

UDC 622.692.4

DOI 10.52171/herald.327

The Spherical-Radial Model for Filtration of Non-Newtonian Oils **Kh.I. Dadashzade, F.H. Mammadova**

Azerbaijan State Oil and Industry University (Baku, Azerbaijan)

For correspondence:

Fatima Mammadova / fatimmmmdova580@gmail.com

Abstract

Recently, various models have been used in newly discovered fields depending on the thickness of the reservoir. Through modeling, parameters such as reservoir permeability, production, and pressure distribution are calculated. Using models allows the study of physical processes by varying different parameters and helps confirm theoretical concepts. Improving models brings us closer to real processes. Mathematical expression and optimization of practical problems are also carried out through modeling.

Keywords: volumetric production, well bottom and contour pressure, dynamic viscosity, well and contour radius.

Submitted 18 April 2025

Published 17 December 2025

For citation:

X.I. Dadashzade, F.H. Mammadova

[The Spherical-Radial Model for Filtration of Non-Newtonian Oils]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2025, vol. 17 (4), pp. 51-57

Qeyri-Nyuton neftlərin süzülməsi zamanı sferik-radial modeldən istifadə olunması

X.İ. Dadaşzadə, F.H. Məmmədova

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti (Bakı, Azərbaycan)

Xülasə

Son dövrlərdə açılan yataqlarda yatağın qalınlığından asılı olaraq müxtəlif modellərdən istifadə olunur. Modelləşmə vasitəsilə layın keçiriciliyi, hasilatı, təzyiqin paylanması kimi parametrlər hesablanır. Modeldən istifadə fiziki prosesləri dəyişkən parametrlərlə öyrənməyə və nəzəriyyələri təsdiqləməyə imkan verir. Modellərin təkmilləşdirilməsi nəticəsində həqiqi proseslərə daha da yaxınlaşmaq mümkündür. Praktiki məsələlərin riyazi ifadəsi və optimallaşdırılması da modelləşdirmə əsasında həyata keçirilir.

Açar sözlər: həcmi hasilat, quyu dibi və kontur təzyiqi, dinamik özlülük, quyu və kontur radiusu.

Использование сферически-радиальной модели при фильтрации неньютоновских масел

Х.И. Дадашзаде, Ф.Х. Мамедова

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности (Баку, Азербайджан)

Аннотация

В последнее время на новых месторождениях в зависимости от толщины пласта используются различные модели. С помощью моделирования рассчитываются параметры пласта, такие как проницаемость, добыча и распределение давления. Использование моделей позволяет изучать физические процессы, изменяя различные параметры, и подтверждать теории. Улучшение моделей позволяет приблизиться к реальным процессам. Математическое выражение и оптимизация практических задач также осуществляются на основе моделирования.

Ключевые слова: объемная добыча, забойное и контурное давление, динамическая вязкость, радиус ствола скважины и контура.

Giriş

Son dövrlərdə açılan yataqlarda, yatağın qalınlığından asılı olaraq müxtəlif modellərdən istifadə olunur. Belə modellərin köməyi ilə yatağın müxtəlif parametrləri, o cümlədən lay parametrləri hesablanır. Bu parametrlərdən misal üçün layın keçiriciliyini, quyunun hasilatını, lay boyu təzyiqin paylanması və s. göstərmək olar. Hazırda “model” anlayışı geniş tətbiq olunmağa başlanmışdır, yəni “modelləşmə” və yaxud “modellə ifadə etmək” köməyi ilə fiziki prosesi qismən öyrənmək nəzərdə tutulur. Modeldən istifadə etməklə istənilən prosesi müxtəlif parametrlərə nəzərən dəyişməklə öyrənmək olar və bununla da verilmiş nəzəriyyəni təsdiq etmək olar. Qeyd edək ki, belə modelləri təkmilləşdirməklə biz həqiqətə daha da yaxınlaşa bilərik. Modellərdən istifadə edərkən, əsas məsələni həll edərkən bazis kimi fiziki prosesi göstərmək və sonradan müxtəlif parametrlər əlavə etməklə baxılan problemi həll etməkdir. Bir sıra alqoritmlərdən istifadə etməklə modelləşməni inkişaf etdirmək olar.

