https://doi.org/10.36719/2789-6919/40/99-104

Türkan Əhədova
Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
magistrant
ahadovaturkan@gmail.com
https://orcid.org/0009-0002-2251-7847

Laya istilik təsiri ilə neftveriminin artırılması üsulu

Xülasə

Bu elmi məqalə, neft yataqlarında istilik təsiri texnologiyalarının neftveriminin artırılmasındakı rolunu və iş prinsipini dərindən tədqiq edir. Laylara istilik tətbiq edilməsi prosesində baş verən fiziki-kimyəvi dəyişikliklərə əsaslanaraq, temperatur artdıqca neftin özlülüyünün azaldığı və fazalararası səthi gərginliyin zəiflədiyi müşahidə olunur. Bu dəyişikliklər, neftin daha asan axışını təmin edərək, istehsalın artırılmasına kömək edir. Beləliklə, 200-250°C temperatur diapazonunda neftin özlülüyü bir neçə dəfə, səthi gərginlik isə 2-3 dəfə azalır, bu da neftin daha rahat çıxarılmasına imkan verir.

Məqalədə, həmçinin, istilik təsiri üsullarının müxtəlif növləri təqdim edilir, o cümlədən lay daxili yanma, isti su və buxar vurulması kimi texnologiyalar da yer alır. Tədqiqatın nəticələri göstərir ki, bu üsullarla neft verimini 10-40% arasında artırmaq mümkündür. Bu texnologiyalar neftin çıxarılmasının səmərəliliyini artırmaqla yanaşı, ətraf mühitə təsirləri də minimuma endirir.

İstilik təsirinin neft yataqlarında necə işlədiyini anlamaq üçün, məqalədə bu proseslərin riyazi modelləşdirilməsi də təhlil olunur. İstilik yayılmasının proqnozlaşdırılması üçün diferensial tənliklər və ədədi həll üsulları istifadə edilir. İstilik təsirinin təsirini modelləşdirmək üçün sərhəd tərs məsələlərinin həlli metodları tətbiq edilir ki, bu da praktiki tətbiqlərdə istilik proseslərinin daha dəqiq qiymətləndirilməsinə imkan verir.

Açar sözlər: *neft hasilatı, istilik təsiri, neftverimi, riyazi modelləşdirmə, sərhəd tərs məsələləri, istilik yayılması, neftin özlülüyü, fazalararası səthi gərginlik*

Turkan Ahadova
Azerbaijan State Oil and Industry University
Master student
ahadovaturkan@gmail.com
https://orcid.org/0009-0002-2251-7847

The Method of Increasing Oil Recovery Through Thermal Impact

Abstract

This scientific paper thoroughly investigates the role and operational principles of thermal stimulation technologies in enhancing oil recovery from oil reservoirs. Based on the physical and chemical changes occurring during the application of heat to the reservoirs, it is observed that as the temperature increases, the viscosity of the oil decreases, and the interfacial tension between phases weakens. These changes facilitate the easier flow of oil, thereby contributing to increased production. Specifically, in the temperature range of 200-250°C, the viscosity of the oil can decrease several times, and the surface tension can reduce by 2-3 times, which enables easier extraction of oil.

The paper also presents various methods of thermal stimulation, including in-situ combustion, hot water injection, and steam injection technologies. The results of the study indicate that these methods can increase oil recovery by 10-40%. In addition to improving the efficiency of oil extraction, these technologies minimize environmental impacts.

Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

To understand how thermal stimulation works in oil reservoirs, the paper also explores the mathematical modeling of these processes. Differential equations and numerical solution methods are employed for predicting heat transfer. Methods for solving boundary inverse problems are applied to model the effects of thermal stimulation, allowing for more accurate assessments of heat processes in practical applications.

