ӘОЖ 624.131+539.215

Ш. АЛТЫНБЕКОВ

(Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік педагогикалық институты, Шымкент, Қазақстан Республикасы)

ТҰЗДЫ ТОПЫРАҚТАР КОНСОЛИДАЦИЯСЫ ТЕОРИЯСЫНЫҢ НЕГІЗГІ ТЕҢДЕУІ ЖӘНЕ ШЕКАРАЛЫҚ ЕСЕБІ

Аннотация. Нығыздалушы ортаның сұйық және қатты фазаларының үзіліссіздік заңдылықтарына, газ тәріздес фаза үшін баланс теңдеуіне, Генри заңы мен Дарси-Герсеванов заңына, сондай-ақ, еріген тұз (тұз ертіндісі) сумен бірге, ал газдың көпіршіктері мен суда ерімей қалған тұздар қатты фазамен бірге қозғалады деген ұйғарымға сүйене, тұзды топырақтардың фильтрациялық консолидация теориясының негізгі теңдеуі қорытылып шығарылды.

Топырақтардың, тау және тұзды жыныстардың күйін отандық және шетелдік зерттеу нәтижелеріне шолу жүргізіп (аталған жыныстардың фазалық ерекшеліктерін және жоғарыда аталаған математикалық үлгінің, жұмыс істеу принципін ескере), талдау қортындысына сүйене әртекті тұзды топырақтар үшін бас кернеулердің қосындысы мен уақ кеуектілік арасындағы тәуелділік ұсынылды. Осы тәуелділікке және қорытып шығарылыған теңдеу мен В.А.Флорин гипотезасына сәйкес тұзды топырақтар үшін фильтрациялық консолидация теориясының шешуші теңдеуі алынды және бастапқы-шеттік есебі математикалық тұрғыдан тұжырымдалды. Бұл есеп үшін шешімнің қасиеттері зерттелінді.

Тірек сөздер: Генри заңы, Дарси-Герсевань заңы, тұзды топырақ, консолидациясы, шекарлық есеп.

Ключевые слова: закон Генри, закон Дарси-Герсельванова, консолидация, краевая задача.

Keywords: Henry's law, Darcy Gersevanov law, consolidation, boundary value problem.

Кіріспе. Өндірістік, азаматтық және гидротехникалық ғимараттар құрылысында олардың беріктілігін арттыру және оларды пайдалану мерзімін ұзарту проблемалары туындайды. Осы проблемаларды шешу, көп жағдайда топырақтардың нығыздалуынан туындайтын, іргетас қаланған жер бетінің шөгуін дұрыс анықтауға тікелей байланысты.

Топырақтардың фильтрациялық консолидация теориясы бүгінгі таңда жеткілікті дамыды десек те, бұл салада әлі де болса шешімін таппаған мәселелер жеткілікті. Соның бірі, тұзды топырақтардың шөгу процесі толық зерттелінбеген. Ал, Қазақстанның, Ресейдің, Украинаның, Молдавияның, Орта Азияның көптеген өңірлері тұзды топырақтар. Бұл мәселені өз уақытында академик Ш. М. Айталиев көтерген болатын. Жұмыста осы қойылған мәселенің шешімі келтіріледі.

1. Тұзды топырақтар консолидациясының негізгі теңдеуі

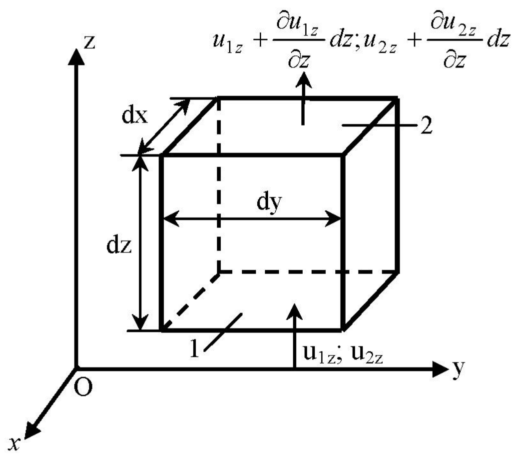
Бұл негізгі теңдеуді қорытып шығару, жоғарыда айтқандай, нығыздалушы ортаның сұйық және қатты фазаларының үзіліссіздік заңдылықтарына, газ тәріздес фаза үшін баланс теңдеуіне, Генри заңы мен Дарси-Герсеванов заңына, сондай-ақ суда еріген тұз сумен бірге, ал газдың көпіршіктері мен суда ерімей қалған тұздар қатты фазамен бірге қозғалады деген ұйғарымға негізделген. Осы заңдылықтарға рет-ретімен тоқталайық.

1.1. Тұзды топырақты ортаның сұйық қоспа (су және суда еріген тұз) фазасының үзіліссіздік теңдеуі

Бірлік көлемді элемент – тұзды топырақ қабатын бөліп алайық (1-сурет). Бұл көлемдегі t уақыт мезгіліндегі су көлемін (немесе t уақыт мезгіліндегі кеуектілікті) n' арқылы, топырақтың қатты бөлігін m арқылы, суда ерімей қалған тұз көлемін m_1' арқылы, суда еріген тұз көлемін m_1'' арқылы, ал газ тәріздес фаза көлемін s арқылы белгілейік. Сонда келесі қатынас орынды

$$n'+m+m_1'+m_1''+s=1. \tag{1}$$

Бұл dx,dy және dz өлшемді элементтің 1-жағы арқылы өтуші су мен суда еріген тұздың (тұз ерітіндісінің) фильтрациялық жылдамдықтарын сәйкесінше u_{1z} және u_{2z} арқылы белгілейік (1-сурет). Сонда, бұл элементтің 2-жағы арқылы өтуші сұйықтықтардың (су және тұз ерітіндісі) фильтрациялық жылдамдықтары сәйкесінше $u_{1z}+\frac{\partial u_{1z}}{\partial z}dz,\ \ u_{2z}+\frac{\partial u_{2z}}{\partial z}dz$ өрнектермен анықталады. dt уақыт ішінде 1-жақ арқылы өтуші су шығыны мен тұзды ертінді шығыны келесілерге тең:



1-сурет. Бірлік көлемді элемент – тұзды топырақ қабаты

$u_{1z}dxdydt$; $u_{2z}dxdydt$. Ал, 2-жақ арқылы өтуші: $\left(u_{1z}+\frac{\partial u_{1z}}{\partial z}dz\right)dxdydt$ $\left(u_{2z}+\frac{\partial u_{2z}}{\partial z}dz\right)dxdydt$.

