

UDC 622.24

DOI 10.52171/herald.247

About Loss of Structural Stability during Movement of Multiphase Drilling Fluids

G.G. Ismayilov¹, R.H. Veliyev², E.P. Gulubayli¹

¹ *Azerbaijan State Oil and Industry University (Baku, Azerbaijan)*

² *State Oil Company of Azerbaijan Republic (Baku, Azerbaijan)*

For correspondence:

Gulubayli Emrah / e-mail: emrah_qulubeyli@yahoo.com

Abstract

The analysis of scientific research conducted in recent years shows that the drilling fluids used in the drilling of oil and gas wells can be described by rheological models. Currently, in most cases, these solutions are characterized by visco-plastic (pseudo-plastic) properties depending on the different basis and composition. Despite the above, considering the existence of the fact that they have structural stability and relaxation properties during the movement of drilling fluids and the importance and relevance of their attention, the article deals with the issues of rheological modeling of such systems and taking into account the violation of their structural stability. In the article, it is proposed to use the generalized exponential model for the description of oil-based drilling fluids in the presence of shear deformation. As a result of the rheological test of oil-based drilling muds of different composition on the basis of the mentioned model, the possibility of determining their structural stability coefficient and relaxation time has been shown.

Keywords: drilling fluid, rheological model, structural stability, relaxation time, viscosity, multiphase.

Submitted 10 May 2024

Published 17 Mar 2025

For citation:

G.G. Ismayilov, R.H. Veliyev, E.P. Gulubayli

[About Loss of Structural Stability during Movement of Multiphase Drilling Fluids]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2025, vol. 17 (1), pp. 81-87

Multifazalı qazıma məhlullarının hərəkəti zamanı struktur dayanıqlığının itirilməsi haqqında

Q.Q. İsmayilov¹, R.H. Vəliyev², Ə.P. Qulubəyli¹

¹ *Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Bakı, Azərbaycan)*

² *Azərbaycan Respublikası Dövlət Neft Şirkəti (Bakı, Azərbaycan)*

Xülasə

Son illərdə aparılan elmi tədqiqat işlərinin təhlili göstərir ki, neft və qaz quyularının qazılmasında istifadə olunan qazıma məhlulları reoloji modellərlə təsvir oluna bilər. Hal-hazırda əksər hallarda bu məhlulların müxtəlif əsaslı və tərkibli olmasından asılı olaraq özlü-plastik (pseudoplastik) xassələrlə xarakterizə olunur. Qeyd olunanlara baxmayaraq qazıma məhlullarının hərəkəti zamanı onların struktur dayanıqlığına və relaksasiya xüsusiyyətlərinə malik olması faktlarının mövcudluğu və onların diqqətə alınmasının vacibliyini və aktuallığını nəzərə alaraq məqalədə bu cür sistemlərin reoloji modelləşdirilməsi və onların struktur dayanıqlığının pozulmasının nəzərə alınması məsələlərinə baxılmışdır. Məqalədə sürüşmə deformasiyasının mövcudluğu şəraitində neft əsaslı qazıma məhlullarının təsviri üçün ümumiləşdirilmiş eksponensial modeldən istifadə olunması təklif olunmuşdur. Qeyd olunan modelin əsasında müxtəlif tərkibli və neft əsaslı qazıma məhlullarının reoloji sınağı nəticəsində onların struktur dayanıqlıq əmsalının və relaksasiya vaxtının təyininin mümkünlüyü göstərilmişdir.

Açar sözlər: qazıma məhlulu, reoloji model, struktur dayanıqlığı, relaksasiya vaxtı, özlülük, multifaza.

О потере структурной устойчивости при движении многофазных буровых растворов

Г.Г. Исмаилов¹, Р. Г. Велиев², А.П. Гулубейли¹

¹ *Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (Баку, Азербайджан)*

² *Государственная Нефтяная Компания Азербайджанской Республики (Баку, Азербайджан)*

Аннотация

Анализ проведенных в последние годы научных исследований показывает, что буровые растворы, используемые при бурении нефтяных и газовых скважин, могут быть описаны реологическими моделями. В настоящее время в большинстве случаев эти растворы характеризуются вязкопластическими (псевдопластичными) свойствами в зависимости от различной основы и состава. Учитывая наличие факта их структурной устойчивости и релаксационных свойств при движении буровых растворов, в статье рассматриваются вопросы реологического моделирования таких систем с учетом нарушения их структурной устойчивости. Предлагается использовать обобщенную экспоненциальную модель для описания буровых растворов на нефтяной основе при наличии скользящей деформации. В результате реологических испытаний буровых растворов на нефтяной основе различного состава на основе указанной модели показана возможность определения их коэффициента структурной устойчивости и времени релаксации.

