

UDC 532.66

DOI 10.52171/2076-0515_2024_16_02_55_60

Diagnosis of Structure Changes in Cavitation Flow

E.Kh. Iskandarov, M.F. Shukurlu, M.M. Hasanova

Azerbaijan State University of Oil and Industry (Azadlig ave. 16/21, Baku, AZ1010, Azerbaijan)

For correspondence:

Iskandarov Elman / e-mail: e.iskenderov62@mail.ru

Abstract

It is known that as the pressure approaches decreased saturated vapor pressure, the steam phase is formed due to the separation of gases dissolved in the flow pass. Gas bubbles that suddenly coalesce create very high pressure spikes. As a result, “needles” seem to be inserted into the wall surface and hydraulic impacts (shocks) are created and holes and nests are formed in the pipe due to the corrosion of metal crystals. The article examines the formation of multiphase flow due to the occurrence of cavitation and the reasons for the structural in such flows, the impact crisis situations on the hydraulic properties. It was determined that one of the main reasons for the premature failure of pipelines in old fields is local cavitation events occurring in multiphase flows.

Keywords: multiphase, cavitation, the change of structure, diagnostics, critical velocity.

Received 13.12.2023

Revised 11.06.2024

Accepted 21.06.2024

For citation:

E.Kh. Iskandarov, M.F. Shukurlu, M.M. Hasanova

[Diagnosis of Structure Changes in Cavitation Flow]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2024, vol. 16, № 2, pp. 55-60 (in Azerbaijani)

Kavitasialı axınlarda struktur dəyişiklərinin diaqnostikası

E.X. İskəndərov, M.F. Şükürlü, M.M. Həsənova

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 16/21, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)

Xülasə

Məlumdur ki, təzyiqin azalıb doymuş buxar təzyiqinə yaxınlaşması zamanı mayedə həll olmuş qazların ayrılması hesabına buxar fazasının yaranması baş verir. Ani olaraq birləşən qaz qabarcıqları çox yüksək təzyiq sıçrayışları yaratmış olur. Nəticədə sanki divar səthinə “iynələr” batırılır və hidravliki zərbələr yaranmış olur. Beləliklə metalın kristallarının yeyilməsi hesabına boruda yuvalar, dəşiklər yaranır və kavitasiya hadisələrinin baş verməsi metal boruların vaxtından əvvəl sıradan çıxmasına səbəb olur. Məqalədə kavitasiya hadisəsinin baş verməsi hesabına multifazalı axının yaranması və bu cür axınlarda struktur dəyişiklərin baş verməsinin səbəbləri, böhran vəziyyətlərinin yaranmasının axının hidravlik xüsusiyyətlərinə təsiri məsələləri araşdırılıb. Böhran parametrlərinin qiymətləndirilməsi əsasında kavitasialı axınlarda struktur dəyişikliklərinin diaqnostikası göstərilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki neft mədənlərində boru kəmərlərinin vaxtından xeyli əvvəl sıradan çıxmasının əsas səbəblərindən biri multifazalı axınlarda baş verən lokal kavitasiya hadisələridir.

Açar sözlər: multifaza, kavitasiya, struktur dəyişməsi, diaqnostika, böhran sürəti.

Диагностика структурных изменений в кавитационных потоках

Э.Х. Искендеров, М.Ф. Шукурлу, М.М. Гасанова

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр. Азадлыг 16/21, Баку, AZ101, Азербайджан)

Аннотация

Известно, что при уменьшении давления и приближении к давлению насыщенного пара возникает паровая фаза за счет разделения растворенных в жидкости газов. Пузырьки газа, которые внезапно сливаются, создают очень высокие скачки давления. В результате создается впечатление, что в поверхность стены вставляются «иголки» и создаются гидроудары. Таким образом, в трубе создаются гнезда и дыры из-за разъедания кристаллов металла и возникновение явлений кавитации становится причиной преждевременного выхода из строя металлических труб. В статье исследовано образование многофазных потоков вследствие возникновения кавитации, причины структурных изменений в таких потоках и влияние кризисных ситуаций на гидравлические свойства потока. Показана диагностика структурных изменений кавитационных потоков на основе оценки кризисных параметров. Установлено, что одной из основных причин преждевременного выхода из строя трубопроводов на нефтяных месторождениях являются возникновение локальной кавитации, происходящие в многофазных потоках.

