

Дәріс №7.
СЫҒЫЛАТЫН СҰЙЫҚ ПЕН
ГАЗДЫҢ ОРНЫҚТАЛҒАН
ФИЛЬТРАЦИЯСЫ.

СЫҒЫЛАТЫН СҰЙЫҚ ПЕН СЫҒЫЛМАЙТЫН СҰЙЫҚТЫҢ ОРНЫҚТАЛҒАН ФИЛЬТРАЦИЯСЫ АРАСЫНДАҒЫ ҰҚСАСТЫҚ.

Сығылатын сұйық пен газдың орнықталған фильтрациясы кезінде пластың барлық қимасында массалық шығын тұрақты болады

$$Q_m = \text{const} \quad (1)$$

Газдың және сұйықтың кеңеюі салдарынан қысым азайған сайын көлемдік шығын артады. **Лейбензон функциясын** енгізейік:

$$P = \int \rho dp + C \quad (2)$$

Сығылмайтын сұйық үшін Дарси заңының дифференциалдық түрі:

$$Q = -\frac{k dp}{\mu dl} S \quad (3)$$

мұндағы Q – сұйықтың тұрақты көлемдік шығыны.

Сығылатын сұйық пен газ үшін

$$Q_m = -\frac{k}{\mu} \rho \frac{dp}{dl} S = -\frac{k}{\mu} \frac{dP}{dl} S \quad (4)$$

мұндағы $Q_m = \rho Q$ - тұрақты массалық шығын; $dP = \rho dp$ - Лейбензон функциясының дифференциалы.

(3) және (4) өрнектері біртекті дифференциалдық теңдеулер.

Бастапқы және шекаралық шарттары бірдей болғанда сығылмайтын сұйықтың орнықталған фильтрациясы үшін алынған теңдеулерді сығылатын сұйық пен газдың орнықталған фильтрациясына қолдануға болады, бұл жағдайда келесі айнымалылар орындары ауысады:

Сығылмайтын сұйық	Сығылатын сұйық не газ
Көлемдік шығын - Q	Массалық шығын - Q_m
Қысым - p	Лейбензон функциясы - P
Фильтрация жылдамдығы - V	Фильтрация массалық жылдамдығы - $\rho v = Q_m / v$

СЫҒЫЛАТЫН СҰЙЫҚТЫҢ ОНЫҚТАЛҒАН ФИЛЬТРАЦИЯСЫ

Гук заңына бағынатын сығылатын тамшылық сұйық үшін қысым мен тығыздықты байланыстыратын күй теңдеуі келесі түрде жазылады:

$$\rho = \rho_0 e^{\beta_{\text{сұй}}(p-p_0)} = \rho_0 e^{\frac{(p-p_0)}{K_{\text{сұй}}}} \quad (5)$$

мұндағы $\beta_{\text{сұй}}$ – сұйықтың көлемдік сығылу коэффициенті, ал $K_{\text{сұй}} = \frac{1}{\beta_{\text{сұй}}}$ – сұйықтың серпімділік модулі.

Сығылатын сұйық үшін Лейбензон функциясының нақты мәні

$$P = \int \rho dp + C = \int \rho_0 e^{\beta_{\text{сұй}}(p-p_0)} dp + C = \frac{\rho}{\beta_{\text{сұй}}} + C$$

Мысалы, су үшін $\beta_{\text{сұй}} = 4.5 \cdot 10^{-5} \text{ см}^2/\text{кгс}$ және егер $p - p_0 = 100 \text{ кгс}/\text{см}^2$ болса, онда $\beta_{\text{сұй}}(p - p_0) = 4.5 \cdot 10^{-3}$.

Әдетте $\beta_{\text{ж}}(p - p_0) \ll 1$ болғандықтан, (5)-ті жуық мөлшерде былай жазуға болады:

$$\rho \approx \rho_0[1 + \beta_{\text{ж}}(p - p_0)] \quad (6)$$

Сонда Лейбензон функциясының жуық мәні сығылатын сұйық үшін

$$P = \int \rho dp + C = \int \rho_0[1 + \beta_{\text{сұй}}(p - p_0)] dp + C.$$

әдетте $\beta_{\text{сұй}}(p - p_0) \ll 1$ болғандықтан,

$$P \approx \rho_0 p + C \quad (7)$$

Яғни, сұйықты сығылмайтын деп санап, орнықталған қозғалысты сығылмайтын сұйық фильтрациясы үшін қорытылып алынған формулалар бойынша есептеуге болады.