Ключевые слова: буровой раствор, реологическая модель, структурная устойчивость, время релаксации, вязкость, многофазность.

Giriş

Məlumdur ki, neft və qaz quyularının qazılmasında istifadə olunan qazıma məhlullarının reofiziki xüsusiyyətləri çox geniş bir diapazonda dəyişə bilər. Bu cür müxtəliflik onların necə hazırlanması, hansı əsaslı olması və tərkibində olan qatqılarla bağlıdır. Aparılan təcrübələr göstərir ki, əksər hallarda gillərdən istifadə olunmaqla hazırlanmış qazıma məhlulları özlüplastik və ya psevdoplastik xassələrə və struktur özlülüklə xarakterizə olunmaqla yanaşı başlanğıc sürüşmə gərginliyinə (τ_0) malik olur. Son illərdə aparılan tədqiqatlar göstərir ki, qazıma məhlulları, hətta nanotəbiətli və relaksasiya xüsusiyyətli də ola bilər. Bu cür qazıma məhlullarının boruda hərəkəti zamanı müəyyən şəraitdə axının dayanıqlılığının itməsi kimi hallar da müşahidə olunur. Bir qayda olaraq bu halların baş verməsi sistemin elastikliyi və daxili struktur dəyişiklikləri ilə bağlı olur. Bu cür sistemlər reoloji cəhətdən qeyri-taraz sistemlərə aid edilir və onların axma ayrılması $\tau = f(\dot{\gamma})$ əsasən qeyri-xətti asılılıqlarla xarakterizə olunur. Bu cür sistemlərdə baş verən anomallıqlar müxtəlif amillərlə (məsələn, neftlərin tərkibində “qara” emulqatorların – parafin, asfaltenlərin olması və onların qarşılıqlı təsiri, faza çevrilmələrinin baş verməsi və s.) izah olunsada, viskozimetrlə aparılan reoloji tədqiqatlar [1-4] nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, hələ Reynolds ədədinin böhran qiymətinə çatmamış struktur əmələ gətirən sistemlərdə axının dayanıqlılığının pozulması kimi hallar baş vermiş olur. Aparılan elmi-tədqiqat işlərinin [1, 3] nəticələrinə əsasən qeyd olunanların baş verməsi həmin sistemlərdə relaksasiya xassələrinin yaranması ilə əlaqədar olmaqla təkcə kəmiyyət deyil, həm də onların hərəkəti zamanı keyfiyyət dəyişmələrinə də səbəb ola bilər. Odur ki, qeyd olunan strukturu əmələ gətirən qeyri-nyuton xassəli sistemlərin nəqlinin etibarlı və səmərəli həyata keçirilməsi onların relaksasiya xüsusiyyətlərinin düzgün qiymətləndirilməsi ilə sıx bağlıdır [2, 5, 6].

İşin məqsədi

Quyuların qazılması zamanı texnoloji proseslərin səmərəliliyinin artırılması problemləri tətbiq olunan qazıma məhlullarının mürəkkəb struktura və relaksasiya xüsusiyyətlərinə malik olması hesabına daha da çətinləşə bilər. Odur ki, reoloji tədqiqatlara əsaslanaraq, ilk növbədə bu məhlulların relaksasiya xüsusiyyətli olub-olmamasının yoxlanılması vacibdir. Məlumdur ki, reoloji mürəkkəb sistemlər üçün axma ayrılardan istifadə etməklə Kros üsulu [4] ilə sistemin xətti özlü-elastikliyə malik olub-olmaması və relaksasiya xüsusiyyəti mövcuddursa, onun parametrlərini təyin etmək mümkündür. Bu məqsədlə $1/\eta^2 = f(\tau^2)$ xətti asılılığının alınması vacib şərtidir.

