

UDC 542.23

DOI 10.52171/herald259

## **The Evaluation of Critical Velocity and Dynamic Loads in Multiphase Flows**

**F.B. Ismayilova, M.F. Shukurlu**

*Azerbaijan State University of Oil and Industry (Baku, Azerbaijan)*

### **For correspondence:**

İsmayilova Fidan / e-mail: fidan.ismayilova.2014@mail.ru

### **Abstract**

In the article, the matter of estimation of critical velocity and dynamic loads was considered during the movement of multiphase flows through pipelines, taking into account their main feature. It is determined how the critical velocity changes along the cross-section for different structural forms of the flow formed regarding the interaction of the phases. Based on the calculation of dynamic loads in multiphase flows based on the change of the critical velocity, it was determined that these loads are less for the movement in the form of a dispersed-bubble structure than in the stratified-plug structures. It was determined that the minimum value of the critical velocity corresponds to the maximum value of the pressure gradient.

**Keywords:** critical velocity, dynamic load, multiphase, structural change, pressure gradient, density.

**Submitted** 31 October 2023

**Published** 23 June 2025

### **For citation:**

F.B. Ismayilova, M.F. Shukurlu

[About Evaluation of Critical Velocity and Dynamic Loads in Multiphase Flows]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2025, vol. 17 (2), pp. 45-49

## **Multifazalı axınlarda böhran sürəti və dinamik yüklərin qiymətləndirilməsi**

**F.B. İsmaylova, M.F. Şükürlü**

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Bakı, Azərbaycan)*

### **Xülasə**

Məqalədə multifazalı axınların boru kəmərləri ilə hərəkəti zamanı onların əsas xüsusiyyətini nəzərə alaraq böhran sürəti və dinamik yüklərin qiymətləndirilməsi məsələsinə baxılmışdır. Fazaların qarşılıqlı təsirinə uyğun olaraq formalaşan axının müxtəlif struktur formaları üçün böhran sürətinin ən kəskin boyu necə dəyişməsi müəyyən edilmişdir. Böhran sürətinin dəyişməsinə uyğun olaraq multifazalı axınlarda dinamik yüklərin hesablanması əsasında disperslənmiş-qabarcıqlı struktur formalı hərəkət üçün bu yüklərin fazalara ayrılmış-tıxaclı strukturlarla müqayisədə daha az olması müəyyən edilmişdir. Böhran sürətinin minimal qiymətinin təzyiq qradientinin maksimal qiymətinə uyğun gəlidiyi müəyyən edilmişdir.

**Açar sözlər:** böhran sürəti, dinamik yük, multifaza, struktur dəyişikliyi, təzyiq qradienti, sıxlıq.

---

## **Об оценке критической скорости и динамических нагрузок в многофазных потоках**

**Ф.Б. Исмайлова, М.Ф. Шукурлу**

*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (Баку, Азербайджан)*

### **Аннотация**

В статье с учетом основной особенности движения мультифазных систем в трубопроводах рассмотрены вопросы оценки критической скорости и динамических нагрузок. Для различных структурных форм течения были проанализированы изменения критической скорости по поперечному сечению трубопровода. На основе расчета динамических нагрузок с учетом значений критической скорости было установлено, что по сравнению со структурой диспергированно-пузырькового течения в раздельно-пробковых структурных формулах значение динамических нагрузок намного больше. Максимальное значение градиента давления соответствует минимальному значению критической скорости.

**Ключевые слова:** критическая скорость, динамическая нагрузка, мультифаза, структурное изменение, градиент давления, плотность.

## Giriş

Məlumdur ki, hal-hazırda Xəzər dənizinin Azərbaycan sektorunda neft-qaz-kondensat yataqlarının “quyu-yığım-nəql” şəbəkəsində heterogen quyu məhsullarının hərəkətinin ən çox multifazalı axın formaları geniş yayılmışdır [1-3]. Bu cür axınların əsas xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, onlar xarici məhdudlaşdırıcı səthlə (borunun divarı) yanaşı fazaları ayıran səthə də (hidrodinamik, istilik, faza və s.) malik olur. Odur ki, bu cür axınların öyrənilməsi və onların riyazi təsviri xeyli çətin olduğundan onlar qərarlaşmamış hərəkətli axınlar sinfinə aid edilir [4-6]. Məlumdur ki, onların belə hərəkətini təsvir etmək məqsədilə maye və qaz fazalarının sürətindən asılı olaraq axın üçün aşağıdakı struktur formalarının mövcudluğu nəzərə alınır: Disperslənmiş-qabarcıqlı; Tıxaclı; Həlqəvari; Dalğavari təbəqələşmiş; Hamarvari təbəqələşmiş.

