayda texnoloji prosesləri misal göstərmək olar. Ümumiyyətlə, maye və qazın ayrı-ayrılıqda və ya multifaza şəklində hidravlik sistemlə, o cümlədən siyirtmələrlə qarşılıqlı təsirinə aid zərbə prosesinin fizikasının təsviri və yaranan əlavə təzyiqin qiymətləndirilməsinə həsr olunmuş bir sıra işlər mövcuddur. Buna baxmayaraq bu zərbələrdən müdafiə üsulları, demək olar ki, geniş şəkildə işıqlandırılmayıb. Nəzərə almaq lazımdır ki, mayenin (qazın) boru kəməri ilə nəqli parametrlərinin istənilən dəyişməsi (artması və ya azalması) hidravlik zərbə hesab oluna bilər. Bu dəyişmələr yavaş və tez (sürətlə) baş verə bilər. Zərbənin səbəbi isə siyirtmənin sürətlə açılıb-bağlanması, nasosun işə salınması və ya işdən saxlanılması, nəql olunan məhsulun ətraf mühitə yayılması ilə müşahidə olunan boru kəmərinin dağılması və s. kimi hallar ola bilər. Hidravlik zərbələrin nəticəsi kimi təzyiqin artması ilə yanaşı, azalması da baş verə bilər. Bu cür hallarda sistemdə təzyiqin dəyişməsi ona (sistemə) olan təsir sürətinə uyğun olaraq baş vermiş olacaqdır. Belə ki, siyirtmənin ani olaraq bağlanması zamanı yaranan hidravlik zərbə müsbət, ani açılması isə mənfi olacaqdır. Bu cür zərbələrdən ən qorxulusu məhz müsbət zərbələr hesab edilir. Müsbət zərbələr zamanı hətta sıxılmayan mayeni belə sıxılan mühit kimi qəbul etmək lazımdır. Hidravlik zərbə borularda uzununa çatların yaranmasına və kəmərin

digər elementlərinin də zədələnməsinə səbəb ola bilər. Bu sıraya həm də istilik dəyişdiriciləri, nasoslari və təzyiq altında işləyən digər qab və avadanlıqları da aid etmək olar.

Təcrübə göstərir ki, boru kəmərlərində hava və ya qaz tıxaclarının olması da tez-tez hidravlik zərbələrin yaranmasına səbəb olan əsas amillərdən hesab olunur. Multifazalı axınlarda fazaların sıxlıqlarının müxtəlif olması, struktur rejim formalarının dəyişməsi zamanı yaranan dinamik yüklər, hansı ki, ən çox kəmərin döngələrində və sürətin istiqamətinin dəyişdiyi yerlərdə baş verir, hidravlik zərbələrlə müşahidə olunur. Təzyiqin və axının sürətinin dəyişməsi bu cür hallarda dalğavari olmaqla əlavə gərginliklər yaratmış olur. Təzyiq basqısı və sürət sistemdə həm kəskin arta, həm də azala bilər. Boru kəmərlərinin düzgün olmayan hidravlik rejimi, bir kəsikdən digərinə ani keçidlərin olması praktikası göstərir ki, məhz bu yerlərdə yaranan hidravlik zərbələr daha qorxulu olur və güclü zərbə dalğaları yarana bilər. Əgər yaranan təzyiq sistemdə buraxıla bilən təzyiqdən çox olarsa, onda həmin yerdə kəmərin bütövlüyünün pozulması halı da baş verə bilər.

Hidravlik zərbənin qiyməti sistemə təsir sürəti və təsir yerindən olan məsafədən asılıdır və boru kəmərinin uzunluğu boyu zərbə təzyiqinin parametrlərinin paylanması təhlili hidravlik zərbələrdən sistemin qorunma üsulu və taktikasının seçilməsinə imkan verir.

Müxtəlif axın halları üçün xarakterik kəmiyyətlər və onların qiymətləndirilməsi məsələləri araşdırılmış və sistemləşdirilmişdir. Məlumdur ki, maye sıxılmayan və axın qərarlaşmış olduqda, belə axınları xarakterizə edən əsas kəmiyyətlər mayenin axın sürəti və təzyiq qradientidir. Sıxılan və sıxılmayan mayələr üçün müvazinət şərtləri nəzərə alınmaqla axın zamanı yaranan təzyiq, ətalət və ağırlıq qüvvələrinin nisbəti ayrı-ayrı axın halları üçün araşdırılmışdır. Hidrodinamikada geniş istifadə olunan ölçüsüz parametrlər müxtəlif reoloji xüsusiyyətə malik olan mayələr (sistemlər) üçün axın hallarının tədqiqi və qiymətləndirilməsi üçün sistemləşdirilmişdir. Həmçinin, fazaların qarşılıqlı təsiri və axının yeni fiziki modeli nəzərə alınmaqla multifazalı axınlar üçün qradient-sürət sahəsinin formalaşdırıldığı

Bernulli qüvvəsinin hidrodinamik araşdırılmalar zamanı nəzərə alınmasının vacibliyi qeyd edilmişdir¹.

Hidrodinamikadan məlum olan özlü mayelərin boru kəmərinə qərarlaşmış axını üçün mayeyə təsir edən qüvvələrin borunun oxu paylanması və bu təsirləri qiymətləndirmək üçün istifadə olunan əsas meyarlar vurğulanmışdır. Sürtünmə, təzyiq və ətalət qüvvələri uyğun olaraq özlülük, təzyiq qradienti və mayenin sıxlığı kimi parametrlərin müqayisəsini xarakterizə edən ölçüsüz kəmiyyətlərlə ifadə olunur. Ölçülər nəzəriyyəsinə görə boruda mayenin hərəkətini müəyyənləşdirən kəmiyyətlərin sayını əsas ölçülü kəmiyyətlər olan kütlə, uzunluq və zaman qədər azaltmağın mümkünliyünü nəzərə alaraq, silindrik axınları xarakterizə etmək üçün hidrodinamik oxşarlıq meyarlarının sistemə kompleks təsiri məsələsi qeyd olunmuşdur. Bundan əlavə, axının en kəsiyi boyu sabit qalan statik təzyiq yox, tam təzyiqdir, yəni statik və sürət təzyiqlərinin cəmi olması halı təsvir olunmuşdur. Odur ki, baxılan halda axının yeni fiziki modelinə uyğun olaraq en kəsik boyu statik təzyiq və təzyiq qradienti dəyişir.

İkinci fəsildə özlü və özlü-plastik mayelərin borularda laminar axınının hidravlik xüsusiyyətləri və stasionar rejimə keçid prosesi tədqiq edilmişdir. Belə ki, neft-mədən praktikasında müxtəlif reoloji xassəyə malik mayelərin laminar axın rejimi geniş yayılmış hərəkət formalarından biridir. Digər tərəfdən boruda mayelərin hərəkətə başladığı andan müəyyən vaxt tələb olunur ki, axının stasionarlığı, yəni onun parametrlərinin vaxtdan asılı olmaması təmin olunsun.

İstər Nyuton, istərsə qeyri-nyuton mayelərin laminar axını zamanı stasionar xarakteristikanın diaqnostikası məsələləri xüsusi aktualıq kəsb edir. Bu cür axınlar zamanı sürət-sərf xarakteristikalarının mayenin reoloji xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla müəyyən edilməsi hidravlik meyarların işlənməsi üçün çox vacibdir.

Neftqazçıxarmada texnoloji proseslərin idarə olunması və səmərəliliyinin artırılmasının bir çox məsələləri müxtəlif reoloji və fiziki-kimyəvi xassələrə malik homogen və heterogen mayelərin çıxarılması, yığılması və nəqli zamanı onların borularda hərəkətinin

¹ İsmayılov, Q.Q. Nəql fenomeni: Dərslik / Q.Q.İsmayılov, E.X.İskəndərov, F.B.İsmayılova. – Bakı: ADNSU, – 2021. – 212 s.

müxtəlif formalara və hidravlik xüsusiyyətlərə malik olması ilə sıx bağlıdır. Boruların hesablanması, rejim parametrlərinin düzgün proqnozlaşdırılması məsələsi də öz növbəsində mayelərin reoloji xüsusiyyətlərindən asılı olaraq onların stasionar xarakteristikalarının diaqnostikasını tələb edir.

Nəql olunan mayelərin multi-komponentli və multifazalı olması onların hidravlik xüsusiyyətlərini homogen sistemlərlə müqayisədə xeyli mürəkkəbləşdirir. Bu cür sistemlərin nəqli zamanı enerji xərcləri çoxalır və müxtəlif strukturlu hərəkət formalarının olması onların hidrodinamik hesablamalarını xeyli çətinləşdirmiş olur.

Aşağıda adi və qeyri-nyuton mayelər üçün laminar axınlarda borunun en kəsiyi boyu sürətin paylanması və sərfin təyininin reoloji amillər nəzərə alınmaqla hansı qanunauyğunluqlarla dəyişməsi araşdırılmışdır. Stasionar iş rejiminə çıxış vaxtının müəyyən edilməsi və bu vaxtın hansı parametrlərdən asılılığı məsələlərinə baxılmışdır.