Keywords: *oil production, thermal stimulation, oil recovery, mathematical modeling, boundary inverse problems, heat transfer, oil viscosity, interfacial tension*

Giriş

Laya istilik təsiri texnologiyası, neft yataqlarında hasilatı intensivləşdirmək və mövcud ehtiyatlardan maksimum faydalanmaq məqsədilə tətbiq edilir. Bu üsul, texniki vasitələr və texnologiyalar vasitəsilə laylara, quyuətrafı zonalara və quyunun özünə istilik verilməsi prosesinə əsaslanır. İstilik mənbəyi ya layın daxilində yaradılır, ya da Yer səthindən istilik ötürücüləri vasitəsilə təmin edilir. Bu texnologiya, lay skeleti ilə neft arasındakı səthi gərilmənin, neft-su sərhədindəki gərginliyin və neftin hərəkətinə olan hidrodinamik müqavimətin azalması ilə neftverimini artırır.

Temperaturun artması ilə neftin bəzi komponentlərinin faza çevrilmələri baş verir: yüngül fraksiyalar və həll olmuş qazlar maye fazasından qaz fazasına keçir, ağır komponentlər isə bərk fazadan maye fazasına keçir. Bu dəyişikliklər özlülük və səthi gərilməni əhəmiyyətli dərəcədə azaldaraq hasilatı artırır. 250°C-dən yuxarı temperaturlarda termik krekinq və piroliz prosesləri baş verir. 450°C və daha yüksək temperaturlarda isə lay skeletində bəzi minerallar parçalanır, karbon qazı yaranır və bu qaz həll olaraq neftin axıcılığını artırır.

Müxtəlif temperaturlarda bu texnologiyalar neftveriminin artırılması üçün fərqli mexanizmlərdən istifadə edir. Məsələn, isti su vurulması ilə neftverimi 10-15%, buxar vurulması ilə 10-20%, lay daxili yanma üsulu ilə isə 30-40% artırıla bilər. Lay daxili yanmada ekzotermik reaksiyalar və suyun buxarlanması nəticəsində yaranan buxar, neftin hərəkətliliyini artırır. Bəzi hallarda, istilik ötürmək üçün istilik boruları kimi fiziki qurğulardan da istifadə edilir. Bu borular vasitəsilə istilik laylara ötürülərək effektivlik artırılır. Beləliklə, laya istilik təsiri neft yataqlarının hasilat potensialını optimallaşdırmaq üçün əhəmiyyətli bir üsuldur.

Tədqiqat

Laya istilik təsiri prosesinin riyazi modelinin qurulması. Yüksək özlülüyə malik neft laylarının işlənməsi üçün müasir dövrdə istilik təsiri üsulları mühüm yer tutur. İstilik təsiri, lay neftinin özlülüyünü və sıxlığını azaltmaqla yanaşı, neftin süzülmə sürətini artırır, bərk fazaların həll olmuş vəziyyətə qayıtmasını təmin edir və kapillyar qüvvələrin təsirini azaldır (Suchkov, 2007: 207).

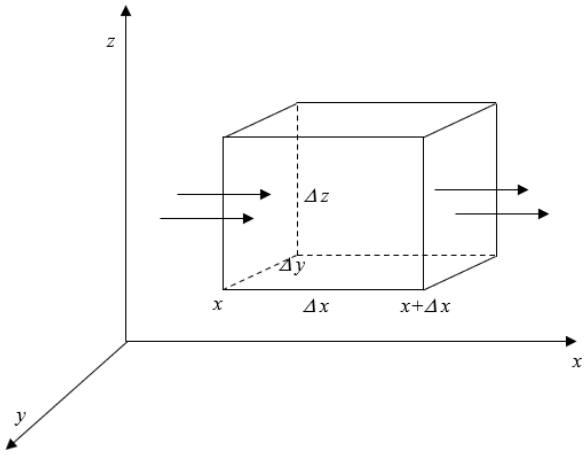
Praktikada ən çox istifadə olunan istilik təsiri üsulları bunlardır:

- Lay daxili yanma mənbəyinin yaradılması;
- İstilikdaşıyıcıların (qaynar su, buxar, su-buxar qarışığı) laya vurulması;
- Quyu ətrafı zonanın qızdırılması.