ИДЕАЛ ГАЗДЫҢ ОРНЫҚТАЛҒАН ФИЛЬТРАЦИЯСЫ

Изотермиялық ағыс кезінде идеал газдың күй теңдеуін мына түрде жазуға болады:

$$\frac{p}{\rho} = \frac{p_{\text{ат}}}{\rho_{\text{ат}}} = RT,$$

мұндағы $\rho_{\text{ат}}$ – атмосфералық қысым мен пластың температурасы кезіндегі газдың тығыздығы. Осыдан

$$\rho = \frac{\rho_{\text{ат}} \cdot p}{p_{\text{ат}}},$$

Лейбензон функциясы идеал газ үшін мына түрге ие болады

$$P = \int \rho dp + C = \int \frac{\rho_{\text{ат}} \cdot p}{p_{\text{ат}}} dp + C = \frac{\rho_{\text{ат}} \cdot p^2}{2p_{\text{ат}}} + C, \quad (8)$$

мұндағы p – ТОЛЫҚ ҚЫСЫМ.

Дарси заңы бойынша **идеал газдың параллель-түзу сызықты фильтрациясын** қарастырайық. Параллель-түзу сызықты фильтрация кезінде сығылмайтын сұйықтың көлемдік шығыны келесі формуласымен анықталады. Жоғарыда жазылғандай сығылмайтын сұйық пен газдың арасындағы ұқсастықты ескере отырып, газ үшін массалық шығынды жазамыз

$$Q_m = \frac{k(P_k - P_r)}{\mu l} Bh,$$

(8)-ді ескере отырып

$$Q_m = \frac{k\rho_{ат}(p_k^2 - p_r^2)}{\mu 2\rho_{ат}l} Bh.$$

Келтірілген $Q_{\text{ат}}$ шығын деп атмосфералық қысым мен пластың температурасына келтірілген көлемдік шығынды айтады

$$Q_{\text{ат}} = \frac{Q}{\rho_{\text{ат}}}.$$

Осы формуладан шығады

$$Q_{\text{ат}} = \frac{k(p_k^2 - p_{\Gamma}^2)}{2\mu p_{\text{ат}} l} B h.$$

Параллель-түзу сызықты фильтрация кезінде қысымның таралу заңдылығын өрнектейтін формуладағы p -ны P -ға ауыстыру арқылы Лейбензон функциясының сызықты заң бойынша таралуын аламыз

$$P = P_k - \frac{P_k - P_{\Gamma}}{l} x,$$

(8) – формуласын пайдалана отырып, қысымның парабола заңдылығымен таралуын аламыз

$$p^2 = p_k^2 - \frac{p_k^2 - p_\Gamma^2}{l} x.$$

Қабат көлемі бойынша орташа өлшенген газ қысымы

$$\tilde{p} = \frac{2}{3} \frac{p_k^3 - p_\Gamma^3}{p_k^2 - p_\Gamma^2}.$$

Газдың жазық радиал фильтрациясы кезінде Дюпюи формуласына сәйкес газдың массалық шығынының формуласы мына түрде жазылады

$$Q = \frac{2\pi kh (P_k - P_c)}{\mu \ln \frac{R_k}{r_c}}.$$

Лейбензон функциясының (8) мәнін алдыңғы формулаға қойып, келесі өрнекті аламыз

$$Q = \frac{\pi k h \rho_{\text{ат}}}{\mu p_{\text{ат}}} \frac{(p_k^2 - p_c^2)}{\ln \frac{R_K}{r_c}},$$

Атмосфералық қысым мен пластың температурасына келтірілген газ скважинасының көлемдік шығыны үшін өрнекті келесі түрде аламыз

$$Q_{\text{ат}} = \frac{\pi k h (p_k^2 - p_c^2)}{\mu p_{\text{ат}} \ln \frac{R_K}{r_c}}.$$