Bu məqsədlə boru kəmərinə sərfin təyini üçün alınmış ifadədən istifadə edilmiş və sərlərin nisbətinin zamandan asılı dəyişməsi özlü və özlü-plastik stasionar axınlar üçün uyğun olaraq aşağıdakı kimi olmuşdur.

$$\frac{Q}{Q_{st}} = \left(1 - e^{-\frac{8v}{R^2}t}\right) \quad (1)$$

$$Q/Q_{st} = 1 - e^{-\frac{8v \cdot t}{R^2 \cdot \left(1 - \frac{4}{3} \frac{r_0}{R}\right)}} \quad (2)$$

Burada: Q_{st} - Puazeyl düsturuna əsasən təyin olunan qərarlaşmış sərf;

v - kinematik özlülük;

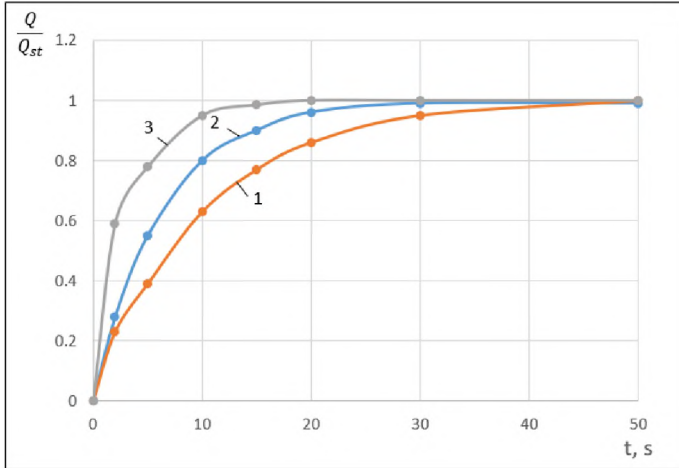
R – borunu radiusu;

r_0 - özlü-plastik axının nüvəsinin radiusudur.

İfadədən (1) göründüyü kimi, zaman keçdikcə sərf Puazeyl düsturuna əsasən təyin olunan qərarlaşmış sərfə yaxınlaşır.

Hesablamalar nəticəsində əldə olunan qrafik 1-dən göründüyü kimi, mayenin hərəkətinin başlanğıcında sərf qeyri-stasionar dəyişməklə müəyyən müddətdən sonra qərarlaşmış qiymətə yaxınlaşır. Beləliklə, özlü mayelərin boru kəmərinə laminar hərəkəti

zamanı stasionar iş rejiminə çıxma vaxtının müəyyən edilməsi mümkün olmuşdur.



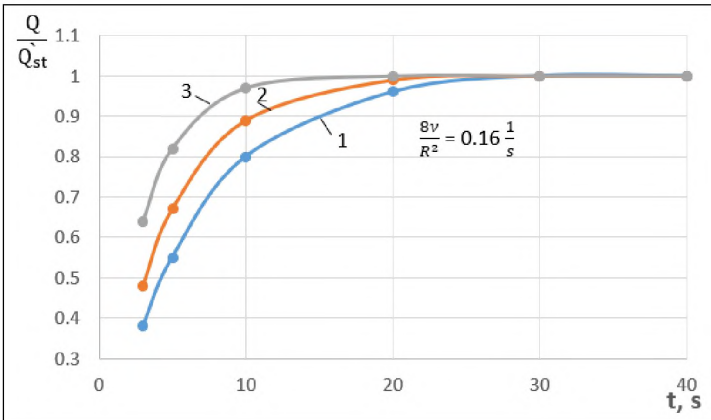
1÷3 – uyğun olaraq $8v/R^2 = 0,1; 0,16; 0,3$ 1/s olduqda
Qrafik 1. Özlü mayenin stasionar iş rejiminə çıxma vaxtının təyini.

Özlü-plastik mayenin sərfi nüvədən axan mayenin sərfi ilə nüvədən kənar hissədən axan mayenin sərfinin cəmi kimi qəbul edilmişdir. Sonra özlü-plastik laminar axınlar üçün sərfin qiymətinin adi mayelər üçün Puazeyl düsturu ilə təyin olunan sərfdən fərqlənməsi müəyyən edilmişdir.

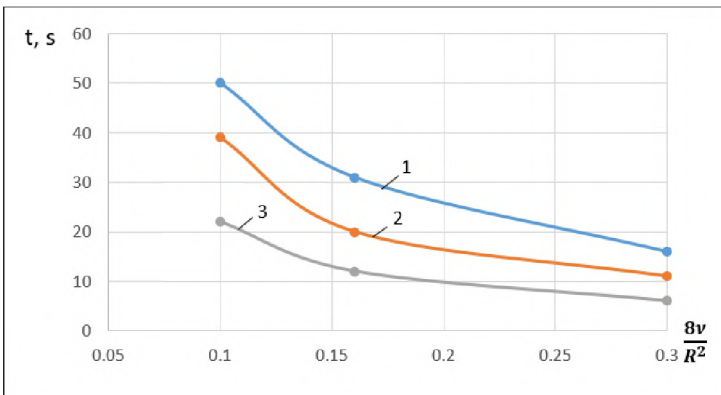
İnersiya qüvvələrinə sərf olunan təzyiq itkiləri də nəzərə alınmaqla laminar özlü-plastik axınlarda sərfin təyini üçün riyazi ifadə alınmışdır. Bu ifadə əsasında özlü-plastik axın üçün stasionar sərf və sərlərin nisbəti müəyyən edilmiş, müxtəlif r_0/R qiymətlərində sərlərin nisbətinin zamandan asılı dəyişməsi tədqiq edilmişdir (qrafik 2). Qrafik 2-dən göründüyü kimi, özlü-plastik mayelərin laminar hərəkəti zamanı stasionar iş rejiminə çıxma vaxtı r_0/R və $8v/R^2$ parametrlərindən asılı olaraq dəyişir.

Beləliklə, özlü mayelərin stasionar iş rejiminə çıxış vaxtının əsasən $8v/R^2$ parametrindən asılılığı, özlü-plastik axınlar üçün isə həm də başlanğıc itələmə gərginliyi ($\tau=0$) ilə müəyyən olunan axının

nüvəsinin necə formalaşmasından r_0/R parametrindən asılı olaraq dəyişməsi müəyyən edilmişdir (qrafik 3).



1÷3 – uyğun olaraq $r_0/R = 0; 0,2; 0,4$ olduqda
Qrafik 2. Özlü-plastik mayenin stasionar iş rejiminə çıxma vaxtının təyini.



1 – Özlü maye; 2 – Özlü-plastik maye ($r_0/R = 0,2$); 3 - Özlü-plastik maye ($r_0/R = 0,4$).

Qrafik 3. Laminar hərəkət zamanı stasionar iş rejiminə çıxma vaxtının $\frac{8v}{R^2}$ -dən asılılığı.

Həmçinin, laminar axınların xüsusi halları (başlanğıc stabilizəmə zonası, dar aralıqlarda obliterasiya və yüksək təzyiqlər fərqində termodinamik effektlər) kompleks şəkildə tədqiq edilərək,

onların hidravlik meyarları və xarakterik parametrləri dəqiqləşdirilmişdir.

Tədqiqat işində borunun girişində parabolik sürət profilinin tədricən formalaşdığı başlanğıc stabilləşmə zonasının $l_{baş}$ axın parametrlərinə təsiri analitik olaraq modelləşdirilmişdir. Borunun girişindən uzaqlaşdıqca divaryanı tormozlanma hesabına parabolik sürət profilinin formalaşdığı məsafə xüsusi axın formalı zona kimi identifikasiya olunmuşdur.

Aparılmış analitik hesablamalar və Reynolds ədədinin laminar axın üçün böhran həddi ($Re=2320$) əsasında müəyyən edilmişdir ki, başlanğıc zonanın maksimal uzunluğu $l^{max}(baş)=67,4 \cdot D$ təşkil edir. Sübut olunmuşdur ki, boru diametri $D=1$ m olduqda, yalnız $67,4$ m məsafədən sonra boru kəmərinə tam stabilləşmiş laminar axın rejiminin qərarlaşması baş verir.

Laminar axının başlanğıc zonasının uzunluğunun axan mayenin sürəti ilə düz, kinematik özlülüyü ilə tərs mütənasib olub, ən çox boru kəmərinin diametrindən asılı olaraq dəyişdiyi əsaslandırılmışdır. Qeyd olunan parametrlərin təsirini qiymətləndirmək məqsədilə müxtəlif laminar axın sürətlərində $v=0,1 \div 1,0$ m/s və kinematik özlülük qiymətlərində ($\eta=5 \cdot 10^{-7}$; 10^{-6} ; $5 \cdot 10^{-6}$ və 10^{-5} m²/s) stabilləşmə zonasının boru diametrindən (D) asılılığı tərəfimizdən hesablanmışdır (cədvəl 1).