Ключевые слова: мультифазность, кавитация, изменение структуры, диагностика, критическая скорость.

Giriş

Təcrübələr göstərir ki, mayelərin nəqli zamanı boru kəmərlərində baş verən hidravlik zərbələr təkcə axının hərəkətinin ani olaraq dayandırılması və ya hərəkətə start verilməsi kimi hadisələrin hesabına baş vermir. Ümumiyyətlə bu cür zərbələr keçid prosesləri üçün xarakterik olmaqla neft-mədən praktikasındada geniş yayılmışdır [1-4]. Hətta qazsızlaşdırılmış neftlərin yığılması və nəqli proseslərində təzyiqin azalib doymuş buxar təzyiqinin qiymətinə yaxınlaşması halında mayədə həll olmuş qazların (mayenin öz buxarının) ayrılması, yəni yeni fazanın – buxar fazanın yaranması prosesi baş vermiş olur [5]. Bu cür qaynama prosesi bir qayda olaraq, xeyli qaz qabarcıqları yaranması ilə müşayiət olunur. Məlumdur ki, bu halların baş verməsi, əsasən mayenin hərəkəti zamanı en kəsik sahəsinin xeyli azaldığı (məsələn, borunun diametrinin azalması, boru xəttində yerli müqavimət yaranmasına səbəb olan siyirtmə, klapanın və s. maneələr olduqda) yerlərdə sürətin böyüməsi və təzyiqin aşağı düşməsi nəticəsində mümkün olur. Əlbəttə sürətin istənilən qədər artırılması və təzyiqin sonsuz olaraq azaldılması mümkün olmadığı kimi, təcrübə göstərir ki, kavitasiyalı axınların yaranma intensivliyi məhdud olmaqla, əksər hallarda lokal xarakter daşıyır. Belə ki, boru kəmərinin dar hissəsində baş verən bu cür qabarcıqlar daha geniş hissəyə keçdikdə sürətin azalması və təzyiqin çoxalması hesabına buxarlanmanın əksi olan kondensləşmə prosesinə məruz qalır [6, 7].

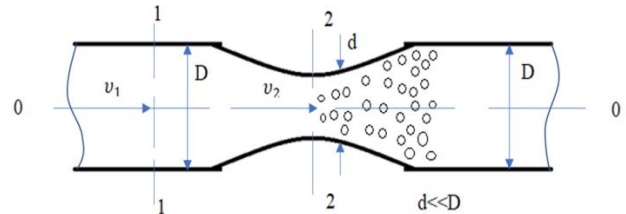
İşin məqsədi

Qeyd olunanları nəzərə alaraq, aşağıda təzyiq və sürət dəyişmələrindən asılı olaraq kavitasiyalı axınların xüsusiyyətlərinin araşdırılması, boru kəmərlərinin sərf xarakteristi-

kasına əsasən bu cür axınların diaqnostikası və böhran hallarını xarakterizə edən parametrlərin qiymətləndirilməsi məsələlərinə baxılmışdır.

Məsələnin qoyuluşu və həlli

Tutaq ki, boru kəmərinə mayenin axını zamanı (2-2) hissəsində daralma baş vermiş və bu zaman mayenin sürəti artaraq (1-1) kəsiyindəki v_1 sürətindən çox olmuş və v_2 qiymətini almışdır (şəkil 1). Sürətin çoxalması hesabına (2-2) kəsiyində təzyiq (P_2) xeyli azalmış və mayenin doymuş buxar təzyiqindən aşağı düşdüyü üçün ($P_2 < P_{d.b}$) nəticədə maye buxarlanmağa (soyuq qaynama) başlamışdır.



Şəkil 1 – Kavitasiyalı axının yaranması
Figure 1 – Formation of cavitation flow

Maye diametri d olan (2-2) kəsiyindən keçdikdən sonra kəmərin diametri əvvəlki diametrinə (D) bərabər olduğundan sürətin azalması və təzyiqin artması nəticəsində qaz qabarcıqlarının birləşməsi, partlaması ilə müşahidə olunan kavitasiya hadisəsi baş vermiş olacaqdır.