Neft laylarının işlənməsi zamanı qeyri-izotermik süzülmə prosesləri müşahidə edilir. Bu prosesləri dəqiq modelləşdirmək üçün yalnız hidrodinamika tənliklərindən istifadə kifayət etmir, çünki bu tənliklər lay temperaturunu təsvir edən funksiyanı daxil etmədikdə qapalı sistem yaratmır.

Tənliklər sisteminin qapalı olması üçün temperaturun paylanmasını təsvir edən diferensial tənlik əlavə edilməlidir. Bu tənlik, enerjinin saxlanması qanununa əsaslanaraq istiliyin layda yayılma prosesini təsvir edir (Hasanov, Romanov, 2021: 97).

Layda istiliyin yalnız bir istiqamətdə – OX oxu istiqamətində yayıldığını fərz edək. Məsaməli mühitin skeletinin və laydakı mayelərin eyni temperatura malik olduqlarını qəbul edək. İstiliyin yayıldığı məsaməli mühitdə tilləri $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ olan düzbucaqlı parallelepiped şəklində elementi təsəvvür edək (Şəkil 1).



Şəkil 1. Lay elementinin sxemi

Layda istiliyin yayılması əsasən iki üsulla həyata keçir: hərəkət edən mayelər vasitəsilə istiliyin konvektiv daşınması və istiliyin keçirilməsi (Alifanov, 2011: 164). Əgər bu elementar həcmin daxilindəki neft fazasının hərəkət sürətini u_0, su fazasının sürətini u_w, istilik keçirilməsi prosesində bir vahid zaman ərzində vahid kəsikdən ötürülən istilik miqdarını q ilə işarə etsək, onda Δt zaman müddətində elementar həcmə sol kəsikdən daxil olan istilik miqdarı

$$E_d = q\Delta y\Delta z\Delta t\big|_x + \rho_0 u_0 E_0 \Delta y\Delta z\Delta t\big|_x + \rho_w u_w E_w \Delta y\Delta z\Delta t\big|_x$$

formasında olar. Burada E_0- vahid kütləli olan neftin daxili enerjisi, E_w- vahid kütləli suyun daxili enerjisidir.

Oxşar şəkildə, Δt zaman müdətində elementar həcmin $x = x + \Delta x$ kəsiyindən xaric olan istilik miqdarı

$$E_x = q\Delta y\Delta z\Delta t\big|_{x+\Delta x} + \rho_0 u_0 E_0 \Delta y\Delta z\Delta t\big|_{x+\Delta x} + \rho_w u_w E_w \Delta y\Delta z\Delta t\big|_{x+\Delta x}$$

kimi olar.

Digər tərəfdən, bu elementar həcmin daxilində istilik miqdarının artımı

$$\Delta E = \left[mS_w\rho_w E_w \Delta x\Delta y\Delta z + m(1-S_w)\rho_0 E_0 \Delta x\Delta y\Delta z + (1-m)\rho_p E_p \Delta x\Delta y\Delta z\right]_{t+\Delta t} -$$

$$-\left[mS_w\rho_w E_w \Delta x\Delta y\Delta z + m(1-S_w)\rho_0 E_0 \Delta x\Delta y\Delta z + (1-m)\rho_p E_p \Delta x\Delta y\Delta z\right]_t$$

ifadəsi ilə təyin oluna bilər (Samarski, Vabishchevich, 2008: 160).