Boru diametrindən asılı olaraq başlanğıc məsafə bir neçə kilometr təşkil edə bilər. Tədqiqat işində sübut edilmişdir ki, özlülüyü yüksək olan mayelərin nəqli zamanı laminar rejimin stabilləşməsi daha qısa məsafədə baş verdiyi halda, az özlü mayələrdə bu zona kəskin uzanır.

Qurulmuş asılılıq qrafiklərindən (qrafik 4) görünür ki, laminar axının başlanğıc zonasının uzunluğu boru kəmərinin diametri böyüdükcə kvadratik qanunla artır. Axın sürətinin çoxalması ilə bu məsafə uzanır, kinematik özlülüyün artması ilə mütənasib olaraq azalır. Aparılan hidrodinamik təhlillər əsasında əsaslandırılmışdır ki, boru kəmərinin başlanğıc hissəsində $l < l_{baş}$ divaryanı tormozlanma hesabına müqavimət stasionar hissəyə nəzərən daha çoxdur. Başlanğıc hissədə basqı itkisini dəqiq hesablamaq üçün Şiller asılılığı ($N = l_{baş}$

$/(D \cdot Re))$ üzrə düzləndirici əmsal $N=1,09$ tətbiq olunmuş və kəmərin başlanğıcında müqavimətin 9% daha çox olduğu sübut edilmişdir. Qısa boru kəmərlərində bu fərqi daha yüksək göstəriciyə çatdığı göstərilmişdir.

Cədvəl 1.

Laminar axınlar üçün stabilləşmə zonasına qədər olan məsafənin hesablanmış qiymətləri ($l_{baş}, m$), ($D=0,6 m$).

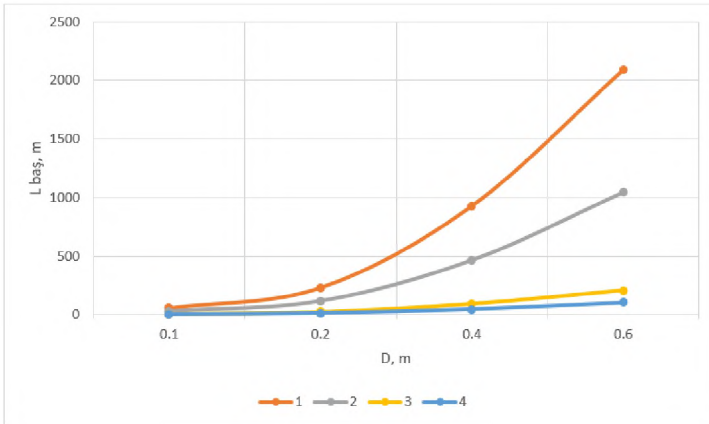
Axın sürəti, $v, m/s$	$\eta=5 \cdot 10^{-7}$	$\eta=10^{-6}$	$\eta=5 \cdot 10^{-6}$	$\eta=10^{-5}$
0,1	2088	1044	209	104
0,3	6264	3130	626	313
0,5	10440	5220	1044	522
0,7	12618	7306	1461	731
1,0	20880	10440	2088	1044

Tədqiqat işində laminar axının digər xüsusi halı - dar aralıqlarda və kapillyarlarda sabit təzyiqlər fərqi zaman keçdikcə sərfi azalması və ya tam kəsilməsi ilə müşahidə olunan obliterasiya hadisəsi hidrodinamik baxımdan təhlil edilmişdir.

Yüksək təzyiqlər fərqi baş verən laminar axınların tədqiqat zamanı müəyyən olunmuşdur ki, təzyiq azalması ilə artan daxili sürtünmə təsirləri mayenin temperaturunu artırır və özlülüyü aşağı salır. Özlülüyn axın boyu həm təzyiqin düşməsi, həm də temperaturun artması hesabına ikiqat dəyişmə mexanizmi modelləşdirilmişdir. Təzyiq artımının sərfi azaltması ilə temperatur artımının sərfi artırması arasındakı əks-qütblü termodinamik balans əsaslandırılmışdır. Təzyiq və temperaturun özlülüyə birgə təsirini nəzərə alan ifadələrə əsasən sərfi dəyişmə mexanizmi qiymətləndirilmişdir (qrafik 5).

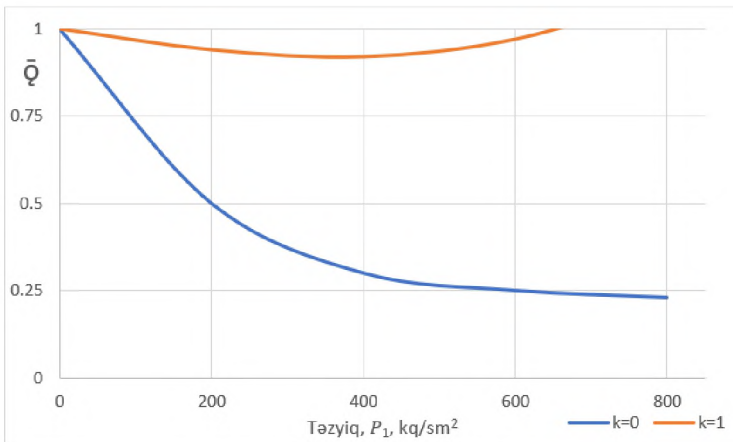
Qrafik 5-dən də görünür ki, boru divarından istilik ötürməsinin olmadığı ($k=0$) və izotermik hal ($k=1$) üçün sərfi dəyişməsi müqayisə edilmişdir (k - mayenin qızmasına sərf olunan özlülük qüvvəsinin gördüyü işin payı). Tədqiqat nəticəsində göstərilmişdir ki, daxili sürtünmədən ayrılan özlülüğü aşağı salır və yüksək təzyiqlərdə sərfi bərpa olunmasını təmin edir.

Beləliklə, özlü və özlü-plastik mayelərin laminar axınlarının xüsusiyyətləri tədqiq edilmiş, inersiya qüvvələrinin təsiri nəzərə alınmaqla axının stasionar iş rejiminə keçid prosesinin qiymətləndirilməsi aparılmışdır.



1-4 uyğun olaraq $\eta=5 \cdot 10^{-7}$; 10^{-6} ; $5 \cdot 10^{-6}$ və $10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ olduqda

Qrafik 4. $l_{baş} = f(D)$ asılılığı ($v=0,1 \text{ m/s}$).



$k=0$ – istilik ötürməsi xaricə baş vermir; $k=1$ – izotermik proses üçün

Qrafik 5. Təzyiqin dəyişməsinin sərfə təsiri.

Tədqiqatlar əsasında stasionar rejimə çıxış vaxtının müəyyən edilməsi üçün metodika işlənmişdir. Özlü-plastik mayelərin axını zamanı bərk nüvənin nisbi ölçüsünün (r_0/R) sərf xarakteristikasına və axının stasionar vəziyyətə keçmə müddətinə təsiri kəmiyyət baxımından müəyyən edilmişdir. Həmçinin, laminar axının başlanğıc zonasının uzunluğu araşdırılmış və onun boru diametrindən asılılığı müəyyən edilmişdir.

Dar keçidlərdə və kapillyarlarda yüksək təzyiq fərqi şəraitində mayenin özlülüyünün temperaturdan asılı dəyişməsi nəzərə alınmaqla termodinamik özlülük–istilik balansы modelləşdirilmişdir. Bunun əsasında temperatur artımının özlülüyə, özlülüyn dəyişməsinin isə maye sərfinə təsiri müəyyən edilmiş və obliterasiya və sərfnin dəyişməsi mexanizmi əsaslandırılmışdır.

Üçüncü fəsildə mədən neft-qaz boru kəmərlərində xüsusi axın halları olan yerli müqavimətlərlə bağlı kavitasiya hadisələrinin, axında baş verən struktur dəyişikliklərinin və böhran parametrlərinin diaqnostikası, eləcə də multifazalı mühitlərdə hidravlik zərbə dalğalarının və dinamik yüklərin qiymətləndirilməsi və tənzimlənməsi məsələləri kompleks şəkildə tədqiq edilmişdir.

Aparılmış təhlillər göstərmişdir ki, heterogen quyu məhsullarının yığılı və nəqli zamanı boru xətlərində baş verən çökmələr (parafin, qum, asfaltın) və ya tənzimləyici armaturların (sürgülü klapanların) qismən bağlanması hesabına keçid kəsiyinin daralması yerli müqavimətlərin artmasına və kavitasiya ocaqlarının formalaşmasına səbəb olur. Sürgülü armaturlarda kavitasiya rejiminin diaqnostikası üçün klapanın kavitasiya indeksi (σ) meyarından istifadə olunmuşdur:

$$\sigma = \frac{P_{çıxış} - P_{d.b}}{P_{giriş} - P_{çıxış}} \quad (3)$$

İfadədə (3) qeyd olunan parametrlər klapandan əvvəlki və sonrakı statik təzyiqlər və nəql olunan neftin doymuş buxar təzyiqini əks etdirir (P_a). Sübut edilmişdir ki, cari indeks laboratoriya şəraitində təyin olunmuş böhran indeksindən kiçik olduqda ($\sigma < \sigma_{böh}$) armatur daxilində gizli və intensiv eroziya prosesi başlayır.

