

UDC 622.276.5

DOI 10.52171/2076-0515\_2024\_16\_01\_49\_55

## **Determination of the Average Value of Phase Permeabilities in Heterogeneously Folded Formations**

**Ye.V. Mammadova, M.G. Abdullayev**

*Azerbaijan State of Oil and Industry University (Azadlig ave., 34, Baku AZ1010, Azerbaijan)*

### **For correspondence:**

Mammadova Yevgeniya / e-mail: jenya\_baku@mail.ru

### **Abstract**

The oil fields of Azerbaijan are mainly characterized by stratification of reservoirs with heterogeneous permeability. This is the reason for the rapid rate of water cut, the formation of residual unrecoverable reserves in low-permeability reservoir zones, and a decrease in the rate of production. The article considers the determination of the average value of phase permeabilities for layers with a drop in the value of permeability with depth. In this case, water evenly moves from the upper layers to the lower ones. The described method is generalized and is effectively applied under the condition that the corresponding end points of the relative phase permeability curves will change from layer to layer.

**Keywords:** layered and heterogeneous layers, water permeability, capillary pressure, relative permeability.

**Received** 23.01.2023

**Revised** 09.02.2024

**Accepted** 12.02.2024

### **For citation:**

*Ye.V. Mammadova, M.G. Abdullayev*

[Determination of the Average Value of Phase Permeabilities in Heterogeneously Folded Formations]

*Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 49-55 (in Azerbaijani)*

## **Heterogen qatlanmış laylarda faza keçiriciliklərinin orta qiymətinin təyini** **Y.V. Məmmədova, M.Q. Abdullayev**

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Azadlıq pr. 20, Bakı, AZ1010, Azərbaycan)*

### **Yazışma üçün:**

Məmmədova Yevgeniya / e-mail: jenya\_baku@mail.ru

### **Xülasə**

Azərbaycanın neft yataqları əsasən qeyri-bircins keçiriciliyə malik layların təbəqələşməsi ilə xarakterizə olunur. Sulaşmanın sürətlə getməsi, su keçiriciliyi aşağı olan su anbarı zonalarında bərpə olunmayan qalıq ehtiyatların əmələ gəlməsi və hasilat sürətinin azalmasının səbəbi budur. Məqalədə dərinliyə görə keçiriciliyin qiymətinin azalması ilə laylar üçün faza keçiriciliklərinin orta qiymətinin müəyyən edilməsi nəzərdən keçirilir. Bu vəziyyətdə su yuxarı təbəqələrdən aşağı təbəqələrə bərabər şəkildə hərəkət edir. Təsvir edilən üsul ümumiləşdirilmişdir və nisbi faza keçiriciliyi əyrilərinin müvafiq son nöqtələrinin təbəqədən təbəqəyə dəyişməsi şərti ilə effektiv şəkildə tətbiq olunur.

**Açar sözlər:** qeyri-bircins layları, sulaşma, kapilyar təzyiq, nisbi keçiricilik.

---

## **Определение усредненного значения фазовых проницаемостей в неоднородно сложенных пластах** **Е.В. Мамедова, М.Г. Абдуллаев**

*Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (пр., Азадлыг, 20, Баку, AZ1010, Азербайджан)*

### **Для переписки:**

Мамедова Евгения / e-mail: jenya\_baku@mail.ru

### **Аннотация**

Нефтяные месторождения Азербайджана в основном характеризуются слоистостью пластов с неоднородной проницаемостью. Это служит причиной быстрого темпа обводненности, формированию остаточных неизвлекаемых запасов в низкопроницаемых зонах коллекторов, и снижению темпов отбора. В статье рассматривается определение усредненного значения фазовых проницаемостей для слоев с падением значения проницаемости по глубине. В данном случае вода равномерно продвигается из верхних слоев к нижним. Описанный метод является обобщенным и эффективно применяется и при условии, что соответствующие концевым точкам кривых относительных фазовых проницаемостей будут изменяться от слоя к слою.