Elementar həcmdə istilik miqdarının artımını təsvir edən ifadələrin bərabərlik şərtindən

$$q\Delta y\Delta z\Delta t\big|_x - q\Delta y\Delta z\Delta t\big|_{x+\Delta x} + \rho_0 u_0 E_0 \Delta y\Delta z\Delta t\big|_x - \rho_0 u_0 E_0 \Delta y\Delta z\Delta t\big|_{x+\Delta x} +$$

$$+\rho_w u_w E_w \Delta y\Delta z\Delta t\big|_x - \rho_w u_w E_w \Delta y\Delta z\Delta t\big|_{x+\Delta x} =$$

$$= \left[mS_w\rho_w E_w \Delta x\Delta y\Delta z + m(1-S_w)\rho_0 E_0 \Delta x\Delta y\Delta z + (1-m)\rho_p E_p \Delta x\Delta y\Delta z\right]_{t+\Delta t} -$$

$$-\left[mS_w\rho_w E_w \Delta x\Delta y\Delta z + m(1-S_w)\rho_0 E_0 \Delta x\Delta y\Delta z + (1-m)\rho_p E_p \Delta x\Delta y\Delta z\right]_t$$

İfadəsini alarıq. Burada E_p, ρ_p - məsaməli mühitin skeletinin vahid kütləsinin daxili enerjisi və sıxlığıdır (Kostin, Prilepko, 1996: 122).

Alınmış tənliyin hər iki tərəfini $\Delta x\Delta y\Delta z\Delta t$ -yə bölüb, limitə keçsək

$$\frac{\partial}{\partial t}\left[mS_w\rho_w E_w + (1-m)\rho_p E_p\right] = -\frac{\partial q}{\partial x} - \frac{\partial \rho_0 u_0 E_0}{\partial x} - \frac{\partial \rho_w u_w E_w}{\partial x} \quad (1)$$

düsturunu alarıq. Əgər istiliyin məsaməli mühitdə yayılma prosesinin Furye qanununa uyğun olduğunu fərz etsək, o zaman

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}$$

qəbul etmək olar. Burada λ -istilikkeçirmə əmsalıdır.

Sıxılmayan mayelər və deformasiya olunmayan məsaməli mühitlər üçün vahid kütləyə aid daxili enerji müvafiq olaraq

$$E_0 = c_0' T, \quad E_w = c_w' T, \quad E_p = c_p' T$$

düsturları sayəsində müəyyən olunur. Burada c_0', c_w', c_p' -uyğun olaraq neftin, suyun və məsaməli mühitin skeletinin xüsusi kütlə istilik tutumudur (Prilepko, Orlovsky, Vasin, 2000: 132). Neftin, suyun və məsaməli mühitin skeleti üçün həcmi istilik tutumu anlayışını nəzərə alaraq

$$c_0 = \rho_0 c_0', \quad c_w = \rho_w c_w', \quad c_p = \rho_p c_p'$$

yazmaq olar. Daxil edilən kəmiyyətləri və Furye qanununu nəzərə alaraq, (1) tənliyini aşağıdakı formada ifadə etmək mümkündür

$$\frac{\partial}{\partial t}\left[\left(mS_w c_w + mc_0 - mS_w c_0 + (1-m)c_p\right)T\right] = \frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda \frac{\partial T}{\partial x}\right] - \frac{\partial}{\partial x}\left[(u_0 c_0 + u_w c_w)T\right]. \quad (2)$$

(2) tənliyi ikifazalı axının baş verdiyi layda istiliyin yayılması prosesini təsvir edir. Əgər neftin və suyun həcmi istilik tutumları bərabər olarsa

$$c_0 = c_w = c_f$$

o zaman (2) tənliyi

$$\frac{\partial}{\partial t}\left[\left(mc_f + (1-m)c_p\right)T\right] = \frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda \frac{\partial T}{\partial x}\right] - c_f u \frac{\partial T}{\partial x} \quad (3)$$

formasına çevrilər.

Beləliklə, layda istiliyin yayılma prosesini əks etdirən (3) tənliyini əldə etmiş olduq (Denisov, 2021: 351). Göründüyü kimi, əgər neftin və suyun həcmi istilik tutumları bərabərdirsə və ikifazalı axının ümumi süzülmə sürəti məlumdursa, (3) tənliyi vasitəsilə layda neftin və suyun hərəkətini təsvir edən hidrodinamik tənliklərdən ayrıca olaraq istifadə edilə bilər. Bu tənlik, laydakı istilik yayılma prosesini modelləşdirmək üçün də tətbiq oluna bilər.