Praktiki məsələləri həll edərkən onları ümumiləşdirmək, mühəndisə lazım olan prosesləri riyazi şəkildə ifadə etmək modelləşdirmə vasitəsi ilə aparılır. Belə ki, layın işlənməsi və istismarının aparılması, hansı laydan neft və qazın alınması, neft və qaz veriminin optimallaşdırılması, hansı laboratoriya və mədən tədqiqatlarının aparılması, laboratoriya tədqiqatlarının laya necə tətbiq olunması modelləşdirmə əsasında yerinə yetirilir.

İşin məqsədi

Model əsasında laya yaxın, praktiki məsələlərin həllini, xüsusi məsələlərin həllini asanlaşdırmaq.

Bu məsələləri həll etmək üçün iki modeldən istifadə olunur: fiziki və riyazi modellərdən.

Son dövrlərdə karbohidrogenlərin çıxarılışı ilə əlaqədar bir sıra proseslərə rast gəlinir ki, bu məsələlərin həlli dünya praktikasında modelləşdirmə əsasında aparılır.

Qeyd ediliyi kimi, modelləşdirmə iki cür olur: fiziki və riyazi modelləşdirmə. Fiziki modelləşdirmədə fiziki qanunlara əsaslanaraq, layda baş vermiş prosesləri nəzərə almaq olar. Bu model müxtəlif qrup fiziki qanunlar əsasında layı ifadə edir.

Deyilənlərə əsasən aşağıdakı süzülmə modellərini göstərmək olar: fiziki təbii modellər; analoji modellər; riyazi modellər.

Çox zaman fiziki modellər, ümumiyyətlə eyni fiziki lay proseslərini ifadə edir. Belə ki, fiziki modellər üzərində təcrübə aparmaqla baxılan prosesin qanunauyğunluğu öyrənilir. Bu modelləşdirmənin məqsədi təbii lay proseslərinin model əsasında öyrənilməsidir. Modellər məstaba əsasən yaradılır. Modelin uzunluğu, layın, maye və qazın xassələri laboratoriya şəraitində elə qəbul olunmalıdır ki, həndəsi və fiziki oxşarlıqlar saxlanılsın. Laboratoriya tədqiqatları məstab üzrə istənilən obyektlərə (laylara, quyulara) ötürülə bilər. Bu zaman modeldə qəbul olunmuş parametrlər oxşarlıq əmsalına vurulmaqla lay göstəricilərinə çevriləcək.

Layda baş vermiş proseslərin tam şəkildə öyrənilməsi çətindir. Bu nöqtəyi-nəzərdən bir çox hallarda süzülmə qanununun sadə prosesləri öyrənilməsində modellərin köməyindən istifadə olunur. Bəzən elementar modellərə də müraciət edilir. Təcrübələr əsasən real və ya modelləşdirilmiş lay süxurlarından istifadə etməklə aparılır. Belə ki, aparılan təcrübələrin nəticələri lay haqqında əsas informasiya mənbəyi olur.

Laboratoriya tədqiqatları və mədən göstəricilərinə əsaslanaraq konkret asılılıqlar təyin olunur, sabit parametrlər hesablanır, riyazi model döyürülür və beləliklə praktiki məsələləri

həll etmək üçün işçi alət əldə olunur.

Fiziki modellərin köməyi ilə layda gedən prosesləri qismən ifadə etmək olur. Belə ki, riyazi model baxılan prosesi tam ifadə etmirsə, onda fiziki model vasitəsilə bu boşluğu göstərmək mümkündür. Xüsusi hallarda fiziki modelin köməyi ilə riyazi modeli korrektə etmək olur.

Fiziki modellərin bir qrupu analogi modelləri təşkil edirlər. Analogi modellərin yaranmasında eyni müxtəlif prosesləri ifadə edən fiziki qanunlardan (kütlə, impuls, enerji və s.) istifadə etmək olar.

Buna misal Darsi, Om və Furiye qanunları vasitəsilə bir çox modelləşmə işini ifadə etmək mümkündür. Lakin analogi modellər çox böyük olduğundan onları həll etmək bir qədər çətindir. Yeni növ kompüterlərin yaranması analogi modelləri kompüter riyazi modelləri ilə ifadə etmək imkanı yaradır.

Bildiyimiz kimi, mədən şəraitində hasilatı, lay boyu təzyiqin paylanması tapmaq üçün modellərdən istifadə olunur. Bunlar aşağıdakılardır:

- 1) bir ölçülü paralel süzülmə axınları;
- 2) müstəvi-radial süzülmə axınları;
- 3) sferik-radial süzülmə axınları.