**Ключевые слова:** слоисто-неоднородные пласты, обводненность, капиллярное давление, относительная проницаемость.

## **Giriş**

Azərbaycanın əsas neft yataqlarının mürəkkəb geoloji quruluşu, yəni neft və qaz laylarının strukturunun qeyri-bircinsliyi məhsuldar layların istismarında mürəkkəbləşmələrin yaranmasına səbəb olur. Bu baxımdan həm dəniz yataqları, həm də Qərbi Abşeronun neft yataqları xüsusi maraq doğurur. Ədəbiyyatda karbohidrogen laylarındakı qeyri-bircinsliyin bir çox formaları təsvir edilmişdir. Müxtəlifliyin ən xarakterik iki forması üzərində dayanacaq - çatlı və qatlı (təbəqəli) formalar. Qatlı laylar ola bilər ki, gilli arakəsmələrlə örtülərək bir-birindən təcrid oluna bilər, yəni, əlaqəsi olmayan və ya əksinə, keçirici sərhədlərlə əlaqəsi olan. Flüidlərin süzülməsinin tədqiqi və hidrodinamik əlaqə mövcud olduqda qatlı laylardan sıxışdırmanın proqnozlaşdırılması, erkən mərhələdə proqnozlaşdırma və qərar qəbul etmək ehtiyacının yaranması ilə əlaqədardır.

## **Problemin qoyuluşu**

Layların hidrodinamik modellərinə aşağıdakı qeyri-bircinslilik növləri xasdır: işlənmə prosesində lay flüidlərinin süzülməsinin qeyri-bircinsliyini artıran məhsuldar horizontların yuxarı hissəsinin strukturunun həndəsi qeyri-bircinsliyi, tektonik və litofasiyalar. Nəticədə aşağıdakı proseslər baş verir: yüksək keçiriciliyə və məhsuldarlığa malik laylarda cəmlənmiş neft ehtiyatlarının qabaqlayıcı istehsalı, aşağı keçirici lay zonalarında qalıq ehtiyatlarının formalaşması, sulaşmanın kəskin sürətlə artması və neft çıxarmanın tempinin azalması [1, 3, 5].

Laylararası qeyri-bircinslilik dərəcəsini tədqiq etməklə, layın təbii potensialını müəyyən etmək, həmçinin mayenin hərəkətinin optimal yollarını təhlil etmək olar. İşlənmənin əsas məsələsi bu potensialı müvafiq texnologiya vasitəsilə aktivləşdirməkdir.

## **Metodika və tədqiqatın nəticələri**

Qatlı-qeyri-bircins laylarda karbohidrogenlərin süzülməsi də daxil olmaqla laydaxili proseslərin mexanizminin təsviri, bircins düz xəttli laylar ilə müqayisədə daha mürəkkəbdir, çünki onların parametrləri qalınlıq üzrə layın dabanından tavanına doğru dəyişəcəkdir [1, 2].

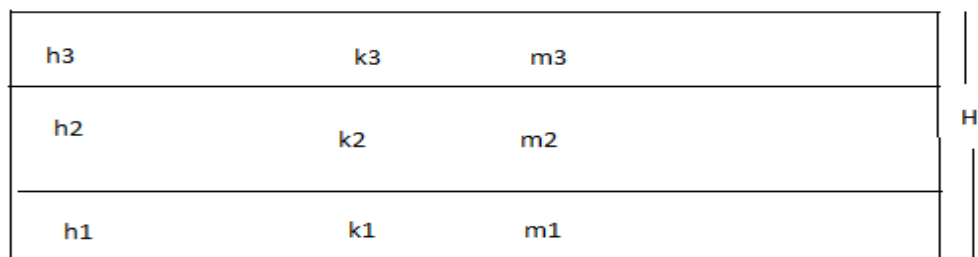
Buna baxmayaraq, hesablama bircins keçiriciliyi olan laylarda mayenin süzülməsini təsvir edən əsas (baza) metoduna əsaslanır.

Hasilatın hesabatını apararkən Bakley-Leverettin bərabər sıxışdırma nəzəriyyəsinə və su dillərinin yaranması zamanı toplam hasilatın qrafik üsuluna (Uelc üsulu) əsaslanaraq, nisbi faza keçiriciliyinin əmsalları orta su ilə doyma funksiyaları kimi qəbul edilir (qalınlıq üzrə) [2, 5].

Təklif olunan metodikaya görə, sıxışdırma əmsalı birdən kiçik qiymət aldıqda, sıxışdırma prosesi sabit hesab ediləcək, əks halda isə su dillərinin intensiv yaranması baş verəcək. Məlumdur ki, qeyri-bircins laylar öz aralarında hidrodinamik əlaqəyə malik ola bilər və ya keçiriciliyi olmayan arakəsmələrlə bir-birindən təcrid oluna bilər.