Qaz fazasının, qaz tutumunun çoxluğu, fazalararası sürtünmənin və boru kəmərinin mürəkkəb quruluşlu trasa malik olması hesabına təcrübə göstərir ki, dəniz yığım-nəql sistemlərinin boru kəmərlərində tez-tez maye tıxacları yaranır [7, 8]. Bu tıxacların boruda hərəkəti zamanı maneəyə rast gəldikdə (məsələn, əyilmə-dönmə yerləri, klapanlar və s.) zərbə təsirindən təzyiq sıçrayışı ilə müşahidə olunan müxtəlif dinamik yüklər yaranır. Yaranan zərbə qüvvəsinin maye tıxacının hərəkət sürətinin sıxlıqdan və boru kəmərinin diametrindən asılı olaraq müxtəlif qiymətlər alması mümkündür.

Boru kəməri ilə sıxlığı sabit olan mühitin, məsələn multifazalı axının disperslənmiş qabarcıqlı struktur formasına malik olan axının hərəkəti mövcuddursa, onda dinamik yüklər baş vermir. Bu zaman hər bir döngədə boru kəməri sabit bir yüklə yüklənmiş olur [4, 5].

Multifazalı axın dinamikasını araşdırarkən nəzərə almaq lazımdır ki, kəmərdə sərfin

dəyişməsi zamanı axının strukturu da dəyişə bilər. Belə ki, böyük sərfərdə qarışıqın hərəkət sürəti çoxalır və sürətin böhran qiymətində kəmərdə mövcud olan təbəqəli, fazalara ayrılmış struktur forması tədricən disperslənmiş – qabarcıqlı hərəkət formasına keçid alır. Bu halda qarışıq bircinsli struktur forması kimi bütün axın boyu sabit sıxlıqla xarakterizə olunur. Əgər qarışıqın sərfi azdırsa, bu zaman sürət böhran sürətindən kiçik olduğu üçün multifazalı axında qradiyent-sürət sahəsinin gərginliyi bircinsli, yəni disperslənmiş – qabarcıqlı qarışıqın formalaşması üçün kifayət etmir. Bu baxımdan multifazalı qarışıq bir-birini əvəz edən qaz və maye tıxaclarından ibarət olan bir axın olaraq qalır. Axında qarışığı təşkil edən komponentlər bir-birindən fazaların sərhəddi ilə ayrılmış olduğundan bu təbəqələrə (fazalara) ayrılmış struktur formalı axın hesab edilir. Məhz bu cür tıxaclı struktur formaya malik axın zamanı fazaların sıxlıqları fərqi hesabına boru kəmərinin döngələrində və digər maneələr olan yerlərdə qərarlaşmamış dinamik yüklər baş verir.

## İşin məqsədi

Boru kəmərinə təsir edən dinamik yüklərin müəyyən edilməsi məqsədilə yuxarıda qeyd olunan və axının struktur formasının dəyişməsinə səbəb olan böhran sürətinin təyin olunması və qiymətləndirilməsi vacibdir. Qarışıqın sürətinin böhran qiymətində multifazalı boru kəmərinə təsir edən dinamik yük maksimal olacaqdır.

## Məsələnin qoyuluşu

Aparıcı mühiti qaz olan multifazalı kəmərdə statik təzyiq qradiyentinin axının sürətindən asılılığına əsasən böhran sürətinin qiymətləndirilməsinə baxaq.

### Məsələnin həlli

Məlumdur ki, statik təzyiq qradiyentinin axının en kəsiyi boyu paylanması aşağıdakı ifadəyə uyğun baş verir [4]:

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

burada  $v$  – axının orta sərf sürəti,  $m/s$ ;  $\rho_q$  – qazın sıxlığı,  $kq/m^3$ ;  $\alpha$  – nisbi koordinatdır ( $\alpha = \frac{r}{R}$ ).