Aydındır ki, (3) tənliyi əsasında layda temperaturun paylanmasını müəyyən etmək üçün başlanğıc vaxt anında laydakı istilik paylanmasını təsvir edən başlanğıc şərt və layın ətraf mühitlə istilik mübadiləsini əks etdirən sərhəd şərti təqdim olunmalıdır. Adətən, (3) tənliyi üçün sərhəd şərti ya temperatur, ya da quyuda və layın sərhədində istilik miqdarı ilə müəyyən edilir. Lakin qeyd etmək lazımdır ki, laya istilik təsiri zamanı layın sərhədində baş verən prosesləri birbaşa ölçmək və ya müşahidə etmək mümkün olmur. Buna görə də layın sərhədindəki şərtləri praktiki olaraq təsvir etmək çətindir. Laya istilik təsirinin nəticələrini yalnız quyularda əldə etmək mümkündür, çünki burada həm temperatur, həm də laya verilən istilik miqdarını ölçmək mümkündür.

Bu vəziyyətdə, neft laylarına istilik təsirini nəzərə alaraq, layda temperaturun paylanmasını yalnız quyulardan əldə edilən məlumatlara əsaslanaraq müəyyən etmək məsələsi ortaya çıxır.

Tutaq ki, uzunluğu L, qalınlığı H və eni b olan üfüqi yerləşmiş neft layı istilik təsiri ilə istismar edilir. Laya istilik $x=0$ kəsiyində yerləşmiş istismar quyularının qalereyası vasitəsilə verilir. Yuxarıda qeyd olunduğu kimi, layda istiliyin yayılması iki əsas yolla baş verir: layın istilik ötürülməsi və konveksiya, yəni neft hissəciklərinin hərəkəti vasitəsilə. Təsəvvür edək ki, davanı və tavanı izolyasiya olunmuş, layın skeleti ilə süzülən neft arasında istilik mübadiləsi anında baş verir və onların temperaturları eyni səviyyədə qalır. Bu halda, layda istiliyin yayılması prosesinin riyazi modelini aşağıdakı kimi ifadə etmək mümkündür:

$$\left(mc_f + (1-m)c\,p\right)\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial t}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{q}{bH} c_f \frac{\partial T}{\partial x},\ 0 < x < L,\ t > 0\,. \tag{4}$$

Burada $q(t)$- istismar quyularının yerləşdiyi qalereyanın çıxarılmasıdır (Bourget, Surko, Kombarzhu, 1988: 256).

Təsəvvür edək ki, $t=0$ başlanğıc vaxt anında layda temperaturun paylanması, qalereyanın temperaturu və qalereya vasitəsilə laya verilən istilik miqdarının zamana bağlı dəyişmə qanunauyğunluqları məlumdur. Bu halda, (4) parabolik tipli tənlik üçün aşağıdakı başlanğıc və sərhəd şərtləri əldə edirik:

$$T\big|_{t=0} = \varphi(x), \tag{5}$$

$$T\big|_{x=0} = T_w(t), \tag{6}$$

$$-bH\lambda \frac{\partial T}{\partial x} + qc_f T\big|_{x=0} = Q(t), \quad . \tag{7}$$

Lakin layın xarici sərhədində temperaturu və ya istilik miqdarını ölçmək praktiki olaraq mümkün olmadığı üçün bu sərhəddəki şərti müəyyən etmək çətindir. Həmçinin, layın başlanğıc vaxtında istilik vəziyyəti məlum olmadığından, (4) tənliyi üçün başlanğıc şərtini formalaşdırmaq da mümkün olmur. Nəticədə, layda istiliyin paylanmasının müəyyənləşdirilməsi (4) tənliyinin (5) və (6) şərtləri daxilində həllinin tapılmasına yönəldilmiş olur. Qeyd etmək lazımdır ki, alınan (4)-(6) məsələsi sərhədin tərs məsələləri sinfinə aiddir (Samarsky, Vabishchevich, 2003: 4).