Məsələnin qoyuluşu

Qeyri-nyuton xassəli müxtəlif neftlərlə aparılan reoloji tədqiqatların Kros üsulu ilə aparılan sınaq nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, $1/\eta^2 = f(\tau^2)$ interpretasiya asılılıqları düz xətt deyil, qeyri-xətti asılılıqlardır. Bu cür asılılıqların mövcudluğu sistemdə baş verən struktur dəyişiklikləri ilə də izah oluna bilər. Məhz bu cür struktur dəyişikliklə bağlı olan sistemlərin reoloji təsviri üçün model seçilməlidir ki, onların daxili struktur dəyişikliyinə nəzərə alsın. Bu baxımdan eksponensial tipli reoloji modeldən istifadə olunması məqsədə uyğun sayıla bilər [7, 8]. Həmin reoloji modelə uyğun olaraq sistemin struktur dayanıqlıq əmsalını (α) aşağıdakı ifadəyə əsasən qiymətləndirmək olar [7]:

$$\alpha = \frac{\varphi_{\infty} - \varphi}{\frac{\partial \varphi}{\partial \tau^2}} \quad (1)$$

Burada: α – sistemin struktur dayanıqlıq əmsalı;

$\varphi = \frac{1}{\eta}$ – mayenin hərəkətliliyi (η – özlülük);

φ_0 və φ_∞ uyğun olaraq, $\tau=0$ və ən böyük sürüşmə gərginliyində (τ_∞) axıcılıqdır.

(1) ifadəsini α -nin sabit qiymətində inteqrallasaq, alırıq:

$$\varphi = \varphi_\infty - (\varphi_\infty - \varphi_0)e^{(-\tau^2/\alpha)} \quad (2)$$

Sonuncu ifadədən də göründüyü kimi, τ^2/α ölçüsüz kəmiyyət olduğundan struktur dayanıqlığı xarakterizə edən α əmsalı da τ^2 parametrinin ölçü vahidi ilə eyni, yəni (Pa^2) olmalıdır. Ümumiyyətlə, α əmsalını vahid axıcılığa deformasiya gücü kimi interpretasiya etmək olar [8]. Bu hal, demək olar ki, Maksvel modelində elastik deformasiyanın işinin təyini analogi hal kimi qəbul edilə bilər. Nəzərə alsaq ki, $\varphi = 1/\eta$ onda, (2) ifadəsini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$\dot{\gamma} = \tau[\varphi_\infty - (\varphi_\infty - \varphi_0)e^{(-\tau^2/\alpha)}] \quad (3)$$

Göründüyü kimi (2) tənliyini aşağıdakı kimi də yazmaq olar:

$$\ln \bar{\varphi} = \ln \frac{\varphi_\infty - \varphi}{\varphi_\infty - \varphi_0} = -\frac{\tau^2}{\alpha} \quad (4)$$

Sonuncu xəttiləşdirilmiş ifadədən α əmsalının təyini üçün φ_0 və φ_∞ parametrlərinin qiyməti də məlum olmalıdır. Bu parametrlər sınağı aparılan hər bir sistem üçün $\varphi = f(\tau^2)$ asılılığının qurulması ilə qrafikə əsasən təyin edilir. Beləliklə, struktur dəyişikliyinə məruz qalan sistemlər üçün reoloji parametrlərin (viskozimetr məlumatlarının) ekstrapolyasiyası əsasında $\ln \bar{\varphi} = f(\tau^2)$ asılılığından istifadə etməklə φ_0 , φ_∞ və α parametrlərini müəyyənləşdirmək olar.

Qeyd olunan reoloji tədqiqatların sınağı müxtəlif tərkibli və neft əsaslı qazıma məhlullarının təmsalında aparılmışdır. Sınağı aparılan 10 müxtəlif neft əsaslı qazıma məhlulları və onların tərkibi cədvəl 1-də göstərilmişdir.

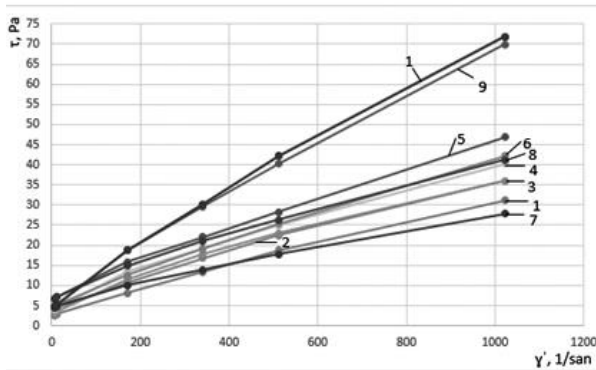
Cədvəl 1 – Neft əsaslı qazıma məhlulları və onların tərkibi