Qeyd etdiyimiz süzülmə axınları əsasən adi Nyuton neftlər üçün geniş istifadə edilirdi. Son zamanlar isə bu modelləri qeyri-Nyuton neftlərə də tətbiq edirlər.

İndi mədən praktikasında təsadüf olunan bəzi həqiqi axınları nəzərdən keçirək. Qəbul edək ki, neft yatağı sürüşmə, layların pazlaşması nəticəsində üç tərəfli maye (neft) keçirməsindən lay ilə sərhədləşir. Belə laya qazılan quyu layın qalınlığını açıqda hidrodinamiki tamamlanmış quyu adlanır. Lakin qeyd etmək lazımdır ki, belə quyular süzgəc və ya perforasiya dəşikləri ilə əlaqədar olarsa, yəni neft quyuya layın qalınlığında yerləşən bütün məsamələrdə

deyil, yalnız süzgəc və perforasiya dəşiklərindən axarsa, bu quyuya layın açılmasına görə hidrodinamiki tamamlanmamış quyu deyilir.

Hidrodinamiki tamamlanmış quyuya mayenin hərəkəti yastı-radialdır. Məhsuldar layda yerləşən quyuların qidalanma konturu çevrə şəklindədir və mayenin (neftin) quyuya hərəkəti müəyyən məsafəyə qədər yastı-radial, sonra isə sferik-radial olur. İlk dəfə bu proses barədə rus alimi İ.A. Çarnıy, sonralar isə K.S. Basniyev, A.İ. Vlasov, İ.N. Koçina, V.M. Maksimov fikir yürütmüşlər [1-7]. Müəlliflər göstərirlər ki, mayələr quyuya doğru süzülən iki zona yaradır. Birinci zona kontur ilə müəyyən radius arasında baş verir. Bu zonada hərəkət müstəvi radialdır. İkinci zonada isə, yəni baxılan radiusla quyu radiusu arasında fəza koordinat sisteminə sferik-radialdır. Bu məsələ tam şəkildə adi neftlər üçün verilmişdir. Lakin elmi ədəbiyyatda qeyri-Nyuton neftli yataqlara görə baxılmamışdır. Verilən məqalədə bu məsələ nəzərdən keçirilmişdir (qeyd etmək lazımdır ki, universitetlərdə keçilən dərslərdə bu məsələ öz həllini tapmayıb).

Son dövrlərdə neftdən qazın ayrılması, neftin tərkibində parafin, qətran və asfaltenin olması, tərkibində gil olan məsaməli mühitdə, mikroqatlarda özlülüğü çox olan neftlərin olması onları qeyri-Nyuton və ya anomal mayələrə aid edirlər. Neftin qeyri-Nyuton xassələri neftdə həll olan qazın miqdarından asılı olaraq dəyişir. Deməli, yuxarıda qeyd olunanların qeyri-Nyuton neftlər üçün öyrənilməsi mühəndis qarşısında aktual bir məsələ kimi dayanır.

Beləliklə, yüksək molekullu birləşmələr və polimerlər müəyyən şəraitdə özlərini anomal mayələr kimi aparırlar. Hətta qazıma məhsulunda da qeyri-Nyuton xassələri görmək mümkündür. Ona görə də belə mayələrin süzülməsi öyrənilərkən çox böyük tətbiqi xassələr tələb edir. Bu tip məsələləri həll etmək üçün

qeyri-Nyuton mayelərin ümumi klassifikasiyasını nəzərdən keçirək.

Qeyri-Nyuton mayelərin klassifikasiyası əsasən sürət qradienti ilə toxunan gərginlik arasındakı asılılıqla ifadə olunur. Bütün anomal mayelər üç sinfə bölünürlər:

- 1) Sürət qradienti yalnız toxunan gərginlikdən asılıdır, yəni:

$$\frac{d\vartheta}{dr} = f(\tau) \quad (1)$$

- 2) Sürət qradienti toxunan gərginlik və zaman-dan asılıdır:

$$\frac{d\vartheta}{dr} = f(\tau, t) \quad (2)$$

- 3) Özlü-elastik mayelər. Buna uyğun olaraq özlü-plastik mayeləri də aid etmək olar.

Əgər sürət qradientinin verilmiş qiymətində toxunan gərginlik azalırsa, belə mayelər tiksotrop, artırsa, reopektik adlanır.