Нәтижеде dt уақыт аралығында қарастырылып отырған $dxdydz$ элементар көлемнің ішіне енген су және тұз ертіндісі:

$$u_{1z}dxdydt-\left(u_{1z}+\frac{\partial u_{1z}}{\partial z}dz\right)dxdydt=-\frac{\partial u_{1z}}{\partial z}dxdydzdt;$$

$$u_{2z}dxdydt-\left(u_{2z}+\frac{\partial u_{2z}}{\partial z}dz\right)dxdydt=-\frac{\partial u_{2z}}{\partial z}dxdydzdt.$$

Дәл осылай, элементтің өзге жақтары үшін:

$$u_{1x}dydzdt-\left(u_{1x}+\frac{\partial u_{1x}}{\partial z}dx\right)dydzdt=-\frac{\partial u_{1x}}{\partial z}dxdydzdt;$$

$$u_{2x}dydzdt-\left(u_{2x}+\frac{\partial u_{2x}}{\partial z}dx\right)dydzdt=-\frac{\partial u_{2x}}{\partial z}dxdydzdt;$$

$$u_{1y}dxdzdt-\left(u_{1y}+\frac{\partial u_{1y}}{\partial y}dy\right)dxdzdt=-\frac{\partial u_{1y}}{\partial y}dxdydzdt;$$

$$u_{2y}dxdzdt-\left(u_{2y}+\frac{\partial u_{2y}}{\partial y}dy\right)dxdzdt=-\frac{\partial u_{2y}}{\partial y}dxdydzdt.$$

Нәтижеде:

$$-\left(\frac{\partial u_{1x}}{\partial x}+\frac{\partial u_{1y}}{\partial y}+\frac{\partial u_{1z}}{\partial z}\right)dxdydzdt,\quad -\left(\frac{\partial u_{2x}}{\partial x}+\frac{\partial u_{2y}}{\partial y}+\frac{\partial u_{2z}}{\partial z}\right)dxdydzdt,$$

яғни

$$\left(\frac{\partial u_{1x}}{\partial x}+\frac{\partial u_{1y}}{\partial y}+\frac{\partial u_{1z}}{\partial z}+\frac{\partial u_{2x}}{\partial x}+\frac{\partial u_{2y}}{\partial y}+\frac{\partial u_{2z}}{\partial z}\right)dxdydzdt.$$

Алайда, dt уақыт аралығында $dxdydz$ элемент ішіне енген сұйық қоспа (су және тұз ерітіндісі) мөлшерін өзгеше табуға да болады. Шынында да, егер нығыздалушы ортаның қарастырылып отырған элементар көлемнің t уақыт мезгіліндегі кеуектілігін n' арқылы, ал суда еріген тұз көлемі орналасқан кеуектілігін m_1'' арқылы белгілесек, онда осы элементар көлемнің уақ кеуектеріндегі сұйық қоспа көлемі уақыттың t мезгілінде $(n'+m_1'')dxdydz$-ке тең болады. dt уақыт аралығында *dxdydz* көлемді толтырушы тұзды топырақ кеуектілігі $n' + \frac{\partial n'}{\partial t}dt + m_1'' + \frac{\partial m_1''}{\partial t}dt$-ға өзгереді. Осыған сәйкес сұйық қоспа көлемі:

$$(n' + \frac{\partial n'}{\partial t}dt + m_1'' + \frac{\partial m_1''}{\partial t}dt)\,dxdydz\,.$$

Бұл жерден, dt уақыт аралығында қаралып отырған элементар *dxdydz* көлемдегі сұйық қоспа мөлшері артады:

$$\left(n' + \frac{\partial n'}{\partial t}dt + m_1'' + \frac{\partial m_1''}{\partial t}dt\right)dxdydz - \left(n' + m_1''\right)dxdydz = \left(\frac{\partial n'}{\partial t} + \frac{\partial m_1''}{\partial t}\right)dxdydzdt\,.$$

Сығылмайтын сұйық қоспаның үзіліссіздік шартын ескерсек:

$$-\left(\frac{\partial u_{1x}}{\partial x} + \frac{\partial u_{1y}}{\partial y} + \frac{\partial u_{1z}}{\partial z} + \frac{\partial u_{2x}}{\partial x} + \frac{\partial u_{2y}}{\partial y} + \frac{\partial u_{2z}}{\partial z}\right)dxdydzdt = \left(\frac{\partial n'}{\partial t} + \frac{\partial m_1''}{dt}\right)dxdydzdt$$

немесе

$$\frac{\partial(n' + m_1')}{\partial t} + \operatorname{div}(\overline{u}_1 + \overline{u}_2) = 0\,. \tag{2}$$

dxdydz элемент ішіне dt уақыт аралығында енген сұйық қоспа көлемі осы көлемдегі сұйық қоспаның dt уақыт аралығындағы өзгеруіне тең.