Nəzərə alsaq ki, multifazalı axında disperslənmiş – qabarcıqlı struktur formasının formalaşması üçün statik təzyiq qradiyenti maye və qaz fazalarının xüsusi çəkirlərinin fərqiindən az olmamalıdır, onda (1) ifadəsi nəzərə alınmaqla böhran sürətinin qiymətləndirilməsi məqsədilə aşağıdakı ifadəni alırıq:

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

$$A = 0.25 \cdot \sqrt{\left(\frac{\rho_m}{\rho_q} - 1\right) \cdot g \cdot D} \quad (3)$$

Onda kəmərdə yaranan dinamik yük aşağıdakı kimi olar:

$$F_{din} = 0.05 \cdot \rho_{qar} \cdot \frac{\left(\frac{\rho_m}{\rho_q} - 1\right) \cdot g \cdot D^3}{\alpha \cdot (1 - \alpha^2)} \quad (4)$$

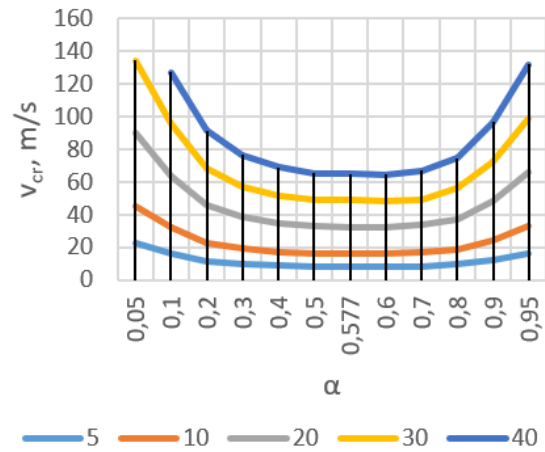
Sonuncu ifadələrə əsasən böhran sürətinin “ $A$ ” və “ $\alpha$ ” parametrlərindən asılı olaraq paylanmasını müəyyən etmək üçün hesablamalar aparılmışdır (cədvəl).

Hesablamaların nəticələrinə əsasən “ $A$ ” və “ $\alpha$ ”-nın müxtəlif qiymətlərində böhran sürətinin dəyişməsinə əks etdirən qrafiklər qurulmuşdur (şəkl. 1).

Şəkildən görüldüyü kimi, böhran sürəti axının mərkəzindən uzaqlaşdıqca əvvəlcə monoton olaraq kəskin azalır, “ $\alpha=0.577$ ” qiymətində minimal qiymətinə çatır, sonra isə artmağa başlayır.

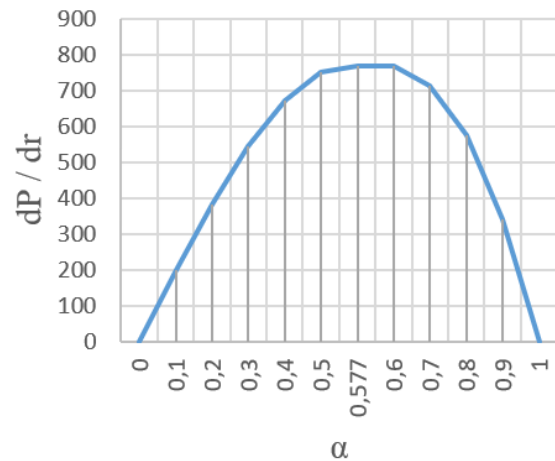
Böhran sürətinin ekstremal (minimum) qiymətinin “ $\alpha$ ”-nın hansı qiymətinə uyğun gəldiyini (1) ifadəsindən törəmə almaqla da

asan yoxlamaq olar. Şəkil 1-dən və (2) və (3) ifadəsindən görüldüyü kimi, “ $\alpha=0$  və  $1$ ” olduqda böhran sürətini təyin etmək mümkün deyil. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, böhran sürətinin minimal qiymətində (yəni “ $\alpha=0.577$ ” olduqda) statik təzyiq qradiyenti maksimal qiymət alır və “ $\alpha=0$  və  $1$ ” olduqda, “ $0$ ”-a çevrilir (şəkil 2).



Şəkil 1 – Böhran sürətinin  $\alpha$ -dan asılılığı (1÷5 –  $A=5, 10, 20, 30, 40$  m/s olduqda)

Figure 1- Dependence of critical velocity on  $\alpha$  (at 1÷5 –  $A=5, 10, 20, 30, 40$  m/s)



Şəkil 2 – Statik təzyiq qradiyentinin paylanması.

Figure 2- Distribution of static pressure gradient

İndi isə aparıcı fazası qaz olan multifazlı axında ayrı-ayrı struktur formaları üçün dinamik yüklərin müqayisəsinə baxaq.