Table 1 – Oil-based drilling fluids and their composition

Qazıma məhlulları	$\rho, \text{kg/m}^3$	Neft əsaslı qazıma məhlullarının tərkibi
1	900	65% dizel, 35% su, 8ppb Lime, 6ppb OBM-VIS, 8ppb Versamul, 25% CaCl_2 , 6.5 ppb OBM FLC
2	1190	70% dizel, 30% su, 8ppb Lime, 6.5ppb OBM-Vis, 7.5ppb Versamul, 25% CaCl_2 , 151ppb Barit, 6ppb OBM FLC
3	1280	72% dizel, 28% su, 7.5ppb Lime, 6.5ppb OBM-Vis, 7.5ppb Versamul, 30% CaCl_2 , 204ppb Barit, 7ppb OBM FLC
4	1370	70% dizel, 30% su, 7.5ppb Lime, 6.5ppb OBM-Vis, 7.5ppb Versamul, 28% CaCl_2 , 255ppb Barit, 7ppb OBM FLC
5	1520	70% dizel, 30% su, 7.5ppb Lime, 6.5ppb OBM-Vis, 7ppb Versamul, 28% CaCl_2 , 352ppb Barit, 7ppb OBM FLC
6	1600	75% dizel, 25% su, 10ppb Lime, 6.5ppb OBM-Vis, 7ppb Versamul, 2ppb Versawet, 30% CaCl_2 , 425ppb Barit, 6ppb OBM FLC
7	1750	85% dizel, 15% su, 7ppb Lime, 5ppb OBM-Vis, 6ppb Versamul, 2ppb Versawet, 30% CaCl_2 , 571ppb Barit, 6ppb OBM FLC
8	1800	82% dizel, 18% su, 10ppb Lime, 6.5ppb OBM-Vis, 8ppb Versamul, 2ppb Versawet, 30% CaCl_2 , 602 ppb Barit, 7ppb OBM FLC
9	2100	80% base oil, 20% su, 10ppb Lime, 6ppb OBM-Vis, 9ppb Versamul, 2ppb Versawet, 30% CaCl_2 , 660ppb Barit, 250ppb gil+qum, 8ppb OBM FLC
10	2230	90% dizel, 10% su, 10ppb Lime, 5.5ppb OBM-Vis, 9ppb Versamul, 2ppb Versawet, 30% CaCl_2 , 705ppb Barit, 250ppb gil+qum, 8ppb OBM FLC

Qeyd olunan qazıma məhlullarının 120F və ya 49°C-də aparılan reoloji sınağına əsasən hər bir məhlul üçün qurulan $\tau = f(\dot{\gamma})$ axma əyriləri şəkil 1-də göstərilmişdir. Şəkil 1-dən göründüyü kimi nisbətən yüksək temperaturda (49°C) sınaqların aparılmasına baxmayaraq, bütün məhlullar üçün $\tau = f(\dot{\gamma})$ axın əyriləri qeyri-xətti olmaqla bir-birindən əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir. Bu əyrilər, demək olar ki, heç biri koordinat başlanğıcından keçməyərək, ordinant (gərginlik) oxunu kəsir. İlk baxışda, neft əsaslı, multifazlı baxılan qazıma məhlullarının psevdoplastik reoloji xüsusiyyətlərə malik olduğunu da qəbul etmək olar.

Reoloji sınağın nəticələrinə əsasən hər bir qazıma məhlulu üçün Kros üsulu ilə aparılan interpretasiya $\left[\frac{1}{\eta^2} = f(\tau^2) \right]$ nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, sınağı aparılan sistemlər üçün qeyd olunan asılılıqlar düz xətt olmayıb, qeyri-xətti asılılıqlardır. Məsələn 5-ci qazıma məhlulunda olduğu kimi (şəkil 2).



Şəkil 1 – Neft əsaslı qazıma məhlullarının axın $\tau = f(\dot{\gamma})$ əyriləri

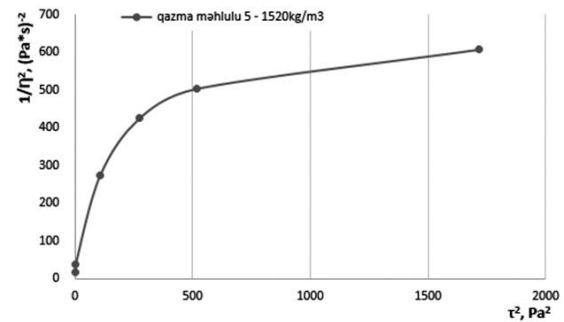
1÷10 – müxtəlif tərkibli neft əsaslı qazıma məhlulları