1.2. Тұзды топырақты ортаның қатты фазалар қоспасының (топырақтың қатты бөлігі және суда ерімей қалған тұзды бөлік) үзіліссіздік теңдеуі

Фильтрация жылдамдығының аналогы бойынша бірлік аудан арқылы өтуші қатты бөлік пен суда ерімей қалған тұзды бөліктің көлемдік шығын жылдамдықтарын сәйкесінше $\vartheta_{1z}, \vartheta_{2z}$ арқылы, ал бірлік көлемдегі қатты бөлікті m арқылы, суда ерімей қалған тұзды бөлікті m_1'' арқылы белгілей, жоғарыдағы (2) теңдеуді қорытып шығарған жолмен қатты фазалар қоспасының үзіліссіздік теңдеуін мына түрде алуға болады:

$$\frac{\partial(m + m_1'')}{\partial t} + \operatorname{div}(\overline{\vartheta}_1 + \overline{\vartheta}_2) = 0\,. \tag{3}$$

Элементтер көлемдегі қатты фазалар қоспасы мөлшерінің dt уақыт аралығындағы өзгеруі бірлік аудан арқылы dt уақыт аралығында өтуші қатты фазалар қоспасының көлемдік шығынына тең.

1.3. Газ тәріздес фаза үшін баланс теңдеуі

Нығыздалушы ортаның газ тәріздес фазасы үшін баланс теңдеуін қорытып шығару жоғарыда келтірілгендерге ұқсас [1]:

$$\frac{\partial \rho s}{\partial t} + \mu\left(n' + m_1'\right)\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho w_x}{\partial x} + \frac{\partial \rho w_y}{\partial y} + \frac{\partial \rho w_z}{\partial z} = 0\,. \tag{4}$$

Элемент *dxdydz* ішіне dt уақыт аралығында енген газ көлемі dt уақыт аралығында бөлініп шыққан газ массасына және осы элементар көлемдегі газ массасының dt уақыт аралығында өзгеруіне тең.

1.4. Консолидация теңдеуі

Газ күйінің теңдеуін изотермиялық режимде, ал фильтрациялық коэффициенттер матрицасын үшінші ретті диоганальды матрица деп қарастыра, Генри заңы мен Дарси-Герсеванов заңына, еріген тұз сумен бірге, ал газдың көпіршіктері және суда ерімей қалған тұздар қатты фазамен бірге қозғалады деген ұйғарымға сүйене, сондай-ақ, жоғарыда келтірілген (1) қатынасты, напор мен қысым арасындағы байланысты және келесілерді ескере

$$\varepsilon = \frac{n' + m_1''}{m + m_1'},\quad n' + m_1'' = \frac{\varepsilon}{3 + \varepsilon - \eta^* - \mu_1},\quad m + m_1' = \frac{1}{3 + \varepsilon - \eta^* - \mu_1},\quad n' = \frac{\varepsilon - \mu_1}{3 + \varepsilon - \eta^* - \mu_1},$$

$$m = \frac{\mu_1}{3 + \varepsilon - \eta^* - \mu_1},\quad m_1' = \frac{1 - \mu_1}{3 + \varepsilon - \eta^* - \mu_1},\quad m_1'' = \frac{\mu_1}{3 + \varepsilon - \eta^* - \mu_1},\quad s = \frac{2 - \eta^* - \mu_1}{3 + \varepsilon - \eta^* - \mu_1}$$

(2), (3) және (4)-терден тұзды топырақтар консолидациясы теориясының негізгі теңдеуін келесі түрде қорытып шығаруға болады:

$$\frac{\partial\varepsilon}{\partial t}+\beta_v(\varepsilon,H)(3+\varepsilon-\eta^*-\mu_1)\gamma\frac{\partial H}{\partial t}=(3+\varepsilon-\eta^*-\mu_1)\left\{\frac{\partial}{\partial x_1}\left(K_1\frac{\partial H}{\partial x_1}\right)+\right.$$

$$\left.+\frac{\partial}{\partial x_2}\left(K_2\frac{\partial H}{\partial x_2}\right)+\frac{\partial}{\partial x_3}\left(K_3\frac{\partial H}{\partial x_3}\right)\right\}. \qquad (5)$$

Бұл жерде:

$$\beta_v(\varepsilon,H)=\frac{2-\eta^*-\mu_1+\mu\varepsilon}{3+\varepsilon-\eta^*-\mu_1}\cdot\frac{1}{\gamma(H-z+H_0)}- \qquad (6)$$

– көлемдік сығылу коэффициенті; μ – газдың ерігіштік коэффициенті; η^* – нығыздалушы ортаның суға қаныққандылық дәрежесі $(\eta^*=1,\ \mu_1=1,\ \mu=0)$;

μ_1 – тұздың ерігіштік коэффициенті $(0\le\mu_1\le1)$; γ – тұзды қоспа ерітіндісінің меншікті салмағы; ε – уақ кеуектілік коэффициенті.

Егер ортаның уақтылық кеуегі және осы кеуектегі сұйықтың қысымы уақыт бойынша өзгермейді, яғни процесс қалыпты жағдайда өтіп жатыр десек, онда (5)-ші теңдеуден:

$$\mathrm{L(H)}=0. \qquad (7)$$

Бұндағы L: $L=\frac{\partial}{\partial x_1}\left(K_1\frac{\partial}{\partial x_1}\right)+\frac{\partial}{\partial x_2}\left(K_2\frac{\partial}{\partial x_2}\right)+\frac{\partial}{\partial x_3}\left(K_3\frac{\partial}{\partial x_3}\right)$ – дифференциалдық оператор.

Жоғарыда келтірілген (5)-ші теңдеуді шешу әдісі, теңдеудің шешімінің қасиеттері В. А. Флорин гипотезасына (тепе-теңдік теңдеуіне) [2]

$$\theta(t)=n\gamma\left\{\left(\frac{\theta^*}{n\gamma}+H^*\right)-H\right\} \qquad (8)$$

нығыздалушы орта күйінің реологиялық теңдеуіне және фильтрациялық коэффициентіне тікелей байланысты. Енді осы сұрақтарға жеке-жеке тоқталайық.