Diametri D olan neft kəmərinin d diametrli daralma hissəsində kavitasiyanın baş verməsi Bernulli tənliyi və yerli müqavimət əmsalı ($\zeta = 0,5$) nəzərə alınmaqla modelləşdirilmişdir. Buradan kavitasiyanın böhran parametri ($\sigma_{b\delta h}$) və kəsilməzlik tənliyi üzrə kavitasiyanın böhran sürəti ($v_{b\delta h}$) üçün aşağıdakı analitik asılılıqlar çıxarılmışdır:

$$\sigma_{b\delta h} = \frac{2 \cdot \Delta P}{\rho \cdot v^2} = \left(\frac{S}{S_1} \right)^2 - 0,5 \quad (4)$$

$$v_{b\delta h} = v \cdot \frac{S}{S_1} \quad (5)$$

Sonuncu ifadələrdə S və S_1 uyğun olaraq borunun en kəsik sahəsi və daralma yerinin sahəsidir. Axının müxtəlif sürətlərində ($v = 0,5$ m/s; $1,0$ m/s və $2,0$ m/s) kəmərin daralma dərəcəsiindən asılı olaraq böhran sürətinin ($v_{b\delta h}$) və böhran kavitasiya parametrinin ($\sigma_{b\delta h}$) tədqiqatımız üzrə hesablanmış qiymətləri cədvəl 2-də təqdim edilmişdir.

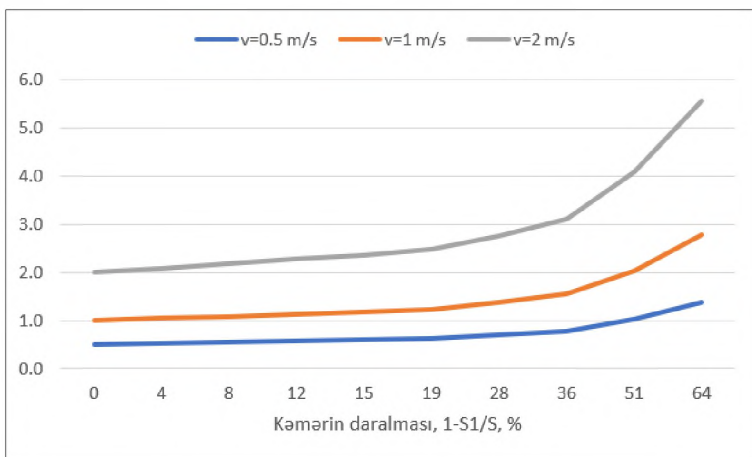
Cədvəl 2-nin və qurulmuş asılılıq qrafiklərinin (qrafik 6, 7) təhlili göstərir ki, axın sürətinin artması və keçid kəsiyinin azalması ilə kavitasiyanın böhran sürəti və kavitasiya ədədi qeyri-xətti yüksələn əyri üzrə artır.

Cədvəl 2

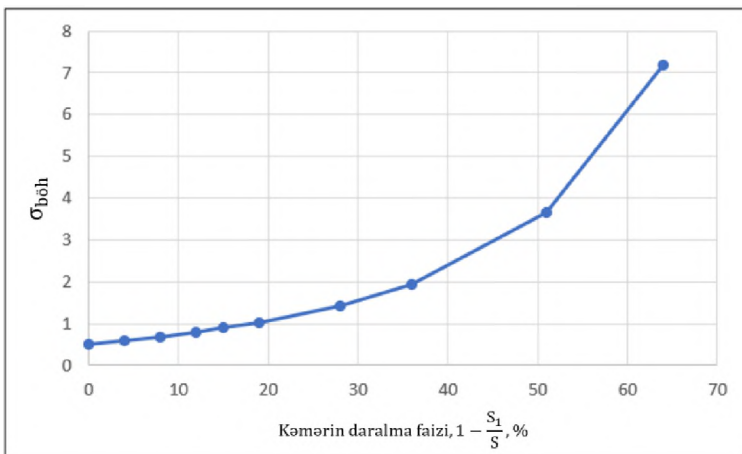
Boru kəmərinin daralma dərəcəsiindən asılı olaraq $v_{b\delta h}$ və $\sigma_{b\delta h}$ parametrlərinin hesablanmış qiymətləri.

d/D	S_I/S	$v_{b\ddot{o}h} \text{ , } m/s$			$\sigma_{b\ddot{o}h}$	Kəmərin daralması, $I-S_I/S$, %
		Axın sürəti				
		$v \text{ , } m/s$				
		0,5	1	2		
1,00	1,00	0,5	1	2,00	0,50	0
0,98	0,96	0,52	1,04	2,08	0,59	4
0,96	0,92	0,54	1,09	2,18	0,68	8
0,94	0,88	0,57	1,14	2,28	0,80	12
0,92	0,85	0,59	1,18	2,36	0,89	15
0,90	0,81	0,62	1,24	2,48	1,02	19
0,85	0,72	0,69	1,38	2,76	1,42	28
0,80	0,64	0,78	1,56	3,12	1,94	36
0,70	0,49	1,02	2,04	4,08	3,67	51

0,60	0,36	1,39	2,78	5,56	7,19	64
------	------	------	------	------	------	----

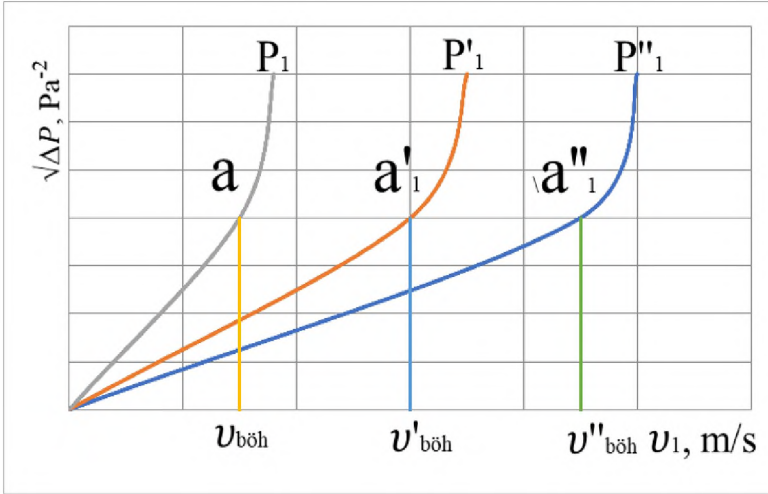


Qrafik 6. Böhran sürətinin kəmərin daralmasından asılılığı.



Qrafik 7. Böhran kavitasiya ədədinin kəmərin daralmasından asılılığı.

Növbəti olaraq, borunun hidravlik sərf xarakteristikası analiz edilmiş, təzyiq itkisinin ΔP sürətin (v^2) kvadratı ilə mütənasib olaraq dəyişməsinə nəzərə alaraq, kavitasiyalı axınlarda hidravlik göstəriciləri əks etdirən qrafik tərtib olunmuşdur (qrafik 8).



Qrafik 8. Kavitasiyalı axınlarda hidravlik xarakteristikalar.

Baxılan halda kavitasiyanın yaranması təzyiqi kavitasiyanın böhran təzyiqi qəbul olunduğundan ($P_2 = P_{böh}$) xətti asılılığın və müəyyən olunmuşdur ki, kavitasiyanın başlanması ilə xətti asılılıq xarakterik a nöqtəsində pozulur. Qaz-buxar kavernalarının yaranması hesabına bu nöqtədən sonra təzyiq itkisi kəskin yüksəlir ki, bu da kavitasiya başlanğıcının əsas diaqnostik indikatoru kimi əsaslandırılmışdır. Bundan əlavə, sübut edilmişdir ki, sabit P_1 təzyiqində $\sigma_{böh}$ parametrinin çoxalması ilə kavitasiya böhranına uyğun təzyiq kəskin azalır. Bu nəticələr nasos stansiyalarının sorma xəttində kavitasiya ehtiyatının qorunması və vibrasiya qəzalarının öncədən tənzimlənməsi üçün əsas göstərici kimi vurğulanmışdır.

Bundan əlavə, sübut edilmişdir ki, sabit P_1 təzyiqində $\sigma_{böh}$ parametrinin çoxalması ilə kavitasiya böhranına uyğun təzyiq kəskin azalır. Bu nəticələr nasos stansiyalarının sorma xəttində kavitasiya

ehtiyatının qorunması və vibrasiya qəzalarının öncədən tənzimlənməsi üçün əsas göstərici kimi vurğulanmışdır.

