BAKI UNİVERSİTETİNİN XƏBƏRLƏRİ

№4 Fizika-riyaziyyat elmləri seriyası 2021

UOT 539.2-18

MÜXTƏLİF REOFİZİKİ XASSƏLƏRƏ MALİK SIXIŞDIRAN VƏ SIXIŞDIRILAN SİSTEMLƏRDƏ DAYANIQLIĞIN MÜƏYYƏN EDİLMƏSİ ÜÇÜN TƏQRİBİ ÜSULLARIN İŞLƏNMƏSİ

İ.C.MƏMMƏDOV
AMEA, Riyaziyyat və Mexanika İnstitutu
imamedoff1997@list.ru

Təqdim olunan işdə sıxışdıran və sıxışdırılan mayelər arasında sərhədin hərəkətinin dayanıqlığının qiymətləndirilməsi üçün təqribi üsul təklif olunaraq tədqiq edilmişdir. Həmçinin sıxışdıran mayenin özlü-plastik olduğu hal üçün ayırma sərhədinin hərəkətində dayanıqlılığın tədqiqləri aparılmışdır. Cəbhə dayanıqlılığını təhlil etmək üçün şərtlər alınmışdır.

Açar sözlər: məsaməli mühit, sıxışdırma, özlü-plastik mayelər, dayanıqlıq

Giriş. Məsaməli mühitlərdə müxtəlifölçülü şaxələnmiş kanallarla mayenin hərəkəti son dərəcə mürəkkəb sistem şəklində baş verir. Buna görə də neft və su kimi bir-birinə qarışmayan iki maye bir yerdə axdığı zaman məsaməli mühitdə mürəkkəb doyma paylanmasına malik, güclü əyilmiş səth yaranır.

Bununla əlaqədar olaraq sıxışdırma prosesinin hidrodinamik yazılışı mövcud axın və təsir qüvvələri nisbətlərindən asılı olaraq fərqlənməlidir.

Məsaməli mühitdə axını süxur dənəciklərinin ölçüləri ilə müqayisədə tədqiq etmək üçün səthi qüvvələr nəzərə alınmaqla mayenin özlü axını nəzəriyyəsindən istifadə olunur [1,7].

Süxur dənəciklərinin ölçüləri ilə müqayisədə çox sayda məsamələri əhatə edən lay üçün yazılan iki fazalı süzülmə nəzəriyyəsinin Bakley-Leveretta sxemi prosesi tam əhatə etmir.

Bakley-Leveretta sxemi sıxışdırma prosesini nisbətən kiçik miqyasda düzgün əks etdirir, quyular arasındakı məsafələrlə müqayisə təsvirinə keçərkən prinsipial çətinliklərlə rastlaşır [2].

Çətinliklər neft və qaz kollektorlarının qeyri-bircinsliyi, keçiriciliyin, demək olar ki, xaotik paylanması ilə bağlıdır ki, bu da "dillər" şəklində son dərəcə mürəkkəb sıxışdırma cəbhəsinin yaranmasına gətirib çıxarır [8].

Məsaməli mühitdə mayelərin sıxışdırılmasının öyrənilməsi zamanı əldə edilən həllərin dayanıqlılığı məsələləri mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Fiziki olaraq dayanıqsızlığın yaranması onunla bağlıdır ki, ixtiyarı təsirlər nəticəsində daha hərəkətli maye hissəciklərinin az hərəkətli mayeyə daxil olması onu hərəkətə gətirən təzyiqlər fərqinin təsiri altında yaranır və burada hissəciklərin hərəkəti sürətlənir. Əgər sıxışdırıcı maye daha yüksək hərəkətə malik olarsa, bu "hiddətlənmənin" artmasına gətirib çıxarır [9].

Belə elementar yanaşma nəticəsində [3] daha ciddi nəzəriyyədən istifadə edildikdə, eyni davamlılıq şərtlərini əldə etmək olur. Burada sistemin stabilliyinin təhlili ilə əlaqədar dayanıqlığın analizində, əsas vəziyyətə kiçik təsir əlavə olunur və onun davranışında sonrakı vəziyyət araşdırılır.

Dayanıqlıqla əlaqədar tədqiqatlarda özlülüklərin münasibətlərinin bütün diapazonda dəyişilməsi və həm də qarışan mayelərin sıxışdırılmasında dayanıqlılıq məsələləri tam həll olunmayıb. Burada əsasən qarışan mayelərin sıxışdırılması zamanı keçid zonasının eninin vaxt keçdikcə durmadan artması (~ $\sqrt{t}$) və sərhəddə şəraitin dəyişməsi ilə tədqiqat aparılması çətinləşdiyindən bu problem əmələ gəlir.