2. Нығыздалушы орта күйінің реологиялық теңдеуі

Топырақтардың, тау және тұзды жыныстардың күйін зерттеу нәтижелеріне және олардың практикалық қолданыстарына [1-14] шолу жүргізіп (аталған жыныстардың фазалық ерекшеліктерін және жоғарыда құрылған (5) модельдің жұмыс істеу принципін ескере) талдау қорытындысында әртекті тұзды топырақтар үшін келесі түрдегі реологиялық теңдеуді орынды деп таптық [14]:

$$\varepsilon(t)=\alpha_1-\frac{1}{1+(n-1)\alpha_2e^{-\alpha_3x_3}}\cdot\Big\{(\alpha_4+\alpha_5e^{-\alpha_6x_3})a_0(t+\rho(x),\theta(t))\theta(t)-$$

$$\left.-\int_{\tau_1}^{t}\theta(\tau)K(t+\rho(x),\tau+\rho(x),x,\theta(\tau))d\tau\right\}, \qquad (9)$$

$$K(t+\rho(x),\tau+\rho(x),x,\theta(t))=(\alpha_4+\alpha_5e^{-\alpha_6x_3})\cdot\frac{\partial\alpha_0(\tau+\rho(x),\theta(\tau))}{\partial\tau}+$$

$$+(\alpha_{13}+\alpha_{14}e^{-\alpha_{15}x_3})\cdot\frac{f(\tau+\rho(x),\theta(\tau))}{\theta(\tau)}\cdot\frac{\partial C(t+\rho(x),\tau+\rho(x),\theta(\tau))}{\partial\tau}. \qquad (10)$$

Бұл жерде $a_0(t,\rho(x),\theta(t))$, $f(t+\rho(x),\theta(t))$, $C(t+\rho(x),\tau+\rho(x),\theta(\tau))$ –

– ортаның механика-физикалық қасиетін сипаттаушы функциялар;

$$\rho(x)=\rho(x_n)=\tau_1(x_n(\tau))-\tau_1(0)=\frac{\alpha_{40}}{h\dfrac{\tau_{\max}^{\alpha_{41}}-\alpha^{\alpha_{42}}}{\tau_{\max}^{\alpha_{41}}-\tau_{\min}^{\alpha_{42}}}-\alpha_{43}}+\frac{\alpha_{40}}{\alpha_{43}}; \qquad (11)$$

$$x_n(\tau)=h\frac{\tau_{\max}^{\alpha_{41}}-\tau^{\alpha_{42}}}{\tau_{\max}^{\alpha_{41}}-\tau_{\min}^{\alpha_{42}}}=\begin{cases}o,\tau=\tau_{\max},\\ h,\tau=\tau_{\min},\end{cases}\quad \rho(x_n)=\begin{cases}0,\tau=\tau_{\max},\\ \dfrac{\alpha_{40}}{h-\alpha_{43}}+\dfrac{\alpha_{40}}{\alpha_{43}},\quad \tau=\tau_{\min},\end{cases}\quad \alpha_{40}\ge 1,$$

$0<\alpha_{43}<h$ – материал жасының координатаға тәуелді өзгеру заңын сипаттаушы функция.

Ортаның қасиетін сипаттаушы теңдеу (9), интегралдық ядро (10) жалпы сипатқа ие. Дербес жағдайда бұл теңдеуден практикада жиі қолданыстарға ие теңдеулерді және интегралдық ядроларды (А.Р. Ржаницын, Абель, Н.Х.Арутюнян, В.А.Флорин, С.Р.Месчян, Ю.К. Зарецкий, Т.Ш. Ширинкулов) алуға болады. Алайда, ескерте кетейік: бұл теңдеуді соңғы жетілген теңдеу деп айтудан аулақпыз. Теңдеуге енген параметрлерді табу үстінде көптеген лабораториялық, теориялық зерттеулер жүргізу қажет. Бұл ертеңгі күннің мәселесі.

3. Фильтрация коэффициенті

Фильтрация коэффициенті қарастырылып отырған топырақтардың ерекшеліктеріне және белгілі зерттеулерге сәйкес, келесі түрлерде берілуі мүмкін [15-17]:

$$K(\varepsilon(t))=K_1+K_2\cdot\varepsilon(t) \tag{12}$$

– саз балшықты тұзды топырақтар үшін;

$$K(\varepsilon(t))=K_3\exp\frac{\varepsilon(t)}{K_4\varepsilon_T-K_5} \tag{13}$$

– жабысқақ тұзды топырақтар үшін;

$$K(\varepsilon(t))=K_6\left(\frac{\varepsilon(t)-\varepsilon_k}{\varepsilon_0-\varepsilon_k}\right)^{n_k} \tag{14}$$

– суға қаныққан әлсіз тұзды топырақтар үшін.

Бұл жерде K_1,K_2,K_3,K_4,K_5,K_6, $\varepsilon_T, n_k, \varepsilon_k, \varepsilon_0$ – тәжірибе тұрақтылары, ал $\varepsilon(t)$ (9) теңдеумен анықталған.

Енді осы келтірілгендерді негізге ала отырып, қаралып жатқан процестің шешуші теңдеуін қорытып шығарайық және есептің қойылымын математикалық өрнектейік.

4. Шешуші теңдеу және есептің қойылымы, оның шешімі, ірге тастың шөгуі

В. А. Флорин гипотезасы (8)-ді, топырақ күйінің негізгі теңдеуі (9)-ді, тұзды топырақтар консолидациясының негізгі теңдеуі (5)-ке және (12), (13), (14) – қатынастарға қойсақ, тұзды топырақтар консолидациясының шешуші теңдеуін аламыз:

$$\begin{aligned}\frac{\partial H}{\partial t}&=C_{vn}(x,t+\rho(x),\theta^*,H^*,H)L(H)-C_{1n}(x,t+\rho(x),\theta^*,H^*,H)\times\\ &\times\Bigg\{\int_{\tau_1}^{t} f(\tau+\rho(x),\theta^*,H^*,H)\cdot K_1(x,t+\rho(x),\tau+p(x),\theta^*,H^*,H)d\tau+\\ &+C_{vn}(x,t+\rho(x),\theta^*,H^*,H)\cdot K_2(x,t+\rho(x),t+p(x),\theta^*,H^*,H)\Bigg\}+\\ &+C_{2n}(x,t+\rho(x),\theta^*,H^*,H);\end{aligned} \tag{15}$$

$$K_1(x,t+\rho(x),\tau+p(x),\theta^*,H^*,H)=\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial C(x,t+\rho(x),\tau+p(x),\theta^*,H^*,H)}{\partial\tau}\right);$$

$$K_2(x,t+\rho(x),t+p(x),\theta^*,H^*,H)=\left(\frac{\partial C(x,t+\rho(x),\tau+p(x),\theta^*,H^*,H)}{\partial\tau}\right)_{\tau=t};$$

$$L(H)=\sum_{s=1}^{n}\frac{\partial}{\partial x_s}\left(K_{ps}(x,t+\rho(x),\theta^*,H^*,H)\frac{\partial H}{\partial x_s}\right).$$