Aparılmış tədqiqatlarda neft-qaz yığım və nəql kəmərlərində axın sürətinin və ya istiqamətinin qısa zaman intervalında kəskin dəyişməsi nəticəsində yaranan hidravlik zərbələr və dinamik yüklər kompleks şəkildə analitik və rəqəmsal olaraq qiymətləndirilmişdir.

Sistemdə yaranan hidravlik zərbə təzyiqi $\Delta P_{h.z}$ nəql olunan mühitin elastik sıxılması və boru divarının elastik genişlənməsi faktorlarının birgə təsiri ilə tərəfimizdən modelləşdirilmişdir. Nəql olunan mayenin elastik sıxılması hesabına həcm dəyişməsi ΔV_m və boru kəmərinin elastik genişlənməsi $\Delta V_{b.k}$ üçün aşağıdakı ifadələr alınmışdır:

$$\Delta V_m = \frac{P_{h.z} \cdot V}{E_m} \quad (6)$$

$$\Delta V_{b.k} = \frac{P_{h.z} \cdot \pi \cdot D^3 \cdot L}{4 \cdot \delta \cdot E_{b.k}} \quad (7)$$

Burada: $V = \pi \cdot D^2 \cdot L / 4$ — kəmərdəki mayenin ümumi həcmi; D və L — boru kəmərinin diametri və uzunluğu; δ — borunun divar qalınlığı; E_m və $E_{b.k}$ — müvafiq olaraq mayenin və boru materialının elastiklik modullarıdır.

Boru divarının elastik deformasiyası nəzərə alınmaqla zərbə dalğasının yayılma sürəti c kəsilməzlik tənliyi nəzərə alınmaqla təyin edilmişdir:

$$c = \left(\frac{E_m}{\rho_m} \right)^{0,5} / \left(1 + \frac{E_m \cdot D}{\delta \cdot E_{b.k}} \right)^{0,5} \quad (8)$$

Qeyd olunduğu kimi hidravlik zərbə siyirtmənin ani olaraq bağlanan vaxtı (t_s) yarandığından mayenin həcmnin dəyişilməsi müddəti zərbə fazasının davam etmə müddəti ilə eyni olub $t_s \leq 2 \cdot L / c$ kimi təyin edilir. Əks halda, məlumdur ki, hidravlik zərbə, düz olmayan zərbə hesab edilir və onun qiyməti aşağıdakı ifadədən tapılır:

$$P'_{h.z} = 2 \cdot v \cdot \rho \cdot L / t_s \quad (9)$$

Sonuncu ifadədən göründüyü kimi, boru kəmərinə zərbə nəticəsində artan təzyiqin qiymətini azaltmaq məqsədilə siyirtmənin bağlanma vaxtını artırmaq lazımdır. Boru kəmərlərində onları aramla

bağlayan siyirtmələrdən və ya dempferləyici hava kolpaklarından istifadə olunması heç də təsadüf deyildir.

İşdə multifazalı axınlarda yaranan dinamik yüklərin təsirindən hidravlik zərbə təzyiqlərinin struktur rejim formaları nəzərə alınmaqla dəyişilməsi araşdırılmışdır. Tam hidravlik təzyiqin hesablanması üçün yuxarıda verilən (9) ifadəsini struktur rejimin dəyişməsi ilə bağlı böhran sürətindən asılı olaraq aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$P_{h,z} = \rho_{qar} \cdot (v_{böh} - v_{or}) \cdot c \quad (10)$$

Birfazlı homogen, eləcə də qaz və ya maye fazasının üstünlük təşkil etdiyi mühitlərdə yaranan müxtəlif struktur tipləri üçün dinamik təzyiq dəyişmələrinin və hidrodinamik yüklərin paylanma qanunauyğunluqlarını əks etdirən analitik ifadələr işlənilmiş, onların riyazi və fiziki modelləşdirilməsi həyata keçirilmişdir:

$$P_{din} = 0,217 \cdot \frac{(\rho_m - \rho_q)^2}{\rho_{qar}} \cdot g \cdot D \quad (11)$$

$$P_{din}^q = 0,217 \cdot \frac{(\rho_m - \rho_q)^2}{\rho_q} \cdot g \cdot D \quad (12)$$

$$P_{din}^m = 0,217 \cdot \frac{(\rho_m - \rho_q)^2}{\rho_m} \cdot g \cdot D \quad (13)$$

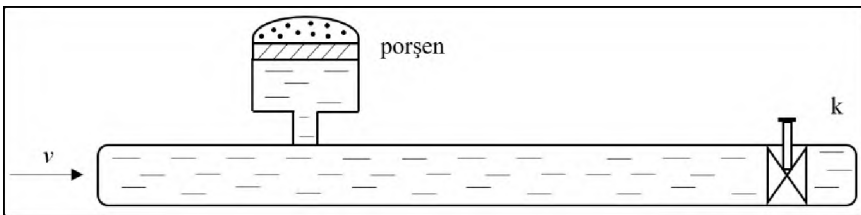
Müəyyən edilmişdir ki, sərbəst təbii qaz qabarcıqlarının kavitasiya zərbələrini udmaq və hidravlik amortizasiya yaratmaq qabiliyyəti faza sürətlərinin boru daxilindəki paylanmasından bilavasitə asılıdır. Sürət nisbəti $v_q / v_m > 1$ olduqda borunun yuxarı hissəsində qaz tıxacları formalaşır və pərdələmə effekti yalnız yuxarı zonasında lokallaşır, borunun aşağı daban hissəsi isə kavitasiya və zərbəyə qarşı müdafiəsiz qalır. Sürətlər bərabərləşdikdə ($v_q / v_m \rightarrow 1$) dumanlı-qabarcıqlı rejimdə qaz homogen paylanır, şok dalğalarının udulma arealı genişlənir və boru divarının mexaniki aşınma intensivliyi minimuma enir. $L = 10 \text{ km}$, $D = 0,7 \text{ m}$, $\delta = 0,01 \text{ m}$, $V = 3846 \text{ m}^3$ olan neft kəməri üzrə aparılmış rəqəmsal hesablama nəticələri cədvəl 3-də ümumiləşdirilmişdir.

Cədvəl 3

Hidravlik zərbə və multifazalı dinamik yüklərin hesablamalı nəticələri.

Zərbə dalğasının sürəti (c)	$1181,25 \text{ m/s}$	Borunun elastik deformasiyası hesabına sürət 1425 m/s -dən $1181,25 \text{ m/s}$ -yə enir
Tam zərbə təzyiqi ($t_s = 0 \text{ s}$)	$2,20 \text{ MPa}$	Siyirtmə ani bağlandıqda kəmərdə yaranan maksimal zərbə təzyiqi
Qeyri-tam zərbə təzyiqi ($t_s = 26 \text{ s}$)	$0,144 \text{ MPa}$	Bağlanma müddəti $t_s > 16,93 \text{ s}$ olduqda zərbə təzyiqi 15 dəfə azalır
Neftin sıxılma həcmi (ΔV_m)	$0,332 \text{ m}^3$	Zərbə anında neftin elastik sıxılmasından yaranan həcm dəyişməsi
Borunun genişlənmə həcmi ($\Delta V_{\beta,k}$)	$0,222 \text{ m}^3$	Təzyiq pikində boru divarlarının elastik genişlənmə həcmi
Homogen rejim dinamik yükü ($\beta = 0,9$)	$12,3 \text{ kPa}$	Dispers axında qazın elastikliyi zərbəni söndürür ($\rho_{qar} = 88,7 \text{ kq/m}^3$)
Tıxaclı rejim dinamik yükü ($\beta = 0,4$)	$364,8 \text{ kPa}$	Tıxaclı axında sıxlıq ($\rho_{qar} = 517,2 \text{ kq/m}^3$) artdığı üçün dinamik yük ~ 6 dəfə artır

Bununla yanaşı, boru kəmərinə hidravlik zərbə proseslərinin idarə edilməsi və impulsiv gərginliklərin azaldılması məqsədilə axın sürətinin optimal hədlər daxilində azaldılması, siyirtmələrin bağlanma müddətinin süni şəkildə uzadılması ($t_s \geq 15 \text{ s}$) və impuls udan dempferləyici hava kolpaklarının tətbiqi üzrə kompleks hesablama metodikası işlənilmiş, müvafiq hesablama alqoritmləri təqdim edilmişdir (şəkil 1).



Şəkil 1. Boru kəmərinə quraşdırılmış dempferləyici hava kolpakının sxemi.

Siyirtmə bağlandıqda mayenin bir hissəsi hava kolpaka daxil olur, havanın sıxılması hesabına sürətin azalması ani deyil, tədricən baş verir və zərbə təzyiqi söndürülür.