İstismar obyektlərində qeyri-bircinsliyi tədqiq edərkən, kapilyar sonluq təsirləri kimi bir parametrin əhəmiyyətini nəzərə almaq lazımdır. Fazaların ümumi sərfində suyun payı azaldıqca kapilyar sonluq effektinin təsir dərəcəsi artır və bu sıxışdırma sürətindən asılıdır [4, 6].

Mürəkkəb quruluşlu (müxtəlif qalınlığı, məsaməliliyi və keçiriciliyi olan üç qatlı) horizontal laydan neftin su ilə sıxışdırılması prosesini nəzərdən keçirək.



**Şəkil 1** – Fərqli keçiricilikli və məsaməlilikli qatlı (təbəqəli) lay modeli  
**Figure 1** – Layered layer model with different permeability and porosity

**Cədvəl 1** – Hidrodinamiki əlaqəli qatlı-qeyribircins layın xarakteristikası  
**Table 1** – Characterization of a hydrodynamically connected stratified-inhomogeneous layer

Qatın №-si	Keçiricilik $1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2$	Məsaməlik, %	Qatın hündürlüyü	Sıxlıq suyun/neftin
3	0,2	20	3	1,04/0,81
2	0,1	17	6,1	
1	0,05	15	3	

Fərz edək ki, qatın ixtiyari nöqtəsində (qalınlığı  $h$ ) dabandan  $z$  hündürlüyündə neft və su fazalarında təzyiqlər  $P_n$  və  $P_s$ , absis oxu üzərində isə uyğun olaraq  $P_n^o$  və  $P_s^o$  olsun, onda onlar arasındakı əlaqə belə olacaqdır:

$$P_n^o = P_n - \left( \frac{h}{2} - z \right) \frac{\rho_n g}{1,0133 \cdot 10^6}$$

$$P_s^o = P_s - \left( \frac{h}{2} - z \right) \frac{\rho_s g}{1,0133 \cdot 10^6}$$

Birinci tənlikdən ikinci tənliyi çıxaraq və suyun maksimum doyma nöqtəsinin  $z$  mövqeyini alacağını qəbul edək.

Hündürlük boyunca kapillyar təzyiqin dəyişməsi [2]-dəki asılılıqdan müəyyən edilə bilər:

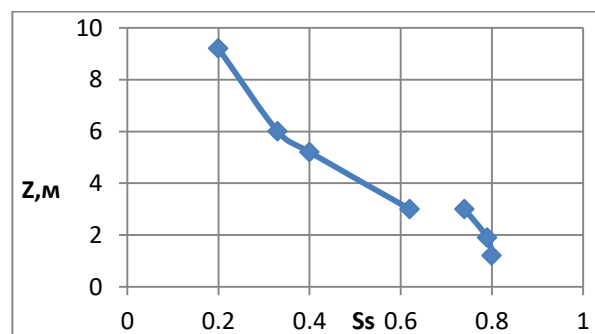
$$P_q^0 = 2248(6,1 - Z_{1-S_{nr}}) \quad (1)$$

$Z_{1-S_{nr}}$  – maksimum su ilə doymuş təbəqənin hündürlüyünün işarə nöqtəsidir, burada,  $P_q = 0$  ( $S_s = 1 - S_{nr}$ );  $S_s$  – suya görə doymululuq.

Şaquli tarazlıq şərtlərini qəbul edərək və maksimum su ilə doymuş ( $S_s = 1 - S_{nr}$ ) lay nöqtələri üzrə ardıcıl olaraq yuxarıya doğru hərəkət edərək, orta hesablanmış nisbi faza

keçiriciliklərinin əyriləri qurulur və müvafiq doymada onların qiymətləri müəyyən edilir. Bu halda, iki fazada (neft və su) təzyiq, doymadan fərqli olaraq, fasiləsiz olaraq dəyişəcəkdir.

Əgər maksimum su ilə doyma nöqtəsi dabanda (layın aşağı nöqtəsi) yerləşirsə ( $Z_{1-S_{nr}} = 0$ ), onda kapillyar təzyiq maksimum qiymət alacaq (şək. 2).



**Şəkil 2** – 13,8 kPa psevdo təzyiqdə qeyri-bircins layların qalınlığı üzrə su ilə doymanın paylanması  
**Figure 2** – Distribution of water saturation over the thickness of inhomogeneous layers at a pseudo pressure of 13.8 kPa

Tavanın hündürlüyündə ( $Z_{1-S_{nr}}$  max)  $P_q^0$ -nin qiyməti bu zona üçün minimum qiyməti alır ki, bu da layın tam sulaşmasına uyğundur.

