

Для цитирования: Агаханов Г.Э. МОДЕЛИРОВАНИЕ УПЛОТНЕНИЯ ДВУХФАЗНОГО ГРУНТА ПРИ КОМПРЕССИОННОМ СЖАТИИ. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2016;42 (3):16-26. DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-16-26

For citation: Agakhanov G.E. SIMULATION OF MULTIPLEXING OF TWO PHASE SOIL IN CASE OF COMPRESSION COMPRESSION. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2016;42 (3):16-26. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2016-42-3-16-26

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ. МЕХАНИКА PHYSICAL-MATHEMATICAL SCIENCE. MECHANICS

УДК 539.3

DOI: 10.21822/2073-6185-2016-42-3-16-26

Агаханов Г.Э.

Дагестанский государственный технический университет,
367015 г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70,
e-mail: elifhan@bk.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПЛОТНЕНИЯ ДВУХФАЗНОГО ГРУНТА ПРИ КОМПРЕССИОННОМ СЖАТИИ

Аннотация. Цель. Статья посвящена поиску методов решения задачи уплотнения слоя двухфазного грунта при компрессионном сжатии равномерно распределенной нагрузкой. **Методы.** По расчетной модели сплошного изотропного тела с линейно-наследственной ползучестью в случае инвариантности среды и постоянства коэффициента Пуассона во времени, а также с учетом различной сопротивляемости скелета грунта при уплотнении и разуплотнении получено решение задачи уплотнения слоя двухфазного грунта при компрессионном сжатии равномерно распределенной нагрузкой. Рассмотрены частные случаи напряженно-деформированного состояния. **Результаты.** Анализ полученного решения показывает, что при постоянстве во времени коэффициента Пуассона среды, ползучесть не влияет на напряженное состояние, а лишь сказывается на деформации или перемещении (осадку), что соответствует ранее установленным положениям. При постоянстве коэффициента Пуассона напряженно-деформированное состояние среды можно определить и методом упругой аналогии, решая соответствующую упругомгновенную задачу. Решение уравнения для порового давления выполнено методом Фурье. По полученному аналитическому решению составлена блок-схема и программа в пакете Matlab с использованием встроенного языка программирования системы Matlab. **Вывод.** Для двух вариантов условий дренирования выполнен расчет функции порового давления, функции бокового распора и степени консолидации слоя с учетом и без учета ползучести; построены их поверхности распределения и графики изменения.

Ключевые слова: уплотнение двухфазного грунта, компрессионное сжатие, линейно-наследственная ползучесть, различная сопротивляемость скелета грунта при уплотнении и разуплотнении, сжимаемая поровая жидкость

Gadzhi E. Agakhanov

Dagestan State Technical University,
70 I. Shamil Ave, Makhachkala, 367015,
e-mail: elifhan@bk.ru

SIMULATION OF MULTIPLEXING OF TWO PHASE SOIL IN CASE OF COMPRESSION COMPRESSION

Abstract. Aim. The article is devoted to solving the problem of finding a method to seal a two phase soil layer under compression uniformly distributed load. **Methods.** On estimated model of a continuous isotropic body with linear and hereditary creep in case of invariance of the environment and a persistence of coefficient of Poisson in time, and also taking into account different resilience of a skeleton of soil when multiplexing and demultiplexing the decision of the task of multiplexing of a layer of two-phase soil in case of compression is received by a uniformly distributed load.

Special cases of the intense deformed status are considered. Results. The analysis of the received decision shows that in case of a persistence in time of coefficient of Poisson of the environment, creep doesn't influence tension, and only affects deformation or relocation (settling) that corresponds to earlier set provisions. In case of a persistence of coefficient of Poisson the intense deformed status of the environment can be determined also by method of elastic analogy, solving the appropriate uprugomgnovenny problem. The solution of the equation for pore pressure is executed by Fourier method. According to the received analytical decision the flowchart and the program in Matlab packet with use of the built-in programming language of the Matlab system is made. **Conclusion.** For two options of conditions of drainage calculation of function of pore pressure, function of a side raspor and level of consolidation of a layer taking into account and without creep is executed and their surfaces of distribution and a graphics of change are constructed.