Aparılmış hesablamada $L = 5 \text{ km}$, $d = 75 \text{ mm}$, $\delta = 5 \text{ mm}$ olan neft kəmərinə ($Q = 9 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, $v = 2,04 \text{ m/s}$, $c = 1170 \text{ m/s}$) ani bağlanmada tam zərbə təzyiqinin $\Delta P = 1.77 \text{ MPa}$ olduğu müəyyən edilmişdir. Zərbə fazasının müddəti $T = 2L / c = 8,55 \text{ s}$ olduqda, siyirtmənin bağlanma vaxtının $t_s = 15$ saniyəyə qədər tənzimlənməsi ilə zərbə təzyiqinin 1.0 MPa buraxıla bilən həddə qədər endirilməsi əsaslandırılmışdır.

İcra olunan digər müqayisəli hesablamada boru materialının elastikliyinə zərbə dalğasına təsiri təyin edilmişdir ($L = 20 \text{ m}$, $d = 50 \text{ mm}$, $\delta = 3,5 \text{ mm}$, $v = 1,94 \text{ m/s}$):

Polad boruda ($E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$): $c = 1320 \text{ m/s}$, $\Delta P = 2,56 \text{ MPa}$, radial deformasiya gərginliyi $\sigma = 18,1 \text{ MPa}$;

Çuqun boruda ($E = 0.98 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$): $c = 1240 \text{ m/s}$, $\Delta P = 2.41 \text{ MPa}$ (çuqun borunun böyük elastikliyi zərbə sürətini və təzyiq pikini azaltmış olur).

Beləliklə, bu fəsilə boru kəmərlərində hidravlik zərbələrin elastik həcm dəyişmələri (ΔV_m , $\Delta V_{\beta-k}$) və multifazalı mühitlərdə dinamik yüklər (P_{din}) tərəfinizdən modelləşdirilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, multifazalı axının tıxaclı rejimində qarışıq sıxlığının artması dinamik yükü homogen rejimlə müqayisədə ~ 6 dəfə artırır ($0,012 \text{ MPa}$ -dan $0,365 \text{ MPa}$ -ya çatır). Siyirtmələrin optimal bağlanma müddəti ($t_s \geq 15 \text{ s}$) və hava kolpaklarının parametrləri hesablanaraq zərbə təzyiqlərinin qiymətləndirilməsi və tənzimlənməsi metodikası verilmişdir.

Dördüncü fəsildə multifazalı axın zonalarının və dinamik yüklərin təyini və tənzimlənməsi əsasında neft-qaz kəmərlərinin istismar səmərəliliyinin artırılması məsələlərinə baxılmışdır ² . Məlumdur ki, neftqazçıxarmada və karbohidrogenlərin yığılması və nəqli zamanı qaz-maye sistemlərinin boru kəmərləri ilə birgə axını çox geniş yayılmış hallardandır. Bu cür axınların yüksək sürətli olması, korroziya və eroziya fəallığı, eləcə də struktur dəyişikliklərinə məruz qalması kimi halların mövcudluğu boru kəmərlərinin həm layihələndirilməsi, həm də istismarına qoyulan tələbləri və diqqəti xeyli artırmış olur. Təcrübə göstərir ki, layihələndirilmə zamanı buraxılan səhvlər əksər hallarda onların istismarı zamanı problemlərin yaranmasına səbəb olur. Belə ki, bu cür kəmərlərin istismarı zamanı qorxulu vibrasiyalar, ziyanlı təzyiq və sərf döyüntüləri, boru kəmərlərinin elementlərinin (tərkib hissələrinin) intensiv eroziya-korroziyaya uğraması və hətta boruların bütövlüyünün itirilməsi və onların sonrakı istismarının mümkün olmaması kimi hallar baş verə bilər.

Məlumdur ki, ikifazalı maye-qaz axınları istənilən maye və qazın birfazlı axınından kəskin olaraq fərqlənir. İlk növbədə eyni vaxtda iki fazanın olması müxtəlif hərəkət və ya struktur formalarının mövcud olmasına imkan yaradır. Təsadüfi deyil ki, fazaların kütlə sərtlərinin nisbətindən, sıxlıqları və özlülükdən, eləcə də səthi gərilmədən asılı olaraq çoxlu sayda axın (struktur) formaları yaranabilir. Bu cür axın rejimlərindən aşağıdakıları göstərmək olar: qabarcıqlı, təbəqələrə (fazalara) ayrılmış (hamar və dalğalı formalı), mərmili, tıxaclı, həlqəvi və dispers-həlqəvi strukturlar.

Qaz fazasının sürətinin artması ilə təbəqələşmiş hərəkət rejimindən iki ayrı-ayrı axın formalaşır: tıxaclı və mərmili strukturlar. Tıxaclı rejimdə maye tıxacları yer alır və onlar qaz qabarcıqları ilə ayrılmış olur. Boru kəmərinə bu cür strukturların yaranması hidravlik zərbələrlə müşahidə olunduğu üçün kəmərlərin istismarı zamanı qorxulu hallar yarada bilər. Axının yeni fiziki modelinə uyğun olaraq dispers faza hissəciklərinin (maye damcılarının və bərk mexaniki

² İskəndərov, E.X. Neftin, qazın nəqli və saxlanması nəzarət-diaqnostika üsulları / E.X.İskəndərov. – Bakı: Elm, – 2023. – 327 s.

zərrəciklərin) axının nüvəsinə doğru istiqamətlənməsi Bernulli qüvvəsinin (axının kənarlarından mərkəzinə doğru yönələn qüvvənin) hesabına baş verir. Mürəkkəb konfigurasiyalı və vertikal yönəlmiş dəniz sualtı kəmərlərində eroziya-korroziya aşınmalarını azaltmaq üçün diametrlərin və mailik bucaqlarının optimallaşdırılması ilə yanaşı, atqı xətlərinin hidrodinamik tənzimlənməsi təmin edilməlidir.

Neft-qaz qarışıqlarının magistral xətlərlə nəqli zamanı hidravlik hesabatların aparılması bircinsli mayelərin hesablanması metodikasından köklü surətdə fərqlənir. Bu fərqliliyi şərtləndirən əsas amil, boru kəməri boyu təzyiqin düşməsi ilə neftin tərkibində həll olunmuş qazın tədricən sərbəst fazaya keçməsi və mühitin həcm sərfinin qeyri-xətti şəkildə artmasıdır.

Neft-qaz qarışıqları üçün boru kəmərlərində sürtünməyə sərf olunan təzyiq itkisi Darsi-Veysbax düsturuna əsasən hesablanır:

$$\Delta P_{\text{sür}} = \lambda_{qar} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{\rho_{qar} \cdot v_{qar}^2}{2} \quad (14)$$

Burada ρ_{qar} , λ_{qar} və v_{qar} – uyğun olaraq qarışıq üçün sıxlıq, hidravlik müqavimət əmsalı və axın sürətidir. Reynolds ədədi $Re = v_{qar} \cdot D / \nu_{qar}$ təyin edilir. Qarışığın kinematik özlülüyü üçün aşağıdakı asılılıq tətbiq olunur:

$$\frac{1}{\nu_{qar}} = \frac{\beta}{\nu_q} + \frac{1-\beta}{\nu_n} \quad (15)$$

Burada $\beta = Q_q / (Q_q + Q_m)$ – qazın həcmi sərf tutumudur.

Kəmərlə boyunca ümumi təzyiq düşgüsü sürtünmə ($\Delta P_{\text{sür}}$) və qavitasiya (ΔP_{qr}) itkilərinin cəmi kimi ifadə edilir:

$$\frac{dP}{dr} = \frac{16 \cdot v^2 \cdot \rho_q \cdot \alpha \cdot (1 - \alpha^2)}{D} \quad (16)$$

Multifazlı axınların boru kəməri sistemlərində yaratdığı dinamik və hidrodinamik yüklərin strukturlar boyu paylanma xarakteri, axının rejim formalarından birbaşa asılıdır. Xüsusilə tıxaclı axın rejimində boru daxilində böyük maye kütlələrinin yüksək sürətlə irəliləməsi və ardınca qaz boşluqlarının gəlməsi, boru divarlarında periodik impuls dəyişmələrinə səbəb olur.

Statik təzyiq qradientinin axının en kəsiyi boyu paylanması aşağıdakı tənliklə ifadə olunur³:

$$\Delta P = \Delta P_{sür} + \Delta P_{grav} \quad (17)$$

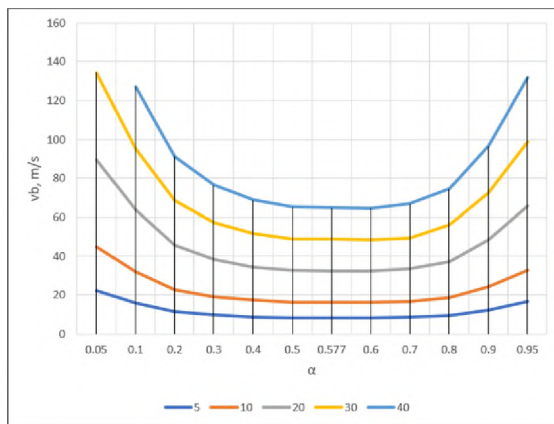
Burada: v – axının orta sərf sürəti (m/s); ρ_q – qazın sıxlığı (kq/m^3); D – borunun diametri (m); $\alpha = r/R$ – boru radiusuna nəzərən nisbi koordinatdır.