Əgər sistem həm bərk cismin, həm də mayenin, bəzi hallarda gərilmə formasına və özlü-gərilmə xassələrinə malikdirsə, belə mayelər özlü-elastik mayelər adlanırlar.

Qeyri-Nyuton özlü mayelər iki qrupa ayrılırlar:

a) maye başlanğıc toxunan gərginliyə malikdir, yəni belə mayelərin hərəkətə gəlməsi üçün toxunan gərginlik başlanğıc toxunan gərginlikdən çox olmalıdır;

b) maye başlanğıc toxunan gərginliyə malik deyildir.

Nyuton mayelərdə olduğu kimi, qeyri-Nyuton mayelər üçün də özlülük və axıcılıq anlayışı vardır

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{d\vartheta}{dr}} \quad (3)$$

və

$$\varphi = \frac{\frac{d\vartheta}{dr}}{\tau} \quad (4)$$

Burada τ - toxunan gərginlik; $\frac{d\vartheta}{dr}$ - sürət

qradienti; μ - dinamik özlülük; φ - axıcılıq parametridir.

Nyuton mayelərdən fərqli olaraq, qeyri-Nyuton mayelərdə bu parametrlər sabit kəmiyyət deyillər.

Başlanğıc toxunan gərginlikli mayelərə özlü-plastik mayeləri göstərmək olar. Ədəbiyyatda belə mayelərə Binqam-Svedov mayeləri kimi də rast gəlinir. Bu mayelərin reoloji tənliyi aşağıdakı kimi ifadə olunur.

$$\frac{d\vartheta}{dr} = \begin{cases} 0, & \tau \leq \tau_0 \\ \frac{\tau - \tau_0}{\mu}, & \tau \geq \tau_0 \end{cases} \quad (5)$$

Burada τ_0 - başlanğıc toxunan gərginlikdir.

Özlü-plastik modeldən gilli məhlulun hərəkəti zamanı geniş istifadə olunur. Bundan başqa başlanğıc toxunan gərginliyi olmayan mayelər də var ki, bunlara “üstlü” mayeləri göstərmək olar. Belə mayelər üçün reoloji tənlik aşağıdakı kimidir.

$$\tau = k \left(\frac{d\vartheta}{dr} \right)^n \quad (6)$$

Burada k - mayenin konsentrasiyası; n - axının indeksi adlanır.

Əgər $n < 1$ olarsa, belə mayelərə psevdoplastik, $n > 1$ olduqda isə dilatant mayelər deyirlər. $n = 1$ olan halda sonuncu tənlik Nyuton qanununa çevrilir.

Çox vaxt qazılma və istismar zamanı biz mayenin hərəkətinə üç ölçülü fəza sistemində baxırıq. Adi mayelər üçün bu proses çox öyrənilmişdir. İndi isə özlü-plastik mayelər üçün bu prosesi nəzərdən keçirək.

Praktiki nöqteyi-nəzərdən bu prosesi öyrənmək üçün qəbul edək ki, sferik-radial modeldə özlü-plastik mayenin hərəkətinə baxırıq. Hesab edək ki, quyu layın qalınlığını (gücünü) açıb və layın konturunda və quyudibində müəyyən təzyiq vardır. Layın qalınlığı böyükdür və bu zaman yarımsfera layda ayrılmışdır.

Qəbul edək ki, bu həcmdə mərkəzdə müəyyən radiuslu quyu yerləşir. Təcrübələr

göstərib ki, bəzi laylarda lay qalınlığı boyu tam açılmır. Bu səbəbdən də hər hansı bir radiusla yarımşferanı ixtiyari bir radiusla ayıraq. Hərəkətin qərarlaşmış və yarımşferanın səthində təzyiqin kontur təzyiqinə bərabər olduğunu hesab edək. Bu sferanın istənilən nöqtəsindən sürət vektoru mərkəzə doğru yönəlir. Məsələni həll etməkdən ötrü qəbul edək ki, sfera simmetrikdir və onun həlli sferik koordinatda öyrənilə bilər.

Ümumi şəkildə özlü-plastik mayenin süzülməsi aşağıdakı düsturla ifadə olunur

$$\vartheta = -\frac{k}{\mu} \left(\frac{dP}{dr} - G \right) \quad (7)$$

Burada ϑ - süzülmə sürəti; $\frac{dP}{dr}$ - təzyiq qradienti; G - başlanğıc təzyiq qradientidir.