Қысымның таралуы формуласындағы p -ны P -ға ауыстыру арқылы жазық радиалды ағыс кезіндегі Лейбензон функциясының логарифмдік заңдылық бойынша таралуын аламыз

$$P = P_k - \frac{P_k - P_c}{\ln \frac{R_K}{r_c}} \ln \frac{R_K}{r}, \quad r_c \leq r \leq R_K$$

Осы өрнекке (8) – формуласын пайдалана отырып, қысымның таралу заңдылығын аламыз

$$p = \sqrt{p_k^2 - \frac{p_k^2 - p_c^2}{\ln \frac{R_K}{r_c}} \ln \frac{R_K}{r}}$$

Дарси заңы бойынша орнықталған жазық-радиалды фильтрациялық қозғалыс кезінде орташа өлшенген пластағы газ қысымы жуық түрде келесі формуламен анықтады

$$\tilde{p} = p_k \left[1 - \frac{1 - \left(\frac{p_c}{p_k}\right)^2}{2} \left(\frac{1}{2 \ln \frac{R_K}{r_c}} - \frac{1}{\frac{R_k^2}{r_c^2} - 1} \right) \right].$$

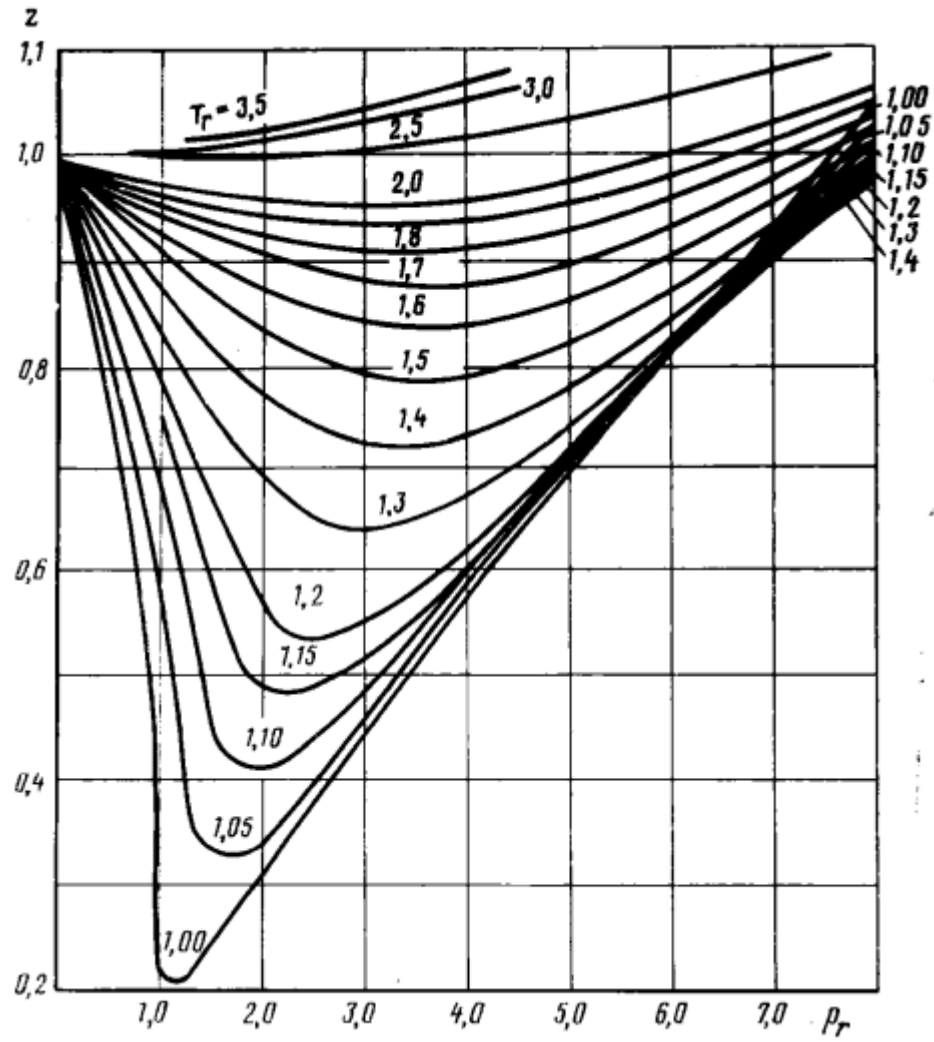
РЕАЛ ГАЗДЫҢ ОРНЫҚТАЛҒАН ФИЛЬТРАЦИЯСЫ

Қысымның үлкен мәнінде реал газдың күй теңдеуі Клапейрон теңдеуінен өзгеше болады:

$$\frac{p}{\rho} = zRT,$$

мұндағы R -газ тұрақтысы, T – абсолюттік температура, $z = (p_r, T_r)$ – газдың аса сығылу (сверхсжимемость) коэффициенті, ол реал газдың идеалдан ауытқуын ескереді және графиктен анықталатын (1-сурет) келтірілген қысым мен температураға тәуелді