Statik təzyiq qradientinin fazaların xüsusi çəkiləri fərqinə $g \cdot (\rho_m - \rho_q)$ bərabərləşdiyi böhran şərti əsasında, multifazalı axının homogen (dispers) struktura keçidini təmin edən böhran sürəti ($v_{böh}$) analitik olaraq çıxarılmışdır:

$$v_{böh} = \frac{A}{\sqrt{\alpha \cdot (1 - \alpha^2)}} \quad (18)$$

$$A = 0,25 \cdot \sqrt{\left(\frac{\rho_m}{\rho_q} - 1\right) \cdot g \cdot D}$$

Nisbi koordinatın $\alpha=r/R=0,577$ qiymətində böhran sürəti minimal qiymətini, statik təzyiq qradienti isə maksimal qiymətini alır (qrafik 9).



Qrafik 9. Böhran sürətinin α -dan asılılığı
($A=5, 10, 20, 30, 40$ m/s olduqda).

³ Ситенков, В.Т. Теория градиентно-скоростного поля / В.Т.Ситенков. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», – 2004. – 308 с.

Bu nisbi koordinat boru daxilində axın strukturunun destruksiyaya uğradığı və kəmərlə divarının ən çox gərginləşdiyi kritik zona kimi əsaslandırılmışdır.

Böhran sürəti axının mərkəzindən uzaqlaşdıqca kəskin azalaraq $\alpha = 0,577$ qiymətində minimuma çatır, boru divarına doğru yenidən yüksəlir.

Axının sıxlığından və qazın həcmi sərf tutumundan (β) asılı olaraq homogen və tıxaclı axın strukturları üçün dinamik təzyiq yükləri (11), (12) və (13) ifadələrinə əsasən modelləşdirilmişdir.

$L = 10 \text{ km}$, $D = 0,7 \text{ m}$, $v = 2,16 \text{ m/s}$ olan kəmərlə üzrə aparılmış hesablamalarda (əsas fazanın qaz olduğu) aşağıdakı nəticələr alınmışdır:

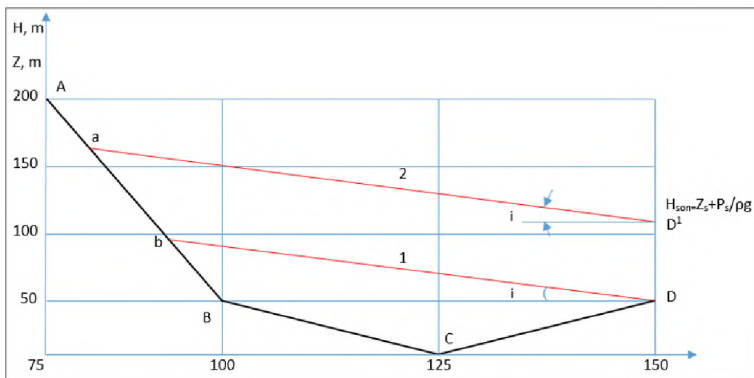
Homogen dispers rejimdə: Dinamik təzyiq yükü $P_{din} = 12337 \text{ Pa}$ təşkil edir.

Tıxaclı rejimdə: Dinamik təzyiq yükü $P_{din} = 364776 \text{ Pa}$ həddinə yüksəlir.

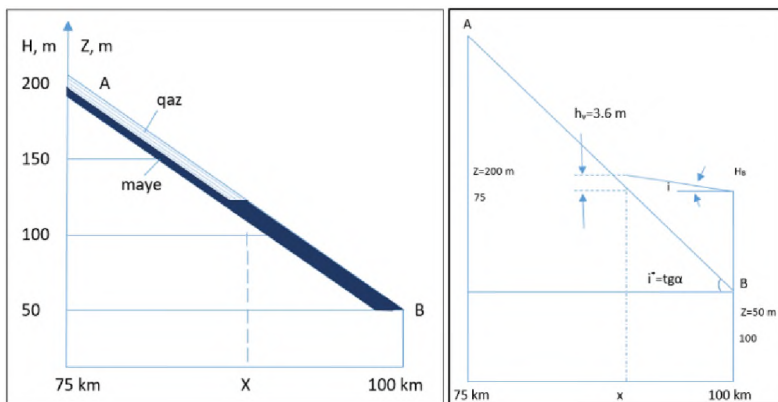
Multifazalı axınlarda hidravlik zərbə dalğalarının yaranması və sistemdə zərbdən təzyiqin xeyli qalxmasının mühüm səbəblərindən biri bu cür axınlarda yaranan dinamik yüklərlə bağlıdır. Belə ki, böhran sürətindən asılı olaraq və fazaların sıxlıqları fərqi uyğun olaraq yaranan dinamik yüklər axının struktur forması və hansı fazanın dominantlıq təşkil etməsindən asılı olaraq əhəmiyyətli hidravlik zərbə dalğaları ilə müşahidə oluna və dağıdıcı təsir göstərə bilər.

İşdə həmçinin mürəkkəb relyefli neft kəmərlərində aşırım nöqtələrindən sonra pyezometrik basqının geodezik hündürlükdən aşağı düşməsi hesabına qazın ayrılması və multifazalı axın zonalarının formalaşması mexanizmi tədqiq edilmişdir. Belə ki, multifazalı zonaların mövcudluğunun və yerinin vaxtında müəyyən edilməsi çox vacibdir. Bu cür zonalar boru kəmərinin işinin hər hansı səbəbdən dayandırılması və qəza hallarından baş verən neft dağılması zamanı daha tez-tez rast gəlinir. Multifazalı axın zonalarının müəyyən edilməsi, yəni kəmərin işi zamanı aşırım nöqtəsinin mövcudluğunun müəyyən edilməsi məqsədilə hidravlik maillik hesablanmalı və maillik xətti kəmərin sıxlaşdırılmış profilində qurulmalıdır.

Kəmərin sıxlaşdırılmış profilində aşırım nöqtəsindən (A) sonra vakuumetrik hündürlük $h_v = P_{d,b} / (\rho \cdot g)$ nəzərə alınmaqla, multifazlı axın zonasının son koordinatının (x) və uzunluğunun ($l_{m,a}$) təyini üçün aşağıdakı tənliklər çıxarılmış, müvafiq nəticələrə əsasən qrafiklər tərtib olunmuşdur (qrafik 10, 11).



Qrafik 10. Neft kəmərinə aşırım nöqtəsindən sonra multifazlı zonanın yaranması (1 və 2 – hidravlik maillik xətləridir).



Qrafik 11. Neft kəmərinə multifazlı axın zonası və onun koordinatlarının təyini.

$$x = L_B - \frac{H_B - Z_B}{i^* - i} \quad (19)$$

$$l_{m.a} = x - L_A \quad (20)$$

Burada: L_A , L_B – aşırım nöqtəsi və kəmərləşmə segmentinin son koordinatları (km); Z_B – geodezik hündürlük (m); H_B – segmentin sonundakı pyezometrik basqı (m); i^* – multifazalı axında hidravlik maillik; i – monofazalı neft axınının hidravlik mailliyidir. $L = 150$ km, $D = 530$ mm, $\rho = 850$ kq/m³, $\nu = 15$ sSt olan neft kəməri üzrə aparılmış hesabat nəticələri cədvəl 4-də ümumiləşdirilmişdir. Aparılmış tənzimləmə hesablamaları ilə sübut olunmuşdur ki, nəql sərfi $Q_{min} = 511$ m³/saat ($\nu = 0,68$ m/s) və giriş təzyiqi $P_{baş} = 1,38$ MPa saxlanıldıqda ($P_{son} = 0,1$ MPa şərtində) 9,89 km-lik multifazalı axın zonası tamamilə ləğv edilir və kəmərləşmə sabit monofazalı rejimə keçir.

Cədvəl 4

Mürəkkəb relyefli neft kəmərləşmə segmentində multifazalı zonasının diaqnostikası və tənzimləmə parametrləri.