Figure 1 – Flow $\tau = f(\dot{\gamma})$ curves of oil-based drilling fluids

1÷10 – oil-based drilling fluids of different composition

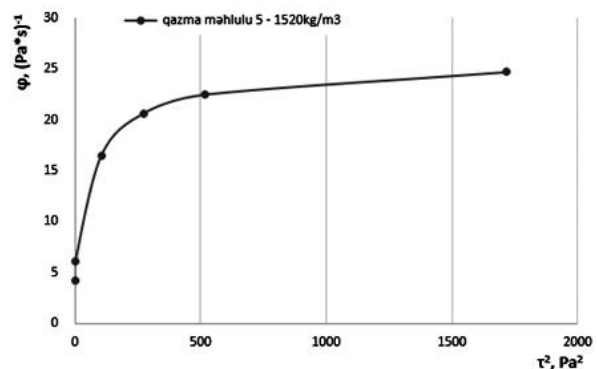
Daha sonra sınaqdan keçirilən hər bir qazıma məhlulu üçün $\varphi = f(\tau^2)$ asılılığı

qurulmuşdur. Alınmış qeyri-xətti asılılıqları əks etdirən qrafiklərdən φ_0 , φ_∞ və ə parametrlərinin qiymətləri cədvəl 2-də verilmişdir.



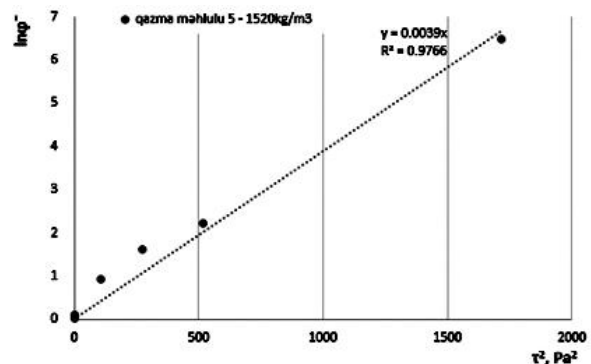
Şəkil 2 – 5 nömrəli neft əsaslı qazıma məhlulları üçün $1/\eta^2 = f(\tau^2)$ asılılığı

Figure 2 – Dependence of $1/\eta^2 = f(\tau^2)$ for oil-based drilling fluids No.5



Şəkil 3 – 5 nömrəli neft əsaslı qazıma məhlulları üçün $\varphi = f(\tau^2)$ asılılığı

Figure 3 – Dependence of $\varphi = f(\tau^2)$ for oil-based drilling fluids No. 5



Şəkil 4 – 5 nömrəli neft əsaslı qazıma məhlulları üçün $\ln \bar{\varphi} = f(\tau^2)$ ekstropoliasiyası

Figure 4 – Extrapolation of $\ln \bar{\varphi} = f(\tau^2)$ for oil-based drilling fluids No.5

Qeyd olunan 5-ci neft əsaslı qazıma məhlulu üçün $\varphi = f(\tau^2)$ qeyri-xətti asılılıq şəkil 3-də və $\ln \bar{\varphi} = f(\tau^2)$ ekstropolyasiyası şəkil 4-də göstərilmişdir.

Məsələnin həlli

Asanlıqla göstərmək olar ki, yuxarıda göstərilən (3) asılılığı Kros üsulunun əsasını təşkil edən Maksvel tipli aşağıdakı reoloji modellə analoq təşkil edir:

$$\dot{\gamma} = \tau \left(1 + \frac{\tau^2}{4G^2} \right)^{1/2} / \eta_0$$

Belə ki, $\exp(-\tau^2/\alpha)$ və $\left(1 + \frac{\tau^2}{4G^2} \right)^{1/2}$ hədlərini sıraya ayıraraq cüt hədlər şəklində yazsaq, alarıq:

$$\dot{\gamma} = \frac{\tau}{\eta_0} \left(1 + \frac{\varphi_\infty - \varphi_0}{\varphi_0 \alpha} \tau^2 - \frac{\varphi_\infty - \varphi_0}{\varphi_0 \alpha} \tau^4 + \dots \right) \quad (5)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{\tau}{\eta_0} \left(1 + \frac{1}{8G^2} \tau^2 - \frac{1}{128G^4} \tau^4 + \dots \right) \quad (6)$$