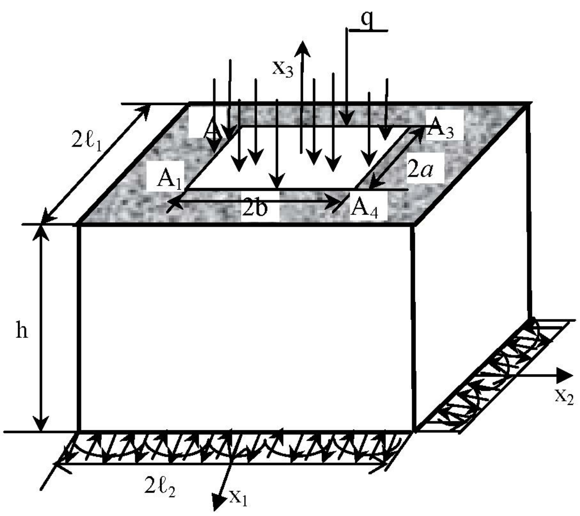
Теңдеудегі $C_{vn}(x,t+\rho(x),\theta^*,H^*,H)$, $C_{1n}(x,t+\rho(x),\theta^*,H^*,H)$, $f(t+\rho(x),\theta^*,H^*,H)$, $K_1(x,t+\rho(x),\tau+\rho(x),\theta^*,H^*,H)$, $K_2(x,t+\rho(x),t+\rho(x),\theta^*,H^*,H)$, $C_{2n}(x,t+\rho(x),\theta^*,H^*,H)$, $K_{\phi s}(x,t+\rho(x),\theta^*,H^*,H)$ – функциялардың түрлері (6), (8), (9)-(11), және (12), (13), (14)- қатынастарға тікелей байланысты.

Интегродифференциалдық теңдеу (15) шексіз көп шешімдерге ие. Осы шешімдер жыйыны ішінен қаралып жатқан процесті нақты сипаттаушы бірден бір шешімді таңдау үшін және бұл процеске толық математикалық сараптама беру үшін шешуші теңдеуді геометриялық (2-сурет) және бастапқы-шеттік шарттармен

$$H(x,\tau_1)=\left(\frac{\theta_0^*}{(n\gamma+H_0^*)/\omega_0}\right)\quad x\in\bar{D}, \tag{16}$$

$$\pm\chi_n^{(\alpha)}\frac{\partial H}{\partial n}+\chi_n^{(\alpha+1)}H\Big|_{\Gamma}=\psi(x,t)\big|_{\Gamma},\quad (x,t)\in D\times[\tau.,\mathrm{T}] \tag{17}$$

толықтыру қажет.



2-сурет. Геометриялық шарт

Бұл жердегі $\chi_n^{(\alpha)}$ және $\chi_n^{(\alpha+1)}$ (α = 1,2,3; n = 1,2,3) – коэффициенттер келесі шарттарды қанағаттандырады:

$$\chi_n^{(\alpha)}\geq 0,\quad \chi_n^{(\alpha+1)}\geq 0,\ (\chi_n^{(\alpha)})^2+(\chi_n^{(\alpha+1)})^2\neq 0;$$

$\psi(x,t)$ – қарастырылып отырған параллелепипед түріндегі топырақ қабатына (2-сурет) жанаса қабысып жатқан қандай да бір сулы қабат қысымын сипаттаушы функция келесі түрде берілген [14]:

$$\psi(x_1,x_2,x_3,t)=(\alpha_1^{(1)}x_1+\beta_1^{(1)})\psi_1(x_2,x_3,t)+(\alpha_2^{(1)}x_1+\beta_2^{(1)})\psi_2(x_2,x_3,t)+$$
$$+(\alpha_1^{(2)}x_2+\beta_1^{(2)})\psi_3(x_1,x_3,t)+(\alpha_2^{(2)}x_2+\beta_2^{(2)})\psi_4(x_1,x_3,t)+$$
$$+(\alpha_1^{(3)}x_3+\beta_1^{(3)})\psi_5(x_1,x_2,t)+(\alpha_2^{(3)}x_3+\beta_2^{(3)})\psi_6(x_1,x_2,t);$$

$$\omega_0=l-(1-\varepsilon_0)\beta_v(\varepsilon)\frac{\partial\varepsilon}{\partial\theta}\Big|_{t=\tau_1};\quad \theta_0^*/n\gamma+H_0^*-$$

ω_0 – қысылған ауа күйін сипаттаушы коэффициент.

$$H(x_1,x_2,x_3,\tau_1)=\sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty}D_{ij}\left(\cos\frac{\mu_{1i}}{2l_1}x_1+B_{1i}\cdot\sin\frac{\mu_{1i}}{2l_1}x_1\right)\times$$

$$\times\left(\cos\frac{\mu_{ij}}{2l_2}x_2+B_{2j}\cdot\sin\frac{\mu_{2j}}{2l_2}x_2\right)\cdot\ (ch\mu_{3ij}x_3+F_{ij}sh\mu_{3ij}x_3)\ - \tag{18}$$