Key words: consolidation of two-phase soil, compression compression, linear and hereditary creep, different resilience of a skeleton of soil when multiplexing and demultiplexing, the compressed steam liquid

Введение. Процесс консолидации водонасыщенной двухфазной грунтовой системы, находящейся под действием поверхностных сил, сопровождается возникновением сил взаимодействия между двумя фазами грунта (грунтовым скелетом и поровой водой), обуславливаемых явлениями взвешивания скелета грунта за счет возникших давлений в поровой жидкости [13, 19, 22, 23-24].

Постановка задачи. Принимая расчетную модель сплошного изотропного тела с линейно-наследственной ползучестью, система уравнений для оценки воздействия порового давления на грунт в случае инвариантности среды и постоянства коэффициента Пуассона во времени, а также с учетом различной сопротивляемости скелета грунта при уплотнении и разуплотнении, имеет вид [1, 2, 9, 11, 17]:

$$\left. \begin{aligned} S_c \left(\nabla^2 u + \frac{1}{3} \cdot \frac{\partial \varepsilon_o}{\partial x} \right) + S_o^y \left(\frac{\partial \varepsilon_o}{\partial x} \right) &= \frac{1}{\beta} \frac{\partial p_w}{\partial x}; \\ S_c \left(\nabla^2 v + \frac{1}{3} \cdot \frac{\partial \varepsilon_o}{\partial y} \right) + S_o^y \left(\frac{\partial \varepsilon_o}{\partial y} \right) &= \frac{1}{\beta} \frac{\partial p_w}{\partial y}; \\ S_c \left(\nabla^2 w + \frac{1}{3} \cdot \frac{\partial \varepsilon_o}{\partial z} \right) + S_o^y \left(\frac{\partial \varepsilon_o}{\partial z} \right) &= \frac{1}{\beta} \frac{\partial p_w}{\partial z}; \\ \frac{\partial \varepsilon_o}{\partial t} &= \frac{k_\phi}{\gamma_w} \nabla^2 p_w - \frac{3n_{cp}}{\alpha_w} \cdot \frac{\partial p_w}{\partial t}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Полные (общие) напряжения при этом определяются по зависимостям:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= S_c \left(\frac{4\varepsilon_x - 2\varepsilon_y - 2\varepsilon_z}{3} \right) + S_o^y (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) - \frac{1}{\beta} p_w; \\ \sigma_y &= S_c \left(\frac{4\varepsilon_y - 2\varepsilon_z - 2\varepsilon_x}{3} \right) + S_o^y (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) - \frac{1}{\beta} p_w; \\ \sigma_z &= S_c \left(\frac{4\varepsilon_z - 2\varepsilon_x - 2\varepsilon_y}{3} \right) + S_o^y (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z) - \frac{1}{\beta} p_w; \\ \tau_{xy} &= S_c (\gamma_{xy}); \\ \tau_{yz} &= S_c (\gamma_{yz}); \\ \tau_{zx} &= S_c (\gamma_{zx}). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Рассмотрим одномерную задачу уплотнения слоя двухфазного грунта мощности h , нагруженного равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью q . Пусть консолидируемый слой лежит на скальном недеформируемом основании.

Рассмотрены два варианта условий дренирования:

а) водопроницаемые обе поверхности ($z = 0$; $z = h$) консолидируемого слоя

$$p_w|_{z=0} = 0; \quad p_w|_{z=h} = 0; \quad (3)$$

б) поверхность $z = 0$ водопроницаема, а поверхность $z = h$ водонепроницаема

$$p_w|_{z=0} = 0; \quad \frac{\partial p_w}{\partial z}|_{z=h} = 0. \quad (4)$$

Методы исследования. Полагая в системе уравнений (2) составляющие деформаций $\varepsilon_x = \varepsilon_y = 0; \gamma_{xy} = \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0$, получим:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x = \sigma_y &= S_c \left(\frac{-2\varepsilon_z}{3} \right) + S_o^y(\varepsilon_z) - \frac{1}{\beta} p_w; \\ \sigma_z &= S_c \left(\frac{4\varepsilon_z}{3} \right) + S_o^y(\varepsilon_z) - \frac{1}{\beta} p_w; \\ \tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{zx} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