Son vaxtlar neftveriminin artırılması məqsədi ilə suvurmada mürəkkəb reofiziki xassələrə malik olan özlü-plastik, özlüelastik və s. mayelərdən istifadə olunur.

Bu halda prosesin tam hidrodinamik təsvirini vermək, sıxışdırmanın davamlılığının tədqiqinin mürəkkəbliyinə görə praktiki olaraq qeyri-mümkün olur.

Buna görə də işdə sıxışdıran və sıxışdırılan mayelər arasında sərhəddin hərəkətinin dayanıqlığının qiymətləndirilməsi üçün təqribi üsul təklif olunaraq tədqiq edilmişdir.

Təklif olunan yanaşmada müxtəlif özlülüklü mayelərin özlü axını üçün alınan nəticələrin ciddi hidrodinamik nəzəriyyədən [4] istifadə etməklə alınan eyni nəticələrə uyğunluğu müqayisə olunmuşdur. Burada bundan əlavə mayenin özlü-plastik və özlü-elastik olduğu hallar üçün ayırma sərhədinin hərəkətində dayanıqlılığın tədqiqləri aparılmışdır.

Təklif olunan yanaşmada bir mayenin digər maye ilə məsaməli mühitdən sıxışdırılması ayırıcı sərhədin hərəkətində dayanıqlıqla bağlı məsələ formalaşdırılmışdır.

Məsələnin qoyuluşu və həlli. Nəzərə alsaq ki, məsaməli mühit modeli əsasən özlü neftlə doydurulmuşdur və bir müddətdən sonra nefti sıxışdırmaq üçün bura su vurulmağa başlanmışdır.

Tutaq ki, bu sıxışdırma prosesində doyma sahəsinin dəyişməsi nəzərəçarpacaq dərəcədə kiçikdir. Onda bütün axın sahəsini iki hissəyə bölmək olar. Onlardan birində yalnız neft o birində yalnız suyun olduğu qəbul olunur. Bu sahələri ayıran sərhəd doymada qırılmanın riyazi səthidir. Burada mühitin suya görə keçiriciliyi K_s və neftə görə keçiriciliyi K_n, m məsaməlilikli bircins mühitdən su ilə düzxətli sıxışdırmasına baxaq. Nümunənin uzunluğunu kapilyar və ağırlıq qüvvələrinin təsirini nəzərə alınmayacaq dərəcədə qeyd edək. Darsi qanunundan və təzyiqin paylanması üçün kəsilməzlik tənliyindən aşağıdakı tənlikləri yaza bilərik:

$$\frac{\partial^2 P_s}{\partial x^2}=0, \qquad 0<x<l(t) \tag{1}$$

$$\frac{\partial^2 P_n}{\partial x^2}=0, \qquad l(t)<x<L \tag{2}$$

$$\left.\begin{aligned} & P_n=P_s=P_o \\ & \gamma_n=\gamma_s, \\ & \frac{k_s}{\mu_s}\frac{\partial P_s}{\partial x}=\frac{k_n}{\mu_n}\frac{\partial P_n}{\partial x} \end{aligned}\right\} x=l(t) \tag{3}$$

$$P_s=P_1, \qquad x=0 \tag{4}$$

$$P_n=P_2, \qquad x=L \tag{5}$$

(3) şərti hərəkət sərhədindən keçərkən təzyiqin kəsilməzlik və material balansının yerinə yetirilməsi şərtləridir.

(1), (2) tənliklərinin (3),(4),(5) şərtlər daxilində inteqrallanması neft və su sahələrində təzyiq paylanmaları üçün ifadə verir:

$$P_s=P_1-\frac{\Delta P}{\varphi L+(1-\varphi)l(t)}x \tag{6}$$

$$P_n=P_2-\frac{\varphi\Delta P}{\varphi L+(1-\varphi)l(t)}(x-L) \tag{7}$$

Burada: $\Delta P=P_1-P_2$ -nümunə üçün yazılmış təzyiqlər fərqidir.

$\varphi=\frac{k_s}{k_n}\frac{\mu_n}{\mu_s}$ - hərəkətlilik əmsalı,

Odur ki, hərəkət sürəti üçün ayırıcı səth koordinatları ("ön" də yerləşən mayenin hissəciklərinin sürəti) aşağıdakı bərabərliklər şəklində doğrudur:

$$\upsilon_0=\frac{dl}{dt}=\frac{\upsilon_s}{m}$$

Onda (6)-dan alarıq:

$$\frac{dl}{dt}=\frac{k_s}{m\mu_s}\cdot\frac{\Delta P}{\varphi L+(1-\varphi)l(t)} \tag{8}$$

Fərz edək ki, ixtiyarı kiçik təsir cəbhədə hissəcik koordinatlarını ε qədər dəyişdirir (prinsipcə çox az təsir $\varepsilon \ll l$).