(7)-теңдеудің келесі шарттарды

$$\chi_n^{(\alpha)}\frac{\partial H}{\partial n}+\chi_n^{(\alpha+1)}H\bigg|_{\Gamma}=\psi(x,\tau_1)\big|_{\Gamma}\ x\in\Gamma, \tag{19}$$

$$\chi_3^{(3)}\frac{\partial H}{\partial n}+\chi_3^{(4)}H\bigg|_{x_3=h}=q/\gamma+\psi(x,\tau_1)\big|_{x_3=h},\ |x_1|\le a,\ \ |x_2|\le b, \tag{20}$$

$$\chi_3^{(3)}\frac{\partial H}{\partial n_3}+\chi_3^{(4)}H\bigg|_{x_3=h}=\psi(x,\tau_1)\big|_{x_3=h}, \tag{21}$$

$-l_1<x_1<-a,\ \ a<x_1<l_1,\ -l_2<x_2<-b,\ \ b<x_2<l_2$ қанағаттандырушы шешімі

Қарастырылып отырған (15)-(17) бастапқы-шеттік және (7), (18)-(20) шеттік есептердің шешімдерінің барлығын, бірден-бірлігін дәлелдеуді, есептерді шешу әдістерін (интерация әдісі, А.А.Самарскийдің жиынтық – аппроксимация әдісі, прогонка әдісі) негіздеуді автордың бұдан бұрын жарық көрген жұмыстарында [18-23] келтірілгендей жүргізуге болады.

Жұмыста модельді сынап тексеру мақсатында жоғарыда келтірілген есептерді жартылай аналитикалық әдістерде шешілетіндей дәрежеге жеңілдеттік және жеңілдетілген бұл есептерді шешу үшін Фурье әдісін және экспоненциалды бүтін функцияларды екінші бір өзге экспоненциалды бүтін функциялармен аппроксимациялау әдісін қолдандық [24]. Сонда, келесі түрдегі шешімді алдық:

$$H(x_1,x_2,x_3,t)=\sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty}\sum_{k=1}^{\infty}D_{ijk}\left(\cos\frac{\mu_{1i}}{2l_1}x_1+B_{1i}\cdot\sin\frac{\mu_{1i}}{2l_1}x_1\right)\times$$

$$\times\left(\cos\frac{\mu_{2j}}{2l_2}x_2+B_{2j}\cdot\sin\frac{\mu_{2j}}{2l_2}x_2\right)\cdot V_{\eta ij}\left(\frac{2\lambda_{ijk}}{\alpha_{45}\sqrt{K_{03}}}e^{-\frac{\alpha_{45}}{2}x_3}\right)e^{-C_{vn}\lambda_{ijk}^2t}. \tag{22}$$

(22), (21) және (22)-дегі $D_{ijk}, D_{1ij}, B_{1i}, B_{2j}, F_{ij}$ – бастапқы және шеттік (шекаралық) шарттарға сәйкес табылған тұрақтылар, $\mu_{1i},\mu_{2j},\lambda_{ijk}$ – меншікті мәндер, $V_{\eta ij}(x_3)$ – бірінші және екінші текті Бессель функцияларының қосындыларынан түзілген цилиндрлік функция.

Енді жоғарыда алынған шешімдерге ((21) мен (22)) және жер бетінің шөгу процесін анықтау әдісіне [2] жүгінсек, ірге тастың шөгуін есептеу қиынға соқпайды:

$$s(t)=\frac{n\alpha_0\gamma(\alpha_4+\alpha_5)}{(1+\varepsilon_0)(1+(n-1)\alpha_2)}\cdot\int_0^h e^{\alpha_{44}x_3}\left\{\sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty}D_{1ij}\cdot\left(ch\mu_{3ij}x_3+F_{ij}sh\mu_{3ij}x_3\right)-\right.$$

$$\left.-\sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty}\sum_{k=1}^{\infty}D_{ijk}\cdot V_{\eta ij}\left(\frac{2\lambda_{ijk}}{\alpha_{45}\sqrt{K_{03}}}e^{-\frac{\alpha_{45}}{2}x_3}\right)e^{-C_{vn}\lambda^2{}_{ijk}t}\right\}dx_3. \tag{23}$$

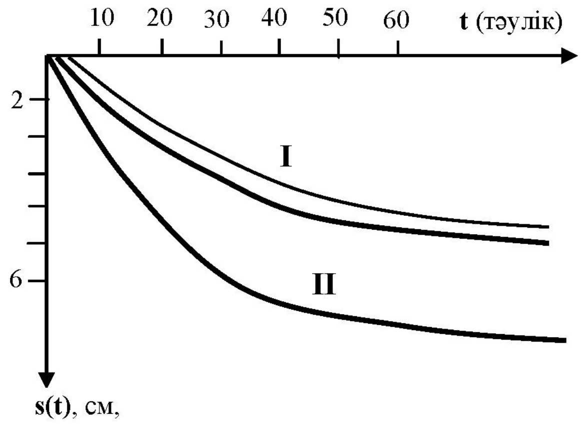
Бұл жерден $t\to\infty$ ұмтылғанда

$$s_\infty=\frac{n\alpha_0\gamma(\alpha_4+\alpha_5)}{(1+\varepsilon_0)(1+(n-1)\alpha_2)}\cdot\int_0^h e^{\alpha_{44}x_3}\sum_{i=1}^{\infty}\sum_{j=1}^{\infty}D_{1ij}\cdot\left(ch\mu_{3ij}x_3+F_{ij}sh\mu_{3ij}x_3\right)dx_3.$$

Жоғарыда алынған (23)-формулаға сәйкес ірге тастың шөгу процесі зерттелінді. Сандық есептеулер нәтижелері төмендегі жағдайлардың болатындығын көрсетті.

I – μ_1 = 0,05 болғанда;
II – μ_1 = 0,9 болғанда;
▬ – тұзды топырақтар үшін;
— – тұзсыз топырақтар үшін;

5-сурет. s_t – шөгудің біркелкі үлестірілген q=2кГ/см^2 жүкке қатысты μ_1 бойынша өзгеруі



Тұзды топырақтардың шөгуі, тұздың суда ерігіштік қасиетіне сәйкес тұссыз топырақтардың шөгуімен салыстырғанда үлкен де, елеусіз де (тұз суда ерімеген жағдайда) болуы мүмкін (3-сурет).