С учетом условия $R_c(t - \tau) = R_o(t - \tau) = R(t - \tau)$ система уравнений (5) принимает вид:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x = \sigma_y &= \frac{3E_o^y - 2G}{3} S(\varepsilon_z) - \frac{1}{\beta} p_w; \\ \sigma_z &= \frac{3E_o^y - 4G}{3} S(\varepsilon_z) - \frac{1}{\beta} p_w; \\ \tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{zx} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где $S(\varepsilon)$ - оператор, имеющий вид [3]:

$$S(\varepsilon) = \varepsilon(t) - \int_0^t \varepsilon(\tau) R(t - \tau) d\tau.$$

Принимая во втором уравнении системы (6) $\sigma_z = -q$, имеем

$$S(\varepsilon_z) = -\frac{3}{3E_o^y + 4G} \left[q - \frac{1}{\beta} p_w \right]. \quad (7)$$

Подставляя уравнение (7) в первое уравнение системы (6) получим

$$\sigma_x = \sigma_y = -\frac{3E_o^y - 2G}{3E_o^y + 4G} q - \frac{6G}{3E_o^y + 4G} \cdot \frac{1}{\beta} p_w. \quad (8)$$

Перейдя в выражении (7) к оператору L , обратному S

$$\varepsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} = -\frac{3}{3E_o^y + 4G} L \left(q - \frac{1}{\beta} p_w \right). \quad (9)$$

Интегрируя выражение (9) получим:

$$w = -\frac{3}{3E_o^y + 4G} L \left(qz - \frac{1}{\beta} \int_0^z p_w dz \right) + C. \quad (10)$$

Учитывая, что консолидируемый слой лежит на скальном недеформируемом основании, т. е. $w|_{z=h} = 0$, имеем

$$C = \frac{3}{3E_o^y + 4G} L \left(qh - \frac{1}{\beta} \int_0^h p_w dz \right). \quad (11)$$

Тогда осадка основания $s = w|_{z=0}$ в соответствии с уравнениями (10) и (11) будет равна

$$s = \frac{3}{3E_o^y + 4G} L \left(qh - \frac{1}{\beta} \int_0^h p_w dz \right). \quad (12)$$

Заметим, что формула для определения напряжений (8) не содержит ядро (резольвента ядра) ползучести, а в выражение для деформации (9) или перемещения (10) (осадки (12)) ядро ползучести входит. Это соответствует известному положению, что при постоянстве во времени

коэффициента Пуассона среды, ползучесть не влияет на напряженное состояние, а лишь сказывается на деформации или перемещении (осадка).

В данном случае, напряженно-деформированное состояние исходной задачи можно было получить и методом упругой аналогии, согласно которому достаточно решить упругомгновенную задачу и использовать зависимости [6, 8, 14]:

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_x^y = \sigma_y^y; \quad (13)$$

$$w = L(w^y), \quad (14)$$

где σ_x^y , σ_y^y и w^y - напряжения и перемещение упругомгновенной задачи.

Остается найти поровое давление p_w .

Продифференцируем первые три уравнения системы (1) соответственно по x , y , z и сложим их

$$\frac{4G + 3E_o^y}{3} S(\nabla^2 \varepsilon_o) = \frac{1}{\beta} \nabla^2 p_w. \quad (15)$$

Уравнение (15) можно представить с точностью до произвольной гармонической функции, которую впоследствии примем равной нулю (соответствует поиску лишь первого приближения решения), в следующем виде [18, 21]

$$\frac{4G + 3E_o^y}{3} S(\varepsilon_o) = \frac{1}{\beta} p_w. \quad (16)$$

Простейшее предположение состоит в том, что объемные деформации от порового давления будем считать чисто упругими, т.е. без наследственной части [4]. При этом

$$\varepsilon_o = \frac{3}{\beta(4G + 3E_o^y)} p_w. \quad (17)$$

Дифференцируя уравнение (17) по t и сравнивая с последним уравнением системы (1), получим

$$c \nabla^2 p_w = \frac{\partial p_w}{\partial t}, \quad (18)$$

где
$$c = \frac{k_\phi}{\gamma_w \left(\frac{3}{\beta(4G + 3E_o^y)} + \frac{3n_{cp}}{\alpha_w} \right)}$$

В случае одномерной задачи $\left(\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right)$ уравнение (18) принимает вид:

$$c \frac{\partial^2 p_w}{\partial z^2} = \frac{\partial p_w}{\partial t}. \quad (19)$$

Полагая, что $p_w(z, t) = Z(z)T(t)$ решение уравнения (19) будем искать методом Фурье [12, 16, 20]. В соответствии с выражением (19) после разделения переменных получаем

$$\frac{Z''}{Z} = \frac{T'}{cT} = -\alpha_i^2, \text{ откуда } Z'' + \alpha_i^2 Z = 0 \text{ и } T' + \alpha_i^2 cT = 0. \quad (20)$$

Тогда для $Z(z)$ и $T(t)$ имеем $Z(z) = A \sin(\alpha_i z) + B \cos(\alpha_i z)$

и $T(t) = C \exp(-\alpha_i^2 ct)$,

где A , B , и C - произвольные постоянные.