İndi hansı zaman ərzində ε təsir şəraitinin sönəcəyini (davamlılıq şərtləri) araşdıraq (dayanaqlılıq şərti).

$$\frac{d\varepsilon}{dt}=\frac{d(l+\varepsilon)}{dt}-\frac{dl}{dt}$$

$$\frac{d\varepsilon}{dt}\approx\frac{k_s\Delta P(\varphi-1)\varepsilon}{m\mu_s[\varphi L+(1-\varphi)l]^2} \tag{9}$$

$\frac{d\varepsilon}{dt}<0,\ \varphi<1$ olduqda, (9)-dan

$$\frac{d\varepsilon}{dt} < 0 \quad \text{və ya} \quad \frac{k_s}{\mu_s} < \frac{k_n}{\mu_n} \quad \text{alınır} \tag{10}$$

Yəni sıxışdırılan mayenin hərəkətlilik əmsalı sıxışdıran mayenin hərəkətlilik əmsalından az olarsa, cəbhədə yaranan "dillər" hamarlanır və axın dayanıqlı olur.

Mayelərin özlü plastiki olduğu halında dayanıqlılıq şərtlərini müəyyən edək.

Mayenin stasionar hərəkəti zamanı özlü-plastik mayenin ("cəbhə"yə qədər) sıxışdırılma sürəti aşağıdakı ifadə ilə müəyyən edilir

$$\upsilon_1 = \frac{k}{\mu_1} \cdot \frac{P_1 - P_0 - \frac{4\,l(t)\tau_{01}}{d}}{l(t)} \tag{11}$$

və sıxışdırılan mayenin sürəti

$$\upsilon_2 = \frac{k}{\mu_2} \cdot \frac{P_0 - P_2 - \frac{4\left[L - l(t)\right]\tau_{02}}{L - l(t)}}{L - l(t)} \tag{12}$$

burada, P_0 - "cəbhədə" təzyiq,

$$P_1 = P \quad (x = 0)$$
$$P_2 = P \quad (x = L)$$

P_0 – "cəbhədə" axın sürətlərinin kəsilməzliyi $\upsilon_1 = \upsilon_2$ şərtindən müəyyən edilir .

$$P_0 = \frac{P_1\mu_2(L-l) + P_2\mu_1 l - \frac{4l(L-l)}{d}(\mu_2\tau_{01} - \mu_1\tau_{02})}{\mu_2(L-l) + \mu_1 l} \tag{13}$$

(13) ifadəsini (11) – də nəzərə almaqla alarıq:

$$\upsilon_1 = \frac{k}{\mu_1} \cdot \frac{(P_1 - P_2) - \frac{4}{d}\left[(L-l)\tau_{02} + l\tau_{01}\right]}{l\left[1 - \frac{\mu_2}{\mu_1}\right] + \frac{\mu_2}{\mu_1}L} \tag{14}$$

"Cəbhənin" hərəkət sürəti aşağıdakı münasibətdən tapılır:

$$\frac{dl}{dt} = \frac{\upsilon_1}{m} \tag{15}$$

Onda kiçik təsir üçün ε belə olacaq:

$$\frac{d(l+\varepsilon)}{dt} = \frac{k}{\mu_1} \cdot \frac{\Delta P - \frac{4}{d}\left[(L - l - \varepsilon)\tau_{02} + (1+\varepsilon)\tau_{01}\right]}{(l+\varepsilon)\left(1 - \frac{\mu_2}{\mu_1}\right) + \frac{\mu_2}{\mu_1}L} \tag{16}$$

$\frac{d\varepsilon}{dt}$ - ifadəsini tapsaq

$$\frac{\mu_1}{k}\frac{d\varepsilon}{dt}=\frac{\frac{4\varepsilon}{d}\left[(L-l)\tau_{02}+l\tau_{01}\right]\left(1-\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)}{\left(l\left(1-\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)+\frac{\mu_2}{\mu_1}L\right)^2+\varepsilon\left(1-\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)\left(l\left(1-\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)+\frac{\mu_2}{\mu_1}L\right)}+$$
$$+\frac{\frac{4\varepsilon}{d}(\tau_{02}-\tau_{01})\left(l\left(1-\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)+\frac{\mu_2}{\mu_1}L\right)}{\left(l\left(1-\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)+\frac{\mu_2}{\mu_1}L\right)^2+\varepsilon\left(1-\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)\left(l\left(1-\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)+\frac{\mu_2}{\mu_1}L\right)}- \tag{17}$$
$$-\frac{\Delta P\varepsilon\left(1-\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)}{\left(l\left(1-\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)+\frac{\mu_2}{\mu_1}L\right)^2+\varepsilon\left(1-\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)\left(l\left(1-\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)+\frac{\mu_2}{\mu_1}L\right)}$$

alarıq.