$$p_r = \frac{p}{p_{\text{орт.кр.}}}, \quad T_r = \frac{T}{T_{\text{орт.кр.}}}$$



1-ципет

мұндағы $p_{\text{орт.кр.}}$, $T_{\text{орт.кр.}}$ – орташа критикалық қысым мен орташа критикалық температура. Идеал газ үшін $z = 1$. Табиғи газ әр түрлі компоненттерден (метан, этан, пропан және т.б.) тұратындықтан алдын-ала $p_{\text{орт.кр.}}$, $T_{\text{орт.кр.}}$ мәндерін келесі формулалар арқылы анықтап алу қажет

$$p_{\text{орт.кр.}} = \frac{\sum n_j p_{\text{кр}j}}{\sum n_j}, \quad T_{\text{орт.кр.}} = \frac{\sum n_j T_{\text{кр}j}}{\sum n_j},$$

мұндағы n_j – газдағы j -ші компонентінің құрамы, об.%; $p_{\text{кр}j}$ және $T_{\text{кр}j}$ – j -ші компонентінің критикалық қысымы мен критикалық температурасы.

Қысым функциясы

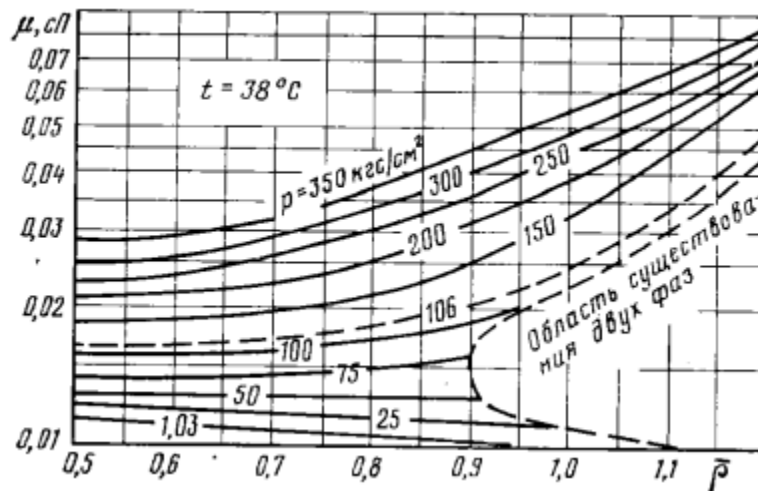
$$P = \int \rho dp + C = \frac{1}{RT} \int \frac{p}{z} dp + C$$

Егер қысымның өзгерісі аз болса,

$$P \approx \frac{1}{2z_{\text{орт}}RT} p^2 + C$$

мұндағы $z_{\text{орт}}$ – қысымның өзгеру аясындағы z - тің орташа мәні.

Табиғи (реал) газдың динамикалық тұтқырлық коэффициенті қысым мен температурадан тәуелді. Процестің изотермиялық екенін ескерсек, тәуелділік $\mu(p)$ болады.



2-сурет