Sürtünmə itkilərinin, demək olar ki, olmamasını və yerli müqavimət itkisinin isə Veysbax düsturuna əsasən $\xi \frac{\rho v_2^2}{2}$ təşkil etdiyini nəzərə alaraq, hər iki kəsik üçün Bernulli tənliyinə əsasən aşağıdakı bərabərliyi yazmaq olar [6,7]:

$$P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} + \xi \frac{\rho v_2^2}{2} \quad (1)$$

Burada, $P_1 > P_2$, v_1 və v_2 - uyğun olaraq, (1-1) və (2-2) kəsiyində təzyiq və axın sürətlərinin qiymətləri;

ξ – daralma yerində yaranan yerli müqavimət əmsalı; ρ – axan mayenin sıxlığıdır.

Kavitasianın böhran vəziyyətinə uyğun ($P_2 = P_{b\bar{o}h}$ və $v_2 = v_{b\bar{o}h}$) (1) ifadəsindən alırıq:

$$\frac{2(P_1 - P_{b\bar{o}h})}{\rho v_1^2} = \frac{v_{b\bar{o}h}^2 - v_1^2}{v_1^2} + \xi \quad (2)$$

Məlumdur ki, (2) bərabərliyinin sol tərəfi böhran vəziyyətinə uyğun Eyler ədədini xarakterizə edir və bu kavitasianın böhran ədədi ($k_{b\bar{o}h}$) adlanır.

$$K_{b\bar{o}h} = \frac{2(P_1 - P_{b\bar{o}h})}{\rho v_1^2} \quad (3)$$

Sonuncu ifadədən göründüyü kimi böhran ədədi $k_{b\bar{o}h}$ kavitasialı axınları xarakterizə edən əsas meyar olmaqla həcmi sərf sürətinin verilmiş v_1 qiymətində və nəql olunan mayenin məlum sıxlığında bu meyarın aşağı qiymətə malik olması məhz yerli müqavimətin (daralan yerin) girişində olan P_1 təzyiqinin mayenin buxar elastikliyi təzyiqinə ($P_{d.b.}$)-nə qədər yaxın olmasının göstəricisidir. Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, bəzi texnoloji boru kəmərləri, nasosların sorma boruları mütləq təzyiqin kiçik qiymətlərində belə kavitasiasız işləməsi mümkünsüzdür. Təsədüdi deyil ki, hidravlik sistemlərin layihələndirilməsi zamanı kavitasianın böhran ədədinin azaldılması çox vacibdir. Kavitasiya ədədinin böhran qiymətinin (ξ) ifadəsindən göründüyü kimi, ($P_1 - P_{b\bar{o}h}$) təzyiqlər fərqi axının sürətinin v_1 -dən $v_{b\bar{o}h}$ qiymətindəki çoxalması zamanı dinamik təzyiqin düşməsinə xarakterizə edir.

Dinamik təzyiqin düşməsinə və ya kavitasianın böhran təzyiqinin borunun sərf xarakteristikasına uyğun olaraq qiymətləndirilməsi də mümkündür [8,9]. Bu məqsədlə

boruda daralma olmadığını, yəni (1-1) və (2-2) kəsiklərinin eyni ölçülü olduğunu ($d=D$) və təzyiqlər fərqi ($\Delta P = P_1 - P_2$) yalnız hidravlik itkidən asılı olduğunu qəbul etmək kifayətdir.

Onda P_1 təzyiqinin dəyişməz qiymətində borunun sərf xarakteristikasının dəyişməsinə aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \frac{\lambda \rho \ell}{2D} v_1^2$$

və ya

$$v_1 = A * \sqrt{\Delta \rho}; A = \sqrt{\frac{2D}{\lambda \rho \ell}} \quad (4)$$

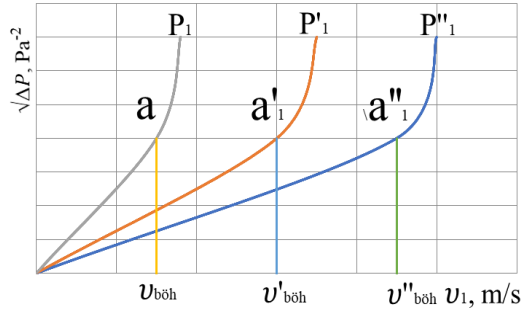
Burada λ – hidravlik müqavimət əmsalı;

ℓ - (1-1) və (2-2) kəsikləri arasındakı məsafədir. Sonuncu ifadələrdən göründüyü kimi, $v_1 = f(\sqrt{\Delta \rho})$ asılılığı koordinat başlanğıcından keçən düz xəttin tənliyidir. Yəni basqı itkisi Δp sürətin (v_1^2) kvadratı ilə mütənəsb olaraq dəyişir.