Cədvəl 2-də verilmiş məlumatlara əsasən qurulmuş qrafikdən görüldüyü kimi,

əyri birinci və ikinci təbəqələrin sərhəddində qırılmaya malikdir. Təzyiqin  $P=7kPa$  qiymətində alt qatın yuxarı hissəsində ( $Z=3m$ ) su ilə doyma ( $S_s$ ) 0,69 təşkil edir, ikinci təbəqənin aşağı sərhəddində isə bu parametrlər 0,63-ə uyğundur.

**Cədvəl 2** – Su ilə doymanın və nisbi faza keçiriciliklərinin paylanması

**Table 2** – Distribution of water saturation and relative phase conductivities

Qatın №-si	Z, (m)	$P_q, kPa$	$S_s$	$k_{rs}$	$k_{rn}$
3	12,2	27,6	0,2	0	0,8
	10,7	24,1	0,2	0	0,8
	9,1	20,7	0,2	0	0,8
2	9,1	20,7	0,22	0,002	0,53
	7,7	17,3	0,24	0,003	0,5
	6,1	13,8	0,29	0,02	0,4
	4,6	10,3	0,45	0,07	0,2
	3,0	7,0	0,63	0,17	0,05
1	3,0	7,0	0,69	0,2	0,002
	1,5	3,5	0,78	0,23	0,002
	0	0	0,8	0,25	0

Bir təbəqə üçün su ilə doymanın orta qiymətini aşağıdakı düsturla müəyyən etmək olar:

$$\bar{S}_s = \frac{\int_0^h \varphi(z) S_s(z) dz}{\int_0^h \varphi(z) dz} \quad (2)$$

Baxılan hal üçün üç bircins qatın olması halında orta doymululuq belə olar:

$$\bar{k}_{rs}(\bar{S}_s) = \frac{h_1 k_1 k_{rs1}(\bar{S}_{s1}) + h_2 k_2 k_{rs2}(\bar{S}_{s2}) + h_3 k_3 k_{rs3}(\bar{S}_{s3})}{\sum_{j=1}^3 h_j k} \quad (5)$$

Laboratoriya tədqiqatlarının məlumatlarına əsasən qurulmuş əyrinin təbiətinə görə (şəkil 3), layın daban zonasında kapilyar təzyiqi müəyyən etmək mümkündür. Qrafik aydın şəkildə göstərir ki, qalıq su ilə doymululuğun 0,2 olduğu 1 nömrəli təbəqə üçün kapilyar təzyiq  $48,3 kPa$  olacaqdır.

$$\bar{S}_s = \frac{h_1 \varphi_1 \bar{S}_{s1} + h_2 \varphi_2 \bar{S}_{s2} + h_3 \varphi_3 \bar{S}_{s3}}{\sum_{j=1}^3 h_j \varphi_j} \quad (3)$$

Ayrı-ayrılıqda hər bir qat üçün və bütün qatlar üçün ümumilikdə keçiricilik əmsallarını (4) və (5)-ci düsturlara uyğun olaraq təyin edə bilərik:

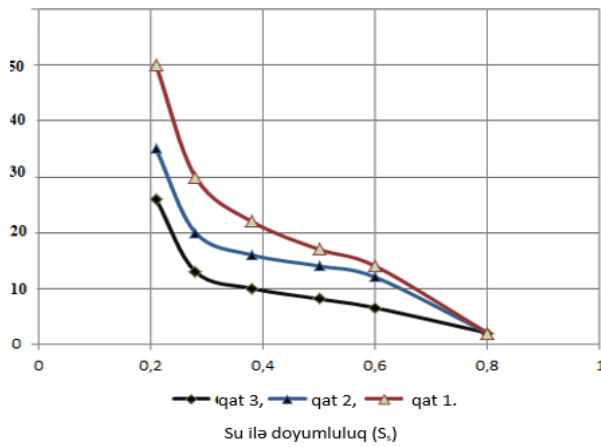
$$\bar{k}_{rs}(\bar{S}_s) = \frac{\int_0^h k(z) k_{rs}(S_s(z)) dz}{\int_0^h k(z) dz} \quad (4)$$

Göründüyü kimi, faza keçiriciliyinin qiymətləri laydan tavandan dabana doğru azalır. Təsvir edilən üsul ümumiləşdirilmişdir və nisbi faza keçiriciliyi ayrılarının müvafiq son nöqtələrinin təbəqədən-təbəqəyə dəyişməsi şərti ilə səmərəli tətbiq edilir.