Топырақ құрамында суда ерігіштігі бірге тең (μ_1=1) тұз мөлшері жеткілікті көп болса $(1 \le m_1' + m_1'' > n' + m + s)$, онда ол жерге ғимарат тұрғызу тиімсіз. Тұзды топырақтың шөгу процесі бастапқы уақытта тұздың суда еру тездігіне (жылдамдығына) байланысты, ал содан соң топырақтың қатты бөлігінің жылжи деформациялануы мен уақ кеуектіліктің қасиетіне сәйкес жүреді.

ӘДЕБИЕТ

1 Флорин В.А. Основное уравнение консолидации земляной среды // ДАН СССР. – 1948. – Т. 59. – С. 21-24.

2 Флорин В.А. Основы механики грунтов. – М.: Стройиздат, 1961. – Т. 2. – 543 с.

3 Месчян С.Р. Экспериментальная реология глинистых грунтов. – М.: Недра, 1985. – 342 с.

4 Тер-Мартиросян З.Г. Реологические параметры грунтов и расчеты оснований сооружений. – М.: Стройиздат, 1990. – 200 с.

5 Зарецкий Ю.К. Теория консолидации грунтов. – М.: Наука, 1967. – 276 с.

6 Арутюнян Н.Х., Колмановский В.Б. Теория ползучести неоднородных тел. – М.: Наука, 1983. – 336 с.

7 Работнов Ю.Н. Элементы наследственной механики твердых тел. – М.: Наука, 1977. – 383 с.

8 Ширинкулов Т.Ш., Зарецкий Ю.К. Ползучесть и консолидация грунтов. – Ташкент: ФАН, 1986. – 387 с.

9 Ержанов Ж.С., Бергман Э.И., Серегин Ю.Н. Об описании реологических свойств соляных пород // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1976. – № 1. – С. 3-9.

10 Ержанов Ж.С., Бергман Э.И., Векслер Ю. А. Ползучесть каменной соли в условиях сложного напряженного состояния // Вестник АН Каз ССР. – 1976. – № 2. – С. 66-69.

11 Ержанов Ж.С., Бергман Э.И. Ползучесть соляных пород. – Алма-Ата: Наука, 1977. – 110 с.

12 Борях А.А., Константинова С.А., Асанов В.А. Деформирование соляных пород. – Екатеринбург: УроРАН, 1966. – 204 с.

13 Унайбаев Б.Ж., Ищанова А.Ш., Унайбаев Б.Б., Арсенин В.А. Карбонатные пылевато-глинистые лессовые просадочные грунты Казахстана в основании зданий и сооружений // Тр. межд. научно-практич. конф., посвящ. 75-летию заслуженного деятеля науки и техники Казахстана академика НАН РК, док. техн. наук, профессора Ш. М. Айталиева «Механика и строительство транспортных сооружений». – Алматы, 2010. – С. 196-200.

14 Унайбаев Б.Ж., Арсенин В.А., Ищанова А.Ш. Фундаментостроение на засоленных грунтах. – Экибастуз: ЕИТИ, 2008. – 110 с.

15 Алтынбеков Ш. Нелинейное определяющее уравнения состояния грунта и методика определения его параметров // «Үшінші Ержанов оқулары» Қазақстан Республикасы Ұлттық инженерлік академиясының 20 жылдығына арналған Халықаралық ғылыми-техникалық конференция материалдары. – Ақтөбе, 2010. – I бөлім. – 24-28 б.

16 Шаманский В.Е. Численное решение задач фильтрации грунтовых вод на ЭЦВМ. – Киев: Наукова думка, 1969. – 375 с.

17 Гольдин А.Л., Рассказов Л.Н. Проектирование грунтовых плотин. – М.: Энергоатом-издат, 1987. – 303 с.

18 Цытович Н.А., Зарецкий Ю.К., Малышев М.В., Абелев М.Ю., Тер-Мартиросян З.Г. Прогноз скорости осадок основании сооружений. – М.: Стройиздат, 1967. – 238 с.

19 Алтынбеков Ш. Краевые задачи консолидации неоднородных грунтов: Дис. ... к.ф.-м.н. – Ташкент, 1991. – 157 с.

20 Алтынбеков Ш. О применении локально-одномерного метода к решению краевой задачи механики уплотняемых сред. – М., 1988. – 21 с. / Деп. в ВИНИТИ 15.05.85, № 3298.

21 Алтынбеков Ш. Об одном методе аппроксимации // Узб. журнал «Проблемы механики». – 1995. – № 3-4. – С. 5-7.

22 Алтынбеков Ш., Ширинкулов Т.Ш. Об одном итерационном методе нелинейных краевых задач консолидации грунтов // ДАН РУз. Математика. Технические науки. Естествознание. – 1996. – № 1-2. – С. 25-27.

23 Алтынбеков Ш. Об одной начально-краевой задаче виброконсолидации неоднородных грунтов // Вестник НАН РК. – 2008. – № 2. – С. 21-27.

24 Алтынбеков Ш. Об одной задаче теории консолидации неоднородных грунтов и о методах ее решения // Приднепровский научный вестник. – Днепропетровск, 2009. –№ 11(100). – С. 81-94.