Тогда частное решение уравнения (19) имеет вид

$$p_w(z, t) = [A \sin(\alpha_i z) + B \cos(\alpha_i z)] C \exp(-\alpha_i^2 ct). \quad (21)$$

Для условий дренирования (3) получаем $B = 0$ и $\alpha_i = \frac{i \cdot \pi}{h}$, где i - любое целое число.

В силу линейности уравнения (19), выражение

$$p_w(z, t) = \sum_{i=0}^{i=\infty} C_i \exp(-\alpha_i^2 ct) \sin(\alpha_i z) \quad (22)$$

также является его решением, удовлетворяющим граничным условиям (3), в котором вследствие произвольности величины C_i произвольная постоянная A_i может быть опущена.

Коэффициент C_i определим из условия, что в начальный момент времени $t = 0$ поровое давление $p_w(z, t)$ равно [10, 15]:

$$p_w(z, 0) = \frac{q}{\frac{1}{\beta} + n_{cp} \frac{4G + 3E^y}{\alpha_w}} = \beta b q, \quad (23)$$

где

$$b = \frac{1}{1 + \frac{n_{cp} \beta (4G + 3E^y)}{\alpha_w}}. \quad (24)$$

Значение функции $p_w(z, t)$ для момента времени $t = 0$ из выражения (22) подставим в условие (23)

$$\sum_{i=0}^{i=\infty} C_i \sin(\alpha_i z) = \frac{q}{\frac{1}{\beta} + n_{cp} \frac{4G + 3E^y}{\alpha_w}} = \beta b q.$$

Разлагая постоянную величину $\beta b q$ в ряд синусов и приравнявая соответствующие коэффициенты в правой и левой частях уравнения, имеем

$$C_i = \frac{4\beta b q}{\pi} \frac{1}{i}, \quad (25)$$

где $i = 1, 3, 5, \dots$.

Тогда согласно выражению (22), получаем

$$p_w(z, t) = \frac{4\beta b q}{\pi} \sum_{i=1,3,\dots}^{i=\infty} \frac{1}{i} \exp(-c \alpha_i^2 t) \sin(\alpha_i z). \quad (26)$$

Подставляя уравнение (26) в уравнения (8) и (12), мы получим окончательные расчетные формулы:

$$\sigma_x = \sigma_y = -\frac{3E_o^y - 2G}{3E_o^y + 4G} q - \frac{24bqG}{\pi(3E_o^y + 4G)} \times \sum_{i=1,3,\dots}^{i=\infty} \frac{1}{i} \exp(-c \alpha_i^2 t) \sin(\alpha_i z); \quad (27)$$

$$s = \frac{3qh}{3E_o^y + 4G} L \left(1 - \frac{8b}{\pi^2} \sum_{i=1,3,\dots}^{i=\infty} \frac{1}{i^2} \exp(-c \alpha_i^2 t) \right). \quad (28)$$

Принимая ядро ползучести в виде

$$L(t - \tau) = \delta \exp[-\delta_1(t - \tau)] \quad (29)$$

для осадки из (28) имеем

$$s = \frac{3}{3E_o^y + 4G} qh \left\{ 1 + \frac{\delta}{\delta_1} [1 - \exp(-\delta_1 t)] - \frac{8b}{\pi^2} \times \sum_{i=1,3,\dots}^{i=\infty} \frac{1}{i^2} \left[\exp(-c \alpha_i^2 t) + \frac{\delta}{(\delta_1 - c \alpha_i^2)} [\exp(-c \alpha_i^2 t) - \exp(-\delta_1 t)] \right] \right\}. \quad (30)$$

Рассмотрим мгновенное напряженно-деформированное состояние (начальное состояние) $t = 0$.