Hesablanan parametrlər	Hesablanmış qiyməti	Fiziki şərh və tənzimləmə effekti
Aşırım nöqtəsinin koordinatı (L_A)	75,00 km	Mürəkkəb relyefdə multifazalı zonasın başladığı geodezik zirvə
Multifazalı zonasın son koordinatı (x)	84,89 km	Basqı balansına əsasən diaqnostika olunmuş son kəsişmə nöqtəsi
Multifazalı zonasın uzunluğu ($l_{m.a.}$)	9,89 km	Kəmərdə disbalans və əlavə müqavimət yaradan qazlaşmış zona
Minimal nəql sərfi (Q_{min})	511 m ³ /saat	Zonasın tam ləğv edilməsi üçün tələb olunan minimal neft sərfi
Tələb olunan giriş təzyiqi ($P_{baş}$)	1,38 MPa	$i = 1,139$ m/km mailliyində multifazalı zonası ləğv edən nəql təzyiqi

Nəticə

1. Multifazalı axınların müxtəlif struktur rejimləri üçün böhran sürəti nəzərə alınmaqla boru kəmərlərində dinamik yüklərin qiymətləndirilməsi və paylanması məsələlərinə baxılmışdır. Disperslənmiş strukturlu axınlarla müqayisədə fazalara ayrılmış tıxaclı hərəkət formaları üçün dinamik təzyiqin dəfələrlə çox olması göstərilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, qaz fazasının dominantlıq halında (dispers mühit) yaranan dinamik yüklər, maye fazanın dominant olduğu halla müqayisədə daha çox olmaqla maye və qaz fazaların sıxlıqlarının nisbətinin artması ilə çoxalmış olur [1, 3, 12].

2. Multifazalı axınlarda axının fiziki modeli əsasında dinamik yüklərin qiymətləndirilməsi və tənzimlənməsi üsulu işlənilmişdir [2, 12].

3. Neft və neft məhsulları kəmərlərində yaranan hidravlik zərbələrin təhlili və qiymətləndirilməsi, zərbələrlə müşahidə olunan axınların tənzimlənməsi üsulları təklif olunmuşdur [2, 9].

4. Nəql olunan mühitin sıxlığı nəzərə alınmaqla hidravlik zərbə zamanı nəql olunan sistemin və boru kəmərinin həcmnin necə dəyişməsi ədədi misalla göstərilmişdir [3, 5].

5. Mədən neft və qaz kəmərlərinin vaxtından əvvəl sıradan çıxmasının mühüm səbəblərindən birinin kavitasiyalı axınların mövcudluğu ilə bağlı lokal struktur dəyişikliklərin faktının olması göstərilmişdir [4].

6. Kavitasiyalı axınlarda təzyiq və sürət dəyişmələrindən asılı olaraq struktur dəyişikliklərin və böhran parametrlərinin diaqnostikası üsulu işlənilmişdir [7].

7. Kondensləşən neft qazlarının resursları nəzərə alınmaqla qaz-kondensat axınları zamanı boru kəmərinin kondensatla tarazlı dolma payının çoxalması ilə qazın sərfindən asılı olmayaraq nəql təzyiqinin xətti qanunla artması müəyyən edilmişdir [11, 13].

8. Neft və neft məhsulları kəmərlərinin istismarı zamanı multifazalı axın zonalarının yaranma səbəbləri təhlili əsasında həmin zonaların sayı və yerinin diaqnostikası və tənzimlənməsi, o cümlədən yaranmaması üçün nəql parametrlərindən istifadə olunmaqla metodika işlənilmişdir [8, 15].

Dissertasiyanın əsas məzmunu aşağıdakı işlərdə çap olunub:

1. Искендеров, Э.Х. Динамические нагрузки в мультифазных трубопроводах / Э.Х.Искендеров, Ф.Б.Исмаилова, М.Ф.Шукурлу // Трубопроводный транспорт – 2023: Материалы XVIII Международной учебно-научно-практической конференции, – Уфа: – 16-17 ноября, – 2023, – с. 86-87.
2. İsmayılova, F.B. Multifazalı boru kəmərlərində hidravlik zərbələr və dinamik yüklər / F.B.İsmayılova, M.F.Şükürlü // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, – Bakı: – 2024. №3, – s. 23-27.
3. Iskandarov, E.K. Changes in energy characteristics of pipeline systems considering hydrodynamic loads /E.K. Iskandarov, F.B. Ismayilova, M.F. Shukurlu // SOCAR Proceedings. – Baku, 2024. – № 2. – p. 105–108.
4. Şükürlü, M.F. Kavitasialı axınların diaqnostikası / M.F. Şükürlü // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı. – Bakı: – 2024. № 5. – s. 29-31.
5. Исмайылова, Ф.Б. Об увеличении вместимости нефтепровода от динамического удара /Ф.Б.Исмайылова, М.Ф.Шукурлу //Нефтегазовый терминал: Материалы Международной научно-технической конференции «Транспорт и хранение углеводородного сырья». – Тюмень: ТИУ, 2024. – т. 2. – с. 100–106.
6. İskəndərov, E.X. Laminar axınlarda sürət-sərf xarakteristikalarının diaqnostikası /E.X.İskəndərov, F.B.İsmayılova, M.F.Şükürlü //Azərbaycan Neft Təsərrüfatı. – Bakı, 2024. – № 6. – s. 32–37.
7. İskəndərov, E.X. Kavitasialı axınlarda struktur dəyişikliklərinin diaqnostikası / E.X.İskəndərov, M.F.Şükürlü, M.M.Həsənova //Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri. – Bakı: – 2024. c. 16, № 2. – s. 55-60.
8. Şükürlü, M.F. Multifazalı axın zonalarının tənzimlənməsi / M.F.Şükürlü // PAHTEI – Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərinin Xəbərləri – Bakı: – 2024. c. 43(05). – s. 293-301.

9. Iskandarov, E.K. On the reliability and efficiency of operation of multiphase pipelines under hydraulic impact / E.K. Iskandarov, F.B. Ismayilova, M.F. Shukurlu [et al.] // The 6th Eurasian Conference "Innovations in Minimising of Natural and Technological Risks of Climate Change: Methodology and Practice" (RISK-2024), Baku, 27-29 November 2024, – 2024. Vol. 19, № 6 (81), Part 1, – p. 131-134.

10. Искендеров, Э.Х. Исследование частных случаев ламинарного течения жидкостей / Э.Х. Искендеров, М.Ф. Шукурлу // Рассохинские чтения – 2025: Материалы 17-й Международной конференции, – Ухта: Ухтинский государственный технический университет, – 06-07 февраля, – 2025, – с. 239-242.

11. Şükürlü, M.F. Qaz kəmərinin kondensatla dolmasının qazın nəql təzyiqinə təsiri / M.F. Şükürlü // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri. – Bakı, 2025. – c. 17, № 1. – s. 45–50.

12. İsmayılova, F.B. Multifazalı axınlarda böhran sürəti və dinamik yüklərin qiymətləndirilməsi / F.B. İsmayılova, M.F. Şükürlü // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri. – Bakı, 2025. – c. 17, № 2. – s. 45–49.

13. Iskandarov, E.K. The effect of filling the gas pipeline with condensate on transport pressure / E.K. Iskandarov, F.B. Ismayilova, M.F. Shukurlu // Rudarsko-geološko-naftni zbornik (The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin). – Zagreb, 2025. – vol. 40, № 3. – p. 17–24.

14. İskəndərov, E.X. Laminar axınların xüsusi hallarının hidravlik meyarları / E.X. İskəndərov, F.B. İsmayılova, M.F. Şükürlü [və b.] // Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərinin Xəbərləri. – Bakı, 2025. – № 48. – s. 46–58.

15. Shukurlu, M.F. Ensuring the safe operation of oil pipelines through the reliable diagnosis of multiphase flow zones / M.F. Shukurlu // The seventh Eurasian conference risk-2025 "Risk-oriented design and operation of infrastructure systems: sustainability paradigm". – Baku, 2025. – p. 79-80.

16. Искендеров, Э.Х. Гидродинамическое исследование облитерированных ламинарных течений / Э.Х. Искендеров,

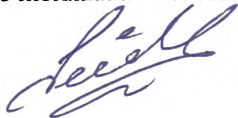
М.Ф.Шукурлу // XI Международной научно-технической конференции, посвященной памяти доктора технических наук, профессора Владимира Константиновича Липского. – Новополюцк, 2025. – с. 130–134.

Çap olunmuş əsərlərdə müəllifin şəxsi iştirakı:

[4, 8, 11, 15] sayılı işlər müəllif tərəfindən müstəqil yerinə yetirilmişdir.

[2, 3, 5, 7, 13] sayılı işlərdə iddiaçı tədqiqat konsepsiyasının hazırlanmasını, metodikanın işlənməsini, nəticələrin emalını və məlumatların təhlilini yerinə yetirmişdir.

[1, 6, 9, 10, 12, 14, 16] sayılı işlərdə iddiaçı nəticələrin emalını və məlumatların təhlilini yerinə yetirmişdir.



Dissertasiyanın müdafiəsi 27 oktyabr 2026-cı il tarixində saat 11:00 Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti PHŞ-nin nəzdində fəaliyyət göstərən FD 2.03 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1010. Bakı şəhəri, Azadlıq prospekti, 34.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti PHŞ-nin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Avtoreferatın elektron versiyası Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti PHŞ-nin rəsmi internet saytında (www.asoiu.edu.az) yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 25 Sentyabr 2026-cı il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 23.09.2026

Kağızın formatı: A5

Həcm: 39770

Tiraj: 100