İfadəni ε-na bölək və $l \to L$ yaxınlaşdıraq. Onda alarıq:

$$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon}=\frac{-k}{\mu_1 L^2\left(1+\frac{\varepsilon}{L}\left(1-\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)\right)}\left[\Delta P\left(1-\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)-\frac{4L}{d}\left(\tau_{02}-\tau_{01}\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)\right]dt \tag{18}$$

Belə ki, təsir daha az götürülür $L(\varepsilon << L)$

$$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon}=\frac{-k}{\mu_1 L^2\left(1+\frac{\varepsilon}{L}\left(1-\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)\right)}\left[\Delta P\left(1-\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)-\frac{4L}{d}\left(\tau_{02}-\tau_{01}\frac{\mu_2}{\mu_1}\right)\right]dt \tag{19}$$

Bərabərliyi $\frac{\mu_1}{\mu_2\tau_{01}}$-ə vursaq,

$$\frac{d\varepsilon}{\varepsilon}=\frac{-4k}{dL}\cdot\frac{\mu_2\tau_{01}}{\mu_1}\left[\frac{\Delta P}{\Delta P_{01}}\left(\frac{\mu_1}{\mu_2}-1\right)-\frac{\tau_{02}\mu_1}{\tau_{01}\mu_2}+1\right]dt \tag{20}$$

alarıq.

Təsirin sönməsi üçün aşağıdakı bərabərsizlikləri araşdırmaq lazımdır:

$$\begin{cases}\frac{\Delta P}{\Delta P_{01}}\left(\frac{\mu_1}{\mu_2}-1\right)-\frac{\tau_{02}\mu_1}{\tau_{01}\mu_2}+1>0\\ \frac{\tau_{01}+\mu_1 Q}{\tau_{02}+\mu_2 Q}>1\end{cases} \tag{21}$$

Qrafiki olaraq μ_1,μ_2 belə müəyyən edilir

$$\frac{Q}{\Delta P}=\alpha,\ \ \alpha=\frac{1}{\mu}$$

burada $\mu-$ mütləq özlülükdür [3]

Qeyd etsək,

$$\mu_1^* = \tau_{01} + \mu_1 Q$$
$$\mu_2^* = \tau_{02} + \mu_2 Q$$

μ_1^*, μ_2^*-mayelərin effektiv özlülüklərini (21) və (22) bərabərsizliklərinə əlavə etsək, nəticədə cəbhə dayanıqlılığını təhlil etmək üçün aşağıdakı şərtləri alarıq:

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{Q\mu_2}{\Delta P_{01}}\left(\dfrac{\mu_1}{\mu_2} - 1\right) > \dfrac{\tau_{02}}{\tau_{01}} - 1 \\ \dfrac{\mu_1^*}{\mu_2^*} > 1 \end{array}\right\} \qquad (23)$$

Burada "sıxışdırıcı" və "sıxışdırılan" mayelərin kompleks halları üçün bütün mümkün şərtlər nəzərdən keçirilir:

1) əgər $\begin{array}{l}\tau_{02} < \tau_{01} \\ \mu_1 > \mu_2\end{array}$;

ixtiyari Q üçün “cəbhə” dayanıqlıdır.

2) əgər $\begin{array}{l}\tau_{02} < \tau_{01} \\ \mu_1 < \mu_2\end{array}$

onda $Q < Q_{kritik}$ halı üçün “cəbhə” dayanıqlıdır.

$$\begin{cases} \Delta P_1 = \Delta P_{01} + \mu_1 Q \\ \Delta P_2 = \Delta P_{02} + \mu_2 Q \end{cases}$$

3) əgər $\begin{array}{l}\tau_{01} < \tau_{02} \\ \mu_1 > \mu_2\end{array}$

Onda $Q > Q_{kritik}$ halı üçün “cəbhə” dayanıqlıdır.

4) əgər $\begin{array}{l}\tau_{01} < \tau_{02} \\ \mu_1 < \mu_2\end{array}$

halında “cəbhə” həmişə qeyri- dayanıqlıdır.