Tənliyin sağ və sol tərəflərini layın en kəsik sahəsinə vursaq, həcmi hasilatı tapmış oluruq

$$Q = \frac{k}{\mu} \left(\frac{dP}{dr} - G \right) F \quad (8)$$

(8) tənliyində F - layın en kəsik sahəsidir və sferaya görə $F = 2\pi r^2$ olduğu üçün tənlik

$$\frac{Q\mu}{2\pi k} \frac{dr}{r^2} + Gdr = dP \quad (9)$$

kimi yazılar. Koordinat sisteminin mərkəzini sferanın sərhəddinə yerləşdirsək, onda aşağıdakı sərhəd şərtlərini qəbul edə bilərik:

$$r = R_q; P = P_q$$

$$r = R_k; P = P_k$$

Burada R_q və R_k - quyu və kontur radiasiyalardır;

P_q və P_k - quyudibi və kontur təzyiqləridir.

Qəbul olunmuş sərhəd şərtləri daxilində (9) tənliyini integrallasaq, həcmi hasilatı tapmış olarıq.

$$Q = \frac{2\pi k}{\mu} \frac{[(P_k - P_q) - G(R_k - R_q)]}{\mu \left(\frac{1}{R_q} - \frac{1}{R_k} \right)} \quad (10)$$

Əgər başlanğıc təzyiq qradientini sıfıra bərabər götürsək, onda yeraltı hidravlikadan məlum olan düsturu almış olarıq.

$$Q = \frac{2\pi k}{\mu} R_q [(P_k - P_q) - G(R_k - R_q)] \quad (11)$$

və ya

$$Q = \frac{2\pi k}{\mu} R_q [(P_k - P_q) - GR_k] \quad (12)$$

(12) tənliyi ilə qalınlığı böyük olan yataqlarda özlü-plastik model vasitəsilə həcmi hasilatı tapmaq olar. Bu tənliyin hər iki tərəfini sıxlığa vurmaqla kütlə sərfini də hesablamaq mümkündür.

Nəticə

Lay şəraitində süzülmə proseslərini modeləşdirərək bir ölçülü düzxətli, iki ölçülü yastı-radial modellərlə yanaşı üç ölçülü sferik – radial modellə də öyrənmək olar. Xüsusilə, qalınlığı çox olan və ya tam açılmayan yataqlarda istifadə oluna bilər.

Qeyri-Nyuton neftli yataqların hidromexaniki modeləşdirilməsi həm istismar və həm də işlənmə zamanı geniş tətbiq oluna bilər. Bu modellərin köməyi ilə müxtəlif prosesləri riyazi və fiziki modellər əsasında kompüter sistemində modeləşdirmək olar.

Üç koordinat, yəni fəza sistemində hərəkəti öyrənməklə, lay-quyu arasında əlaqənin öyrənilməsinə, layın işlənmə prosesini həm Nyuton, həm də Qeyri-Nyuton neft verən yataqlarda tətbiq etməklə enerjinin optimal istifadəsinə nail olmaq olar.

Maraqlar münaqişəsi

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

REFERENCES

1. **Mirzəcanzadə A.X., Əhmədov Z.M., Qurbanov R.S.** Neft layının fizikası. – Bakı: Maarif, 1983. - 331s.
2. **Kotjahov F.I.** Fizika neftjanyh i gazovyh kollektorov. - M.: Nedra, 1977. – 278 s.
3. **Mirzadzhanzade A.H.** Paradoksy neftjanoj fiziki. – Bakı: Azerneshr, 1981.
4. **Basniev K.S., Vlasov A.M., Kochina I.N., Maksimov V.M.** Podzemnaja gidravlika. - M., Nedra, 1986. – 302 s.
5. **İsmayılov Ş.Z., Süleymanov A.Ə., Novruzova S.H. və b.** Neft və qazın çıxarılması texnologiyası. – Bakı, 2022. - 537 s.
6. **Mirzadzhanzade A.H., Kovalev Ju.V., Zajcev Ju.V.** Osobennosti ekspluatatsii mesrozhdenij anomalnyh neftej. - M.: Nedra, 1982. – 200 s.
7. **Dadashzade Kh.I., Makhmudova V.Z.** Characteristic Features of the Movement of Elastic-Viscoplastic Fluid in Pipelines and Formations. *Herald of the Azerbaijan Engineering Academy*, 17(3), 2025, pp. 47–55. <https://doi.org/10.52171/herald.293>