(2-2) kəsiyindəki baxılan halda kavitasianın yaranması təzyiq kavitasiasının böhran təzyiqi qəbul olunduğundan ($P_2 = P_{b\bar{o}h}$) xətti asılılığın pozulduğu nöqtəsinə uyğun gəlir (şəkil 2).

Şəkil 2-dən göründüyü kimi, (2-2) kəsiyindən sonra basqı (təzyiq) itkisi daha intensiv olaraq artır. Məhz qaz-buxar kavernalarının yaranması, axının struktur quruluşunun dəyişməsi nəticəsində belə bir halın yaranması baş verir. Şəkildən göründüyü kimi müxtəlif P_1 təzyiqlərində başqa bir böhran sürətinə uyğun gələn $v = f(\sqrt{\Delta p})$ asılılığını almaq olar (P_1, P'_1 və P''_1 ayrıləri).

Qeyd etmək lazımdır ki, bu zaman axan mayenin xüsusiyyətlərinin (məsələn sıxlığının) dəyişməsinə uyğun şəkil 2-də göstərilən xarakteristikalar da dəyişmiş olacaqdır.



Şəkil 2 – Kavitasiyalı axınlarda hidravlik xarakteristikalar

Figure 2 – Hydraulic characteristics in cavitation flows

İndi isə (3) ifadəsinə uyğun olaraq kavitasiyanın böhran vəziyyətini araşdıraraq (3) ifadəsinə əsasən axının sürətinin $v_{b\ddot{o}h}$ qiymətinə qədər artması nəticəsində baş verən dinamik təzyiq düşməsinə aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\Delta P_{b\ddot{o}h} = P_1 - P_{b\ddot{o}h} = \frac{K_{b\ddot{o}h} \rho}{2D} v_1^2$$

və ya

$$v_1 = B \sqrt{\Delta P_{b\ddot{o}h}}; B = \sqrt{\frac{2}{K_{b\ddot{o}h} \rho}} \quad (5)$$

Sonuncu ifadədən göründüyü kimi (4) və (5) ifadələri eyni xarakterli asılılıqları ifadə edir və keyfiyyətcə eynidir.

Kəsilməzlik tənliyinə əsasən yazmaq olar:

$$v_{b\ddot{o}h} * \frac{\pi d^2}{4} = v_1 * \frac{\pi D^2}{4}$$

Onda böhran sürətinin qiymətini aşağıdakı kimi hesablamaq mümkündür:

$$v_{b\ddot{o}h} = \left(\frac{D}{d}\right)^2 * v_1 \quad (6)$$

Böhran sürətinin qiymətini bilərək, (2) ifadəsindən kavitasiyanın böhran ədədini də

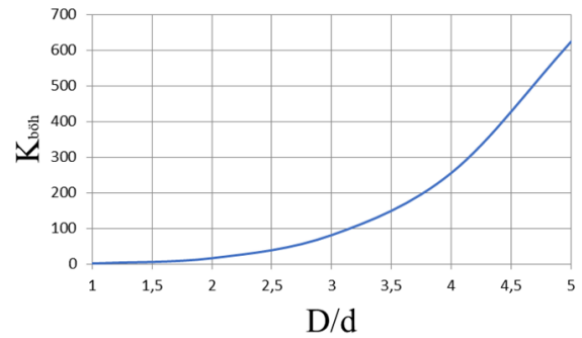
hesablamaq olur:

$$K_{b\ddot{o}h} = \left(\frac{D}{d}\right)^4 - 1 + \xi \quad (7)$$

Məlumdur ki, yerli müqavimət əmsalı ölçüsüz kəmiyyət olmaqla boru kəmərinin müəyyən elementində (siyirtmə, daralma, dönmə və s.) axına göstərilən hidravlik müqaviməti xarakterizə edir.