(5) və (6) düsturlarının tutuşdursaq və nəzərə alsaq ki, $G = \eta_0 / \theta$ (θ - relaksasiya vaxtıdır) onda struktur əmələ gətirən sistemlər üçün relaksasiya vaxtının təyini üçün birinci yanaşmada aşağıdakı riyai ifadəni alarıq:

$$\theta = \sqrt{\frac{8(\varphi_\infty - \varphi_0)}{\alpha \varphi_\infty \varphi_0^2}} \quad (7)$$

Sonuncu ifadəyə əsasən sınağı aparılan neft əsaslı qazıma məhlulları üçün relaksasiya vaxtı hesablanmışdır. Hesablanmış bu qiymətlər cədvəl 2-də verilmişdir. Cədvəl 2-dən göründüyü kimi qazıma məhlullarının tərkibindən asılı olaraq onların sıxlığı kimi struktur dayanıqlığı və relaksasiya vaxtı da xeyli dəyişmiş olur. Beləliklə, Kros üsulu ilə relaksasiya vaxtını təyin etmək mümkün olmadıqda bu cür multifazalı və çox komponentli məhlulların struktur dayanıqlığının müəyyən edilməsi əsasında relaksasiya vaxtının təyinin mümkünlüyü göstərilmişdir.

Cədvəl 2 – Neft əsaslı qazıma məhlulları üçün φ_0 , φ_∞ , α və θ parametrlərinin təyin olunmuş qiymətləri
Table 2 – Specified values of parameters φ_0 , φ_∞ , α and θ for oil-based drilling fluids

Qazıma məhlulu	$\varphi_0, \frac{1}{Pa \cdot s}$	$\varphi_\infty, \frac{1}{Pa \cdot s}$	α, Pa^2	θ, s
1	10.1	35.0	128.9	0,0208
2	8.5	31.5	215.7	0,0194
3	5.5	30.8	317.4	0,0262
4	9.5	28.0	336.8	0,0132
5	4.0	24.7	265.3	0,0397
6	3.8	41.5	122.2	0,0642
7	5.1	26.7	238.1	0,0323
8	4.0	28.8	252.2	0,0413
9	9.0	15.6	782.5	0,0073
10	10.4	15.3	1351.8	0,0042

Nəticə

Müəyyən edilmişdir ki, sistemin struktur dayanıqlığını nəzərə alan eksponensial tipli ümumiləşdirilmiş reoloji model xətti özlüelastik mayelər üçün olan Maksvel tipli tənliyin analoqu hesab edilə bilər və onun ekstrapolyasiyası əsasında neft əsaslı qazıma məhlullarının hərəkəti zamanı struktur

dayanıqlığını və relaksasiya vaxtını təyin etmək mümkündür.

Maraqlar münaqişəsi

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

REFERENCES

1. **Mirzadzhanzade A.Kh., Galimov A.K., Maron V.I., Yurin V.A.** Hidrodinamika truboprovodnogo transporta nefti i neftproduktov. M: Nedra, 1984, 287 s.
2. **Ogibalov P.M., Mirzadzhanzade A.K.** Nestatsionarnye dvizheniya vyaznoplastichnykh sred. M.: MGU, 1977, 376 s.
3. **Ismayilov G.G.** O diagnostirovani poteri strukturnoy ustoychivosti techenii neravnovesnykh zhidkostey v trubakh. Izv. VUZov Neft i gaz, 1997, №5-6, s. 33-36
4. **Sattarov R.M., Ismayilov G.G., Rafinbeyli N.S.** Issledovanie vliyaniya relaxatsionnykh svoystv zhidkostey na gidravlicheskiy kharakteristiku potoka // ANKh, 1988, №7, s. 26-29
5. **İsmayilov Q.Q., İsmayilov Ş.Z., İsmayilov Şh.Z., Sultanova A.V.** Sualtı fluid kəmərlərinin energetik xüsusiyyətlərinin retro təhlili əsasında hasilat quyularının iş rejimlərinin optimallaşdırılması / Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, cild 16, №1, Bakı, 2024, s.79-86
6. **Ismailov G.G., Iskenderov E.Kh., Izbassarov E.I.** Analiz strukturnykh izmeneniy v smesi transportiruemyykh prirodnykh i poputnykh gazov // Transport i khraneniye nefteproduktov i uglevodorodnogo syrya. No.3, 2017, s. 43-46.
7. **Reyner M.D.** Deformatsiya i techeniye. M.: Gostoptekhizdat, 1962, 381 s.
8. **Reyner M.** Rheologiya. M: Nauka, 1965, 223 s.