

ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ КОНСОЛИДАЦИИ ЗАСАЛЕННЫХ ЗЕМЛЯНЫХ СРЕД

Алтынбеков Ш.А.

Южно-Казахстанский государственный педагогический институт, Шымкент

Введение. В строительстве промышленных, гражданских и гидротехнических сооружений, как известно, возникают задачи о прочности и увеличения срока эксплуатации этих сооружений. Решение этих задач во многом зависят от правильной оценки и определений осадки грунтовых оснований во времени, обусловленной консолидацией грунтов.

Теория фильтрационной консолидации грунтов, начиная с 25-го года прошлого столетия, интенсивно развивается, охватывая все новые области исследований. Причем, развитие идет фактически по всем направлениям, начиная с анализа физико-химических и механических свойств грунтов, кончая созданием универсальных различных физико-математических моделей, позволяющих с помощью мощных современных персональных компьютеров моделировать напряженно-деформированное состояния изучаемого объекта. Однако, несмотря на это, в этой области исследования достаточно много нерешенных вопросов. Один из них, процесс осадки засоленных грунтов недостаточно изучен. А ведь некоторые области Казахстана, Молдавии, России, Украины, Средней Азии имеют засоленные грунты. Этот вопрос в свое время поднял академик НАН РК Ш.М.Айтиалиев. В данной работе приводится частичное решение данного поставленного вопроса. Получено основное уравнение консолидации засоленных земляных сред.

Основное уравнение консолидации. Уравнение, рекомендуемое на рассмотрение в работе семинаре получено на основе законов неразрывности жидкой и твердой фаз, уравнение баланса для газообразной фазы, закона Генри и Дарси-Герсеванова, а также по предположению, что растворенная соль (солевой раствор) движется с водой, а пена газа и нерастворенная соль движется с твердой фазой.

1. Уравнение неразрывности фазы жидкой смеси. Выделим, как показано на рис. 1, элемент единичного объема засоленного грунта размерами $dx dy dz$. Обозначим объем воды в этом единичном объеме в момент времени t (или пористость засоленного грунта в момент времени t) через n' , твердой части грунта через m , объем нерастворенной части соли через m_1' , объем нерастворенной части соли через m_1'' , а объем газообразной фазы через s .

Тогда верно следующее соотношение

$$n'' + m + m_1' + m_1'' + s = 1 \quad (1)$$

Обозначим скорости фильтрации воды и солевого раствора через грансоответственно буквой u_{1z} и u_{2z} . Тогда скорости фильтрации этих жидкостей через грань 2 соответственно равны $u_{1z} + \frac{\partial u_{1z}}{\partial z} dz$ и $u_{2z} + \frac{\partial u_{2z}}{\partial z} dz$. Расход воды и солевого раствора за время dt через грань 1 соответственно равны: $u_{1z} dx dy dt$; $u_{2z} dx dy dt$, а через грань 2 равны: $\left(u_{1z} + \frac{\partial u_{1z}}{\partial z} dz\right) dx dy dt$; $\left(u_{2z} + \frac{\partial u_{2z}}{\partial z} dz\right) dx dy dt$. В результате, за время dt во внутрь рассматриваемого элементарного объема $dx dy dz$ вошли жидкости и солевые растворы:

$$u_{1z} dx dy dt - \left(u_{1z} + \frac{\partial u_{1z}}{\partial z} dz\right) dx dy dt = -\frac{\partial u_{1z}}{\partial z} dx dy dz dt$$

$$u_{2z} dx dy dt - \left(u_{2z} + \frac{\partial u_{2z}}{\partial z} dz\right) dx dy dt = -\frac{\partial u_{2z}}{\partial z} dx dy dz dt$$

Аналогично, также у остальных граней элемента:

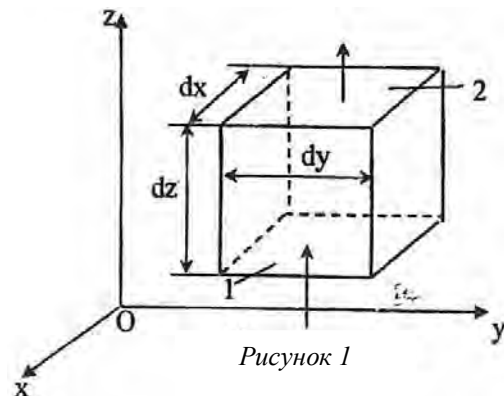


Рисунок 1

$$\begin{aligned}
u_{1x}dydzdt - \left(u_{1X} + \frac{\partial u_{1X}}{\partial x} dx \right) dydzdt &= -\frac{\partial u_{1X}}{\partial x} dx dy dz dt, \\
u_{2x}dydzdt - \left(u_{2X} + \frac{\partial u_{2X}}{\partial x} dx \right) dydzdt &= -\frac{\partial u_{2X}}{\partial x} dx dy dz dt \\
u_{1y}dxdzdt - \left(u_{1Y} + \frac{\partial u_{1Y}}{\partial y} dy \right) dxdzdt &= -\frac{\partial u_{1Y}}{\partial y} dx dy dz dt \\
u_{2y}dxdzdt - \left(u_{2Y} + \frac{\partial u_{2Y}}{\partial y} dy \right) dxdzdt &= -\frac{\partial u_{2Y}}{\partial y} dx dy dz dt
\end{aligned}$$

В результате:

$$-\left(\frac{\partial u_{1X}}{\partial x} + \frac{\partial u_{1Y}}{\partial y} + \frac{\partial u_{1Z}}{\partial z} \right) dx dy dz dt; \quad -\left(\frac{\partial u_{2X}}{\partial x} + \frac{\partial u_{2Y}}{\partial y} + \frac{\partial u_{2Z}}{\partial z} \right) dx dy dz dt;$$

или

$$-\left(\frac{\partial u_{1X}}{\partial x} + \frac{\partial u_{1Y}}{\partial y} + \frac{\partial u_{1Z}}{\partial z} + \frac{\partial u_{2X}}{\partial x} + \frac{\partial u_{2Y}}{\partial y} + \frac{\partial u_{2Z}}{\partial z} \right) dx dy dz dt;$$

Однако, количество фазы жидкой смеси, вошедшей внутрь элемента $dx dy dz$ за время dt можно найти и иначе. Действительно, если обозначить пористость рассматриваемого элементарного объема засаленного грунта в момент времени t через n' а пористость в котором расположен объем растворенной соли через m_1'' , то объемы воды и солевого раствора, находящихся в момент времени t в порах этого элементарного объема засаленного грунта, равен $(n' + m_1'') dx dy dz$. За время dt пористости (пористости расположенного объема воды и солевого раствора) засаленного грунта, заполняющего объем $dx dy dz$, изменится и ее можно принять равной $n' + \frac{\partial n'}{\partial t} dt + m_1'' + \frac{\partial m_1''}{\partial t} dt$. Соответствующий объ-

ем жидкой смеси станет $\left(n' + \frac{\partial n'}{\partial t} dt + m_1'' + \frac{\partial m_1''}{\partial t} dt \right) dx dy dz$. Отсюда следует, что за время dt жидкосмесьсодержание в рассматриваемом элементарном объеме $dx dy dz$ увеличится на

$$\left(n' + \frac{\partial n'}{\partial t} dt + m_1'' + \frac{\partial m_1''}{\partial t} dt \right) dx dy dz - (n' + m_1'') dx dy dz = \left(\frac{\partial n'}{\partial t} + \frac{\partial m_1''}{\partial t} \right) dx dy dz dt$$

Условие неразрывности несжимаемой жидкой смеси заключается в том, что объем жидкости вошедшей внутрь элемента $dx dy dz$ за время dt равен изменению за время dt жидкосмесьсодержания в этом объеме, т.е.

$$-\left(\frac{\partial u_{1X}}{\partial x} + \frac{\partial u_{1Y}}{\partial y} + \frac{\partial u_{1Z}}{\partial z} + \frac{\partial u_{2X}}{\partial x} + \frac{\partial u_{2Y}}{\partial y} + \frac{\partial u_{2Z}}{\partial z} \right) dx dy dz dt = \left(\frac{\partial n'}{\partial t} + \frac{\partial m_1''}{\partial t} \right) dx dy dz dt$$

или

$$\frac{\partial(n' + m_1'')}{\partial t} + \text{div}(\bar{u}_1 + \bar{u}_2) = 0 \quad (2)$$

2. Уравнение неразрывности твердосмесной (твердая часть грунта и соли нерастворенной в воде) фазы. Обозначая по аналогии со скоростью фильтрации воды и солевого раствора объемный расход твердой части грунта и нерастворенной части соли через единицу площади v_{1Z} и v_{2Z} , а содержание твердых частиц в единице объема через m , нерастворенной части соли через m_1' , можно таким же путем получить уравнение неразрывности твердосмесной фазы засаленного грунта в виде

$$\frac{\partial(m + m_1')}{\partial t} + \text{div}(\bar{v}_1 + \bar{v}_2) = 0 \quad (3)$$

3. Уравнение баланса для газообразной фазы. Для газообразной фазы уплотняемой среды уравнение баланса выводится аналогично выше приведенным.