Baxılan halda, yəni D diametrindən d-yə keçid üçün yerli müqavimət əmsalını $\xi = 0.5$ qəbul etmək olar. Onda kavitasiyanın böhran ədədinin hesablanması üçün alınmış (6) ifadəsinə ξ əmsalı nəzərə alınmadan aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$K_{b\ddot{o}h} = \left(\frac{D}{d}\right)^4 \quad (8)$$



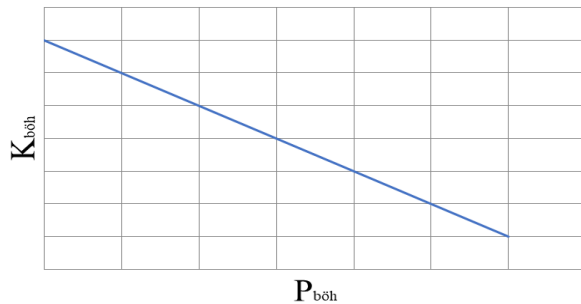
Şəkil 3 – Kavitasiyanın böhran ədədinin D/d-dən asılılığı

Figure 3 – Dependence of cavitation crisis number on D/d

Göründüyü kimi, şəkil 3-də kavitasiyanın böhran qiyməti diametrlərin $\left(\frac{D}{d}\right)$ nisbətinin çoxalması ilə kəskin olaraq çoxalır.

Kavitasiyanın böhran ədədi məlum olduqdan sonra (3) ifadəsinə əsasən məlum P_1 təzyiqində böhran vəziyyətinə uyğun təzyiqi aşağıdakı ifadəyə əsasən hesablamaq olar:

$$P_{b\ddot{o}h} = P_1 - \frac{K_{b\ddot{o}h}}{2} * \rho v_1^2 \quad (9)$$



Şəkil 4 – Kavitasianın böhran ədədinin böhran təzyiqindən asılılığı

Figure 4 – Dependence of cavitation crisis number on crisis pressure

Sonuncu ifadədən göründüyü kimi sabit P_1 təzyiqində kavitasialı axınlarda böhran vəziyyətinə uyğun gələn təzyiq kavitasiya ədədinin çoxalması ilə azalmış olacaqdır (şəkil 4).

Nəticə

Mədən boru xəttlərinin vaxtından əvvəl sıradan çıxmasının mühüm səbəblərindən biri lokal şəkildə baş verən kavitasiya hadisəsi ilə bağlı struktur dəyişiklərinin olmasıdır.

Təzyiq və sürət dəyişmələrindən asılı olaraq kavitasialı axınlarda struktur dəyişiklərinin və böhran parametrlərinin diaqnostikası verilmişdir.

Maraqlar münaqişəsi

Müəlliflər bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edirlər.

REFERENCES

1. Niqmatulin R.İ. Dinamika mnoqofaznix sred. M.: Nauka, 1987, T.1, 440 s. (in Russian)
2. Tuqunov P.İ., Brot R.A., Kutukov S.E. Opredeleniye udarnogo davleniya v nefteprovode s gazonasışennoy neftu pri perexodnix rejimax // Neftegazovoe delo: transport i xraneniye, 2005, Tom 3, s. 199-205. (in Russian)
3. Pirsol İ.S. Kavitatsiya: per. s anql., M.: Nedra, 2012, 98 s. (in Russian)
4. Raxmatullin Ş.İ. Kavitaçiya v qidravliçeskix sistemax maqistralnıx nefteprovodov. M.: Nedra, 1986, 276 s. (in Russian)
5. İskəndərov E.X. Nəql olunan təbii və səmt qazların qarışıqında struktur dəyişikliyin diaqnostikası. Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, Bakı, 2018, Cild 10, №3, s. 75-79 (in Azerbaijani)
6. Landau L.D., Lifşits E.M. Qidrodinamika i nauka, 1986, 736 s. (in Russian)
7. İsmayılov Q.Q., İsmayılova F.B., İskəndərov E.X. Nəql fenomeni. Bakı, 2021, 212 s. (in Azerbaijani)
8. İsmayılov Q.Q., İsmayılova F.B., İskəndərov E.X. Postroenie matematičeskoy modeli rasxodnix xarakteristik multifaznix truboprovodov s učetom fazovıx perexodov / İnjenerno-fiziçeskiy jurnal. Tom 96, № 1, 2023, s. 75-80. (in Russian)
9. İsmayılov Q.Q. Şahlarlı Multifazalı sualtı boru kəmərlərinin istismar səmərəliliyinin artırılmasının bəzi məsələləri/ Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, cild 14, №2, Bakı, 2022, s. 72-80 (in Azerbaijani)