5) əgər $\begin{array}{l}\tau_{01} = \tau_{02}, \\ \mu_1 > \mu_2\end{array}$

halında “cəbhə” həmişə dayanıqlıdır.

6) əgər $\begin{array}{l}\tau_{01} = \tau_{02} \\ \mu_1 < \mu_2\end{array}$

halında “cəbhə” həmişə qeyri- dayanıqlıdır.

7) əgər $\begin{array}{l}\tau_{01} < \tau_{02} \\ \mu_1 = \mu_2\end{array}$

halında “cəbhə” həmişə dayanıqlıdır.

8) əgər $\begin{array}{l}\tau_{01} > \tau_{02} \\ \mu_1 = \mu_2\end{array}$

halında “cəbhə” həmişə dayanıqlıdır.

Nəticə. Sıxışdırma zamanı sıxışdıran və sıxışdırılan mayelərdə dayanıqlığın müəyyən edilməsi üçün cəbhədə ε qədər ixtiyari təsir nəticəsində dəyişilmələrin (prinsipcə çox az təsir $\varepsilon \ll 1$) hansı zaman ərzində sönəcəyi araşdırılaraq dayanıqlılıq şərtləri tapılmışdır. Sıxışdıran mayenin özlü-plastik olduğu hal üçün ayırma sərhədinin hərəkətində sıxışdırılan mayenin hərəkətlilik əmsalı sıxışdıran mayenin hərəkətlilik əmsalından az olduğu halda , cəbhədə yaranan "dillər" hamarlanır və axın dayanıqlı olur.

ƏDƏBİYYAT

1. Димитриенко Ю.И., Богданов И.О. Многомасштабное моделирование процессов фильтрации в пористых средах // Инженерный журнал: наука и инновации. 2018, №3(75), 19 с.
2. Азиз Х., Сеттари Э. Математическое моделирование пластовых: Пер. с англ. М.: Недра, 1982, 407 с.
3. Аметов И.М., Ахатов И.Ш., Байков В.А. Устойчивостъ вытеснения несмешивающихся вязкоупругих жидкостей в пористой среде // Прикладная математика и механика, 1991, т. 55, в.5, с.803-807.
4. Биркгоф Г. Неустойчивостъ Гелъмголъца и Тейлора // Гидродинамическая неустойчивостъ. М.: Мир, 1964, с.68 – 94.
5. Гершуни Г.З., Жуховицкий Е.М. Конвективная устойчивостъ несжимаемой жидкости. М.: Наука, 1972, 392с.
6. Инделъман П.В., Кац Р.М., Швидлер М.И. Численное моделирование процессов неустойчивого филътрационного вытеснения //Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1979, N2, с.20 – 27.
7. Santos K.B., Romero O.J., Meneguelo A.P. and Ribeiro D.C. A numerical Investigation of Immiscible Water Oil Displacement in Simplified Porous Media // IEEE Latin America Transactions. 2016, v. 14, N5, p. 2175 – 2183
8. Akpevwe K.I., Elijah T.I., Rowland P.U. A Review study of oil displacement mechanisms and challenges of nanoparticle enhanced oil recovery // Society of petroleum engineers. 2016, N SPE-184352 – MS. p. 247 – 258.
9. Alessio S., Qingyang L., Abdulla A., Martin J. Branko B. Dynamics of fluid displacement in mixed-wet porous media // royalsocietypublishing.org/journal/rspa 2020. Proc. R. Soc. A 476:

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ В КОМПРЕССИОННЫХ И КОМПРЕССИОННЫХ СИСТЕМАХ С РАЗЛИЧНЫМИ РЕОФИЗИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ

И.Дж.МАМЕДОВ

РЕЗЮМЕ

В представленной работе предложен и исследован приближенный метод оценки устойчивости движения границы между сжимаемой и сжатой жидкостями. Исследования сопротивления также проводились на границе раздела из-за вязкости сжимаемой жидкости. Получены условия для анализа устойчивости фронта.

Ключевые слова: пористая среда, сжатие, вязкие жидкости, долговечность.

DEVELOPING EXPERIMENTAL METHODS TO DETERMINE STABILITY IN COMPRESSIVE AND COMPRESSIVE SYSTEMS WITH DIFFERENT RHEOPHYSICAL PROPERTIES

I.J.MAMMADOV

SUMMARY

In the presented work, an approximate method for estimating the stability of the boundary movement between the compressible and compressed fluids has been proposed and studied. Resistance studies have also been performed on the separation boundary due to the viscosity of the compressive fluid. Conditions have been obtained to analyze the stability of the front.

Keywords: porous environment, compression, viscous liquids, durability