Nəticə

Bu tədqiqatın nəticələrinə əsasən, layda istiliyin yayılması prosesinin modelləşdirilməsi ilə bağlı əsas məsələlər və nəzərə alınmalı şərtlər müəyyənləşdirilmişdir. Layda istiliyin yayılmasının iki əsas mexanizm vasitəsilə həyata keçdiyi məlumdur: birincisi, hərəkət edən mayelər vasitəsilə istiliyin konvektiv daşınması və ikincisi, istiliyin keçirilməsi. Bu iki mexanizm birgə işləyərək, layda temperaturun paylanmasına təsir göstərir və bu prosesin düzgün təhlil edilməsi üçün müxtəlif parametrlərin nəzərə alınması vacibdir.

Layda istiliyin yayılmasını təsvir edən riyazi model (4) tənliyi əsasında əldə edilən nəticələr, layda temperaturun paylanmasının başlanğıc və sərhəd şərtləri daxilində müəyyən edilə biləcəyini göstərir. Bu tənlik və əlaqəli şərtlər, neftin və suyun həcmi istilik tutumlarının bərabər olduğu halda daha sadə hala gəlir və bu halda istilik yayılmasını təsvir edən tənliklərdən istifadə edilə bilər. Lakin, layın sərhədində baş verən proseslərin ölçülməsi və ya müşahidəsi praktiki olaraq mümkün olmadığından, bu sərhəd şərtləri yalnız modeldə təxmini qiymətləndirmələr əsasında müəyyən edilir.

Əlavə olaraq, layda istiliyin yayılma prosesini daha dərindən anlamaq üçün, quyularda temperatur və istilik miqdarının ölçülməsi əhəmiyyətlidir. Bu ölçmələr, layın sərhədində baş verən istilik mübadiləsi və temperatur dəyişikliklərini daha dəqiq şəkildə modelləşdirməyə imkan verir. Bununla yanaşı, bu tədqiqatda alınan riyazi tənliklər, gələcəkdə layda istilik paylanmasının daha dəqiq proqnozlaşdırılması üçün istifadə oluna bilər.

Nəticə olaraq, layda istiliyin yayılmasını təsvir edən modelin daha da təkmilləşdirilməsi və real dünya şəraitində tətbiq edilməsi üçün müxtəlif əlavə şərtlər və parametrlərin nəzərə alınması lazımdır. Bu proseslər, layın effektiv istismarı və istilik təsiri zamanı temperatur və istilik paylanmasının düzgün müəyyənləşdirilməsini təmin edəcəkdir.

Ədəbiyyat

1. Suchkov, B.M. (2007). *Temperature regimes of operating wells and thermal methods of oil production*. IKI.
2. Hasanov, A.H., Romanov, V.G. (2021). *Introduction to Inverse Problems for Differential Equations*. Springer.
3. Alifanov, O.M. (2011). *Inverse heat transfer problems*. Springer.
4. Samarskii, A.A., Vabishchevich, P.N. (2008). *Numerical methods for solving inverse problems of mathematical physics*. De Gruyter.
5. Kostin, A.B, Prilepko, A.I. (1996). *On Some Problems of Restoration of a Boundary Condition for a Parabolic Equation*. Differential Equations.
6. Prilepko, A.I., Orlovsky, D.G., Vasin, I.A. (2000). *Methods for solving inverse problems in mathematical physics*. Marcel Dekker.
7. Denisov, A.M. (2021). *Approximate solution of inverse problems for the heat equation with a singular perturbation*. Computational Mathematics and Mathematical Physics.
8. Bourget, J., Surko, P., Kombarzhu, M. (1988). *Thermal methods for enhancing oil recovery*. Nedra.
9. Samarsky, A.A., Vabishchevich, P.N. (2003). *Computational heat transfer*. Editorial URSS.

Daxil oldu: 06.10.2024
Baxışa göndərildi: 25.10.2024
Təsdiq edildi: 20.12.2024
Çap olundu: 30.12.2024