REFERENCES

1 Florin V.A. The basic equation of consolidation earthen environment Dokl. 1948. Vol. 59. P. 21-24.
2 Florin V.A. Fundamentals of soil mechanics. M.: Stroiizdat, 1961. Vol. 2. 543 p.
3 Meschyan S.R. Eksperimentalnaya rheology of clay soils. M.: Nedpa, 1985. 342 p.
4 Ter-Martirosyan Z.G. Rheological parameters of soils and ground structures calculations. M.: Stroiizdat, 1990. 200 p.
5 Zaretsky Y.K. Theory of soil consolidation. M.: Nauka, 1967. 276 p.
6 Harutyunyan N.H., Kolmanovskii V.B. Creep theory of inhomogeneous bodies. M.: Nauka, 1983. 336 p.
7 Rabotnov Y.N. Elements of hereditary mechanics of solids. M.: Nauka, 1977. 383 p.
8 Shirinkulov T.S., Zaretsky Y.K. Creep and consolidation of soils. Tashkent: FAN, 1986. 387 p.
9 Erzhanov J.C., Bergman E.I., Seregin Y.N. On the description of the rheological properties of salt rocks. Physical and technical problems of minerals development myh. 1976. № 1. P. 3- 9.
10 Erzhanov J.C., Bergman E.I., Wexler A. Creep of rock salt in a complex stress state. Bulletin of the Academy of Sciences of Kazakh SSR. 1976. № 2. P. 66-69.
11 Erzhanov J.C., Bergman E.I. Creep salt rocks. Alma-Ata: Nauka, 1977. 110 p.
12 Boryah A.A., Konstantinov S.A., Assanov V.A. Deformation of salt rocks. Yekaterinburg: UroRAN, 1966. 204 з.
13 Unaybaev B.J., Ischanova A.Sh., Unaybaev B.B., Arsenin V.A. Calcareous silty clay loess soil subsidence in Kazakhstan based buildings and structures Proc. Intl. scientific and practical. conf. is dedicated. 75th Anniversary Honored Science and Technology Kazakhstan academician of NAS RK, Doc tehn., Professor Sh. M. Aytalieva «Mechanics and construction vehicles constructions». Almaty, 2010. P. 196-200.
14 Unaybaev B.J., Arsenin V.A., Ischanova A.Sh. Foundation Engineering in saline – gruntah. Törtüy: Yoichi, 2008. 110 with.
15 Altynbekov Sh. nonlinear constitutive equation of state of the soil and its method of determining the parameters «Yshinshi Erzhanov oқulary» Kazakhstan Respublikasy Ulttyk inzhenerlik akademiyasynyң 20 zhyldyғyna arnalғan Halyқaralyқ ғylymi-tehnikalyқ conference materialdary. Aқtөbe, 2010. I bөlim. P. 24-28.
16 Shamanic V.E. Numerical solution of groundwater filtration on a computer. Kiev: Naukova Dumka, 1969. 375 p.
17 Goldin A.L., Rasskazov L.N. Tales Design of earth dams. M.: Energoatomizdat, 1987. 303 p.
18 Tsytovich N.A., Zaretsky Y.K., Malyshev M.V., Abel M.Y., Ter-Martirosyan Z.G. Forecast speed pellet based structures. M.: Stroiizdat, 1967. 238 p.
19 Altynbekov Sh. inhomogeneous boundary value problems of consolidation of soils: Ph.D. diss. Tashkent, 1991. 157 p.
20 Altynbekov Sh. On the application locally one-dimensional method for solving boundary value problems in the mechanics of condensed media. M., 1988. 21 p. Dep. v VINITI 15.05.85, № 3298.
21 Altynbekov Sh. A method of approximation. Uz. Journal «Problems of Mechanics». 1995. N 3-4. P. 5-7.
22 Altynbekov Sh., Shirinkulov T.Sh. An iteration method for nonlinear boundary value problems of soil consolidation. DAN Uzbekistan. Mathematics. Engineering. Science. 1996. N 1-2. P. 25-27.
23 Altynbekov Sh. An initial -boundary value problem vibrokonsolidatsii heterogeneous soils. Bulletin of NAS RK. Almaty, 2008. N 2. P. 21-27.
24 Altynbekov Sh. On a problem of inhomogeneous soil consolidation theory and the methods of its solution. Scientific Bulletin Pridneprovsky. Dnepropetrovsk, 2009. N 11 (100). P. 81-94.

Резюме

Ш. Алтынбеков

(Южно-Казахстанский государственный педагогический институт, Шымкент, Республика Казахстан)

ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ ТЕОРИИ КОНСОЛИДАЦИИ СОЛЕНЫХ ГРУНТОВ И ЕЕ КРАЕВАЯ ЗАДАЧА

На основе законов неразрывности жидкой и твердой фаз, уравнения баланса для газообразной фазы, закона Генри и Дарси-Герсеванова, а также, предполагая, что растворенная соль (солевой раствор) движется с водой, а пена газа и нерастворенная соль движется с твердой фазой, получено основное уравнение консолидации соленых грунтов.

Проводя обзор работ по изучению НДС грунтов, горных и соленых пород и анализируя их и взяв во внимание свойства фаз названных пород, а также принцип работы вышеназванного математического моделя, предложена зависимость между главным тотальным напряжением и коэффициентом пористости. На основе этой зависимости и основного уравнения консолидации, а также гипотезы В.А. Флорина получено разрешающее уравнение и сформулировано математическая постановка начально-краевой задачи теории фильтрационной консолидации соленых грунтов. Исследовано свойство решения этой задачи.

Ключевые слова: закон Генри, закон Дарси-Герсельванова, консолидация, краевая задача.

Summary

Sh. Altynbekov

(South Kazakhstan State Pedagogical Institute, Shymkent, Republic of Kazakhstan)

BASIC EQUATIONS OF CONSOLIDATION THEORY SALINE SOIL
AND ITS BOUNDARY PROBLEM

On the basis of the laws of continuity of the liquid and solid phases, the balance equation for the gaseous phase Henry's Law and Darcy Gersevanov and, assuming that the dissolved salt (saline) moves with water and gas and foam is not dissolved salt water moving to a solid phase, the basic equation of consolidations saline soils.

In a review of studies on the VAT soil, rock and salt rocks and analyzing them and taking into account the properties of the phases of these species, as well as the principle of the above mathematical models the relationship between the main voltage and total porosity coefficient. On the basis of this relationship and equation-based consolidation, as well as the hypothesis VA Florina received resolving equation and formulated mathematical formulation of the initial-boundary value problems in the theory of filtration consolidation of salty soils. Investigated the properties of the solution of this task is to use literature.

Keywords: Henry's law, Darcy Gersevanov law, consolidation, boundary value problem.

Поступила 15.01.2014г.