Вошедши за время dt внутрь элементарного объема $dx dy dz$ через его грани перпендикулярные оси x, y, z массы газа так как равны следующим

$$-\frac{\partial \rho w_z}{\partial z} dx dy dz dt \quad (\rho - \text{плотность газа}),$$

$$-\frac{\partial \rho w_x}{\partial x} dx dy dz dt, \quad -\frac{\partial \rho w_y}{\partial y} dx dy dz dt,$$

вошедши за этого же время dt внутрь элементарного объема полная масса газа определяется так

$$-\left(\frac{\partial \rho w_x}{\partial x} + \frac{\partial \rho w_y}{\partial y} + \frac{\partial \rho w_z}{\partial z} \right) dx dy dz dt;$$

а вышедши за время dt масса газа: $\mu (n' + m_1'') \frac{\partial \rho}{\partial t} dx dy dz dt.$

Изменение в элементарном объеме $dx dy dz$ масса газа за время dt : $\frac{\partial \rho s}{dt} dx dy dz dt$

Взяв во внимание выше изложенное, уравнение баланса газа можно записать так

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

4. Уравнение консолидации. Предполагая, что уравнение состояния газа изотермическом режиме, а матрицу коэффициентов фильтрации диагональной матрицей третьего порядка, и опираясь на законы Генри и Дарси-Герсеванова, и на предположение, что растворенная соль (солевой раствор) движется с водой, а пена газа и нерастворенная соль движется с твердой фазой, а так же взяв во внимание выше приведенное соотношение (1), зависимость между напором и давлением и следующие соотношения

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

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

$$s = \frac{2 - \eta^* - \mu_1}{3 + \varepsilon - \eta^* - \mu_1},$$

из (2), (3) и (4) можно получить основное уравнение консолидации засаленных земляных сред:

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

$$= (3 + \varepsilon - \eta^* - \mu_1) \cdot \left\{ \frac{\partial}{\partial x_1} \left(K_1 \frac{\partial H}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(K_2 \frac{\partial H}{\partial x_2} \right) + \frac{\partial}{\partial x_3} \left(K_3 \frac{\partial H}{\partial x_3} \right) \right\} \quad (5)$$

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

– коэффициент объемной сжимаемости; μ – растворимость газа; η^* – коэффициент водонасыщенности уплотняемой среды ($\eta = 1, \mu_1 = 1, \mu = 0$); μ_1 – коэффициент растворимости соли ($0 \leq \mu_1 \leq 1$); γ – удельный вес жидкой солевой смеси; ε – коэффициент пористости.

При осимитричной деформации уравнение (5) можно записать в виде

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \beta_v(\varepsilon, H)(3 + \varepsilon - \eta^* - \mu_1)\gamma \frac{\partial H}{\partial t} = (3 + \varepsilon - \eta^* - \mu_1) \cdot \left\{ \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial H}{\partial z} \right) + \frac{\partial}{\partial r} \left(K_r \frac{\partial H}{\partial r} \right) + K_r \frac{1}{r} \frac{\partial H}{\partial r} \right\} \quad (6)$$

Свойство решений вышеприведенного уравнения (5) (или (6)) в прямом смысле зависят от гипотезы В.А. Флорина, реологического уравнения состояния уплотняемой среды и коэффициентов фильтрации. Эти вопросы подлежат масштабному исследованию для засаленных грунтов.

Summary

In base of laws indissoluble liquid and solid phase, equation balance for gaseous phase, Law's of Henry and Darsi-Hersevanova, and so suppose, that is mixed solid (dissolved) moving with water, and his foam gas and don't mixed salt moving by liquid phase, that given base level consolidation in salt ground sphere.

Поступила в редакцию 16.11.2012