**Cədvəl 3** – Nisbi faza keçiriciliklərinin hesablanması nəticələri

**Table 3** – Results of calculation of relative phase conductors

$P_q^0$ , kPa	$\bar{S}_s$	$\bar{K}_{rs}$	$\bar{K}_{rn}$
48,3	0,2	0	0,68
13,8	0,4	0,04	0,51
7,0	0,5	0,1	0,40
0	0,63	0,2	0,26
-7,0	0,75	0,28	0,03
-13,8	0,8	0,34	0



**Şəkil 3** – Tədqiq olunan üç qatlı layda kapilyar təzyiqin qiymətləri

**Figure 3** – Values of capillary pressure in the studied three-layer layer

Sıxıdırma prosesinin tədqiqi zamanı ideal şərt, mürəkkəb quruluşlu layın yuxarı təbəqəsində maksimum keçiricilik qiymətinin olmasıdır ki, sonradan alt qatlarda bu keçiricilik əmsalının daha da azalması baş verir. Vurulan su layın yuxarı hissəsi boyunca hərəkət edir və eyni zamanda sıxlıqlar fərqi ( $\rho_s > \rho_n$ ) görə aşağı enir. Bu səbəblərə görə suyla doyma prosesi bərabərölçülü xarakter alacaq. Əks halda, aşağı təbəqədə keçiriciliyin qiyməti maksimum qiymətə malik olduqda, layda suyu qaldırmağa meylli olan kapilyar

qüvvələrin təsiri əlverişli amil olacaqdır. Bununla belə, sahə üzrə bərabər doymululuğun paylanması daha səmərəli nəticə verir.

### Nəticə

Qatlı-qeyri-bircins laylar üçün orta faza keçiriciliklərinin müəyyən edilməsi prosesi, hər bir təbəqədə doymululuğun dəyişkən olması halında, universaldır. Məqalədə yuxarı təbəqədə maksimum keçiriciliyin olması və daha sonra alt təbəqələrdə layın dabanına doğru keçiriciliyin azaldığı hal nəzərdən keçirilir. Su ilə doyma eyni ölçülü xarakter alacaq. Profilin aşağı düşməsi ilə keçiriciliyin artacağı halında bu hesablama metodunun tətbiqi, sonra kapilyar qüvvələrin təsiri ilə lay suyunu yuxarı itələyəcək və bu, sıxıdırma prosesinə müsbət təsir edəcəkdir. Bununla belə, birinci hal ən səmərəlidir, yəni bərabər paylama halı.

### Maraqlar münaqişəsi

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

## REFERENCES

- 1. Mirzadzhanzade A.Kh., Filippov V.T., Ametov I.A.** Sovmestnyye metody v neftedobyche. Moscow, *Tekhnika OOO "Tuma GRUP" Publ.*, 2002. – 144p. (*in Russian*)
- 2. Salavatov T.Ş., Abdullayev M.Q.** Neft hasilatının yüksəldilməsi və hasilat quyularının su axınlarının təcrid olunması üçün neft əsasında reagent. *Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri*. Bakı 2019, cild 11 № 1, s.42-54. (*in Azerbaijani*)
- 3. Mamedova Ye.V.** Uchet reologicheskikh svoystv nenyutonovskikh neftey tekhnologicheskikh protsessakh neftedobychi // *Herald of the Azerbaijan Engineering Academy*. Baku. Vol. 8, no. 4, 2016, Pp. 53-58. (*in Russian*)
- 4. Mamedova Ye.V.** O vozmozhnosti vozobnovleniya neftyanykh zapasov na mestorozhdeniyakh, nakhodyashchikhsya v ekspluatatsii dlitelnyy // *Herald of the Azerbaijan Engineering Academy*. Baku. Vol. 13, no. 1, 2021, Pp. 58-62. (*in Russian*)
- 5. Mirchink M.F., Mirzadzhanzade A.Kh., Zheltov Yu.V.** i dr. Fiziko-geologicheskiye problemy povysheniya nefteotdachi plastov. M., 2005. – 232 p. (*in Russian*)