**Cədvəl** – “A” və “α”-nın müxtəlif qiymətləri üçün böhran sürətinin hesablanmış qiymətləri (m/s ilə)

**Table** – Calculated values of critical velocity at different values of “A” and “α”

| A,<br>m/s | α      |        |       |       |       |       |       |       |       |       |        |
|-----------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
|           | 0.05   | 0.1    | 0.2   | 0.3   | 0.4   | 0.5   | 0.6   | 0.7   | 0.8   | 0.9   | 0.95   |
| 5         | 22.4   | 15.89  | 11.41 | 9.57  | 8.62  | 8.16  | 8.07  | 8.37  | 9.32  | 12.09 | 16.43  |
| 10        | 44.8   | 31.78  | 22.82 | 19.14 | 17.24 | 16.32 | 16.14 | 16.74 | 18.64 | 24.18 | 32.9   |
| 20        | 89.6   | 63.56  | 45.64 | 38.28 | 34.48 | 32.64 | 32.28 | 33.48 | 37.28 | 48.36 | 65.92  |
| 30        | 134.4  | 95.34  | 68.46 | 57.42 | 51.72 | 48.96 | 48.42 | 49.22 | 55.92 | 72.54 | 98.88  |
| 40        | 179.11 | 127.12 | 91.28 | 76.56 | 68.96 | 65.28 | 64.56 | 66.96 | 74.56 | 96.72 | 131.84 |

Qarışıq sıklığının dəyişməsi hesabına yaranan dinamik yükü maye və qaz fazalarının dinamik yüklərinin fərqi kimi də qiymətləndirmək mümkün olduğunu və böhran sürətini nəzərə alsaq yazı bilərik:

$$F_{din}^* = \frac{0.05 * (\rho_m - \rho_q)^2 * g * D^3}{\rho_q * \alpha * (1 - \alpha^2)} \quad (5)$$

(4) və (5) ifadələrindən yazmaq olar:

$$\frac{F_{din}^*}{F_{din}} = \frac{\rho_m - \rho_q}{\rho_{qar}} \quad (6)$$

Sonuncu ifadədən göründüyü kimi, disperslənmiş-qabarcıqlı axınlarda deyil, fazalara ayrılmış-tıxaclı hərəkət strukturaya malik olan axınlarda dinamik yüklərin qiyməti daha çox olacaqdır. Həqiqətən qaz fazasının dominantlıq (“β>0.7”) təşkil etdiyi multifazalı axınlarda “ρ<sub>m</sub> – ρ<sub>q</sub>” fərqi “ρ<sub>qar</sub>”-dan dəfələrlə çoxdur.

## Nəticə

Multifazalı axınların müxtəlif struktur formaları nəzərə alınmaqla böhran sürətinin qiymətləndirilməsi əsasında boru kəmərləində dinamik yüklərin qiymətləndirilməsi məsələsinə də baxılmışdır. Disperslənmiş axınlarla müqayisədə fazalara ayrılmış-tıxaclı hərəkət formaları üçün dinamik yüklərin dəfələrlə çox olması göstərilmişdir. Multifazalı axının en kəskin boyu təzyiq qradientinin maksimal böhran sürətinin isə minimal qiymətinin nisbi koordinatın “α = 0.577” qiymətinə uyğun gəldiyi göstərilmişdir.

## Maraqlar münaqişəsi

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

## REFERENCES

1. Mamayev V.A., Odişariya Q.E., Klapçuk O.V. i dr. Dvijeniyе qazojidkostnix smesey v trubax. Moskva, Nedra, 1978, 270 s.
2. Qujov A.İ. Sovmestnyy sbor i transport nefti i qaza. Moskva, Nedra, 1973, 280 s.
3. Povişev N.İ., Verşinin S.A., Vernikovskaya O.S. Nefteqazokondensatniye mestorojdeniya. Sistemniy podxod k upravleniyu multifaznix potokov. Profesionalı o nefti, 2017, vıpusk 4.
4. Sitenkov V.T. Teoriya qradiento-skorostnoqo polya. Moskva, 2004, 308 s.
5. Serov N.V., Kurişina V.A. Modelirovaniye vliyaniya polojeniya truboprovoida na rejim mnoqofaznoqo potoka. Arxitektura, stroitelstvo, transportirovka, 2022, N1 (99), s 88-95.
6. İsmayilov Q.Q., İsmayilov R.A., Axundzade F.N. Diagnostirovaniye naliçiya jidkix vkuçeniy v qazoprovoidax. SOCAR PROCEEDINGS. Special Issue №1 (2022) pp. 156-161.
7. Gafar G. Ismailov, Vugar M. Fataliyev, Elman Kh. Iskenderov. Investigating the impact of dissolved natural gas on the flow characteristics of multicomponent fluid in pipelines. / Open Physics, 2019, 17, pp 206-213.
8. Nağızadə A.R., İsmaylova F.B. Magistral qaz kəmərlərinin konstruktiv etibarlılığının müasir proqram təminatı vasitəsilə hesablanması. Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri jurnalı, cild 15, N3, 2023, s.59-65.