Тогда с учетом суммы рядов Фурье $\sum_{i=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{i^2} = \frac{\pi^2}{8}$ и $\sum_{i=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{i} \sin(\alpha_i z) = \frac{\pi}{4}$

(при $0 \leq z \leq h$) выражения (26), (27) и (30) принимают вид

$$p_w(z, 0) = \frac{4\beta b q}{\pi} \sum_{i=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{i} \sin(\alpha_i z) = \beta b q; \quad (31)$$

$$\begin{aligned} \sigma_x = \sigma_y &= -\frac{3E_o^y - 2G}{3E_o^y + 4G} q - \frac{24bqG}{\pi(3E_o^y + 4G)} \sum_{i=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{i} \sin(\alpha_i z) = \\ &= -\frac{3E_o^y - 2G}{3E_o^y + 4G} q - \frac{6bqG}{3E_o^y + 4G}; \end{aligned} \quad (32)$$

$$s = \frac{3}{3E_o^y + 4G} qh \left[1 - \frac{8b}{\pi^2} \sum_{i=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{i^2} \right] = \frac{3}{3E_o^y + 4G} qh [1 - b]. \quad (33)$$

Определим конечное напряженно-деформированное состояние («стабилизированное» состояние) $t \rightarrow \infty$.

В этом случае выражения (26), (27) и (30) имеют вид

$$p_w(z, \infty) = 0; \quad (34)$$

$$\sigma_x = \sigma_y = -\frac{3E_o^y - 2G}{3E_o^y + 4G} q; \quad (35)$$

$$s = \frac{3}{3E_o^y + 4G} qh \left(1 + \frac{\delta}{\delta_1} \right). \quad (36)$$

В случае, когда поровая жидкость является несжимаемой [7] ($\alpha_w \rightarrow \infty$),

$$c = \frac{k_\phi \beta (4G + 3E^y)}{3\gamma_w}, \quad b = 1. \quad (37)$$

Легко заметить, что для условий дренирования (4) в полученных решениях изменится только значение α_i , которое в данном случае равно $\frac{i\pi}{2h}$, где $i = 1, 3, 5, \dots$.

Степень консолидации слоя можно определить по формуле

$$U = \frac{s(t)}{s(\infty)}.$$

Обсуждение результатов. Для выполнения расчетов при различных значениях исходных данных по полученному аналитическому решению составлена блок-схема и программа в пакете MatLab с использованием встроенного языка программирования системы MatLab. Для двух вариантов условий дренирования выполнен расчет функции порового давления, функции бокового распора и степени консолидации слоя с учетом и без учета ползучести при следующих значениях исходных данных [5]:

$$\beta = 0.4; \quad b = 1; \quad \delta = 0.01; \quad \delta_1 = 0.1; \quad \mu = 0.3; \quad E^y = E = 19 \text{ МПа}.$$

Поровое и боковое давления находят, умножая значения соответствующих функций на q и $-q$. По результатам численного счета построены поверхности распределения функции порового давления, функции бокового распора и графики изменения степени консолидации слоя с учетом и без учета ползучести для первого и второго вариантов дренирования (рис.1-6).

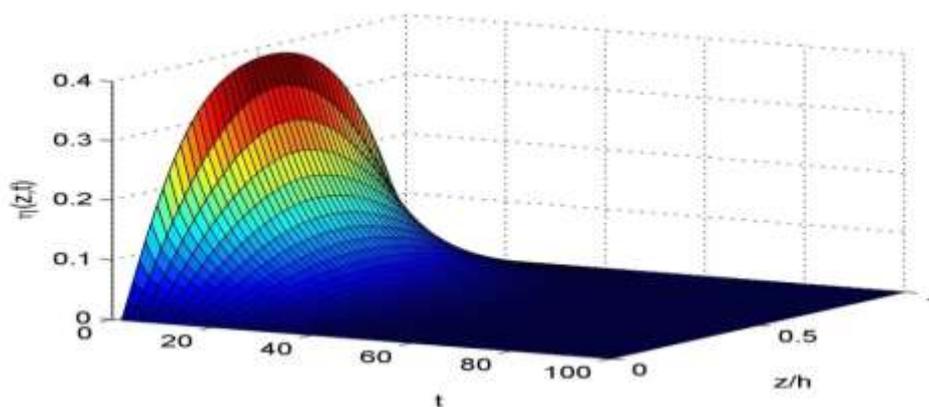


Рисунок 1 - Распределение функции порового давления для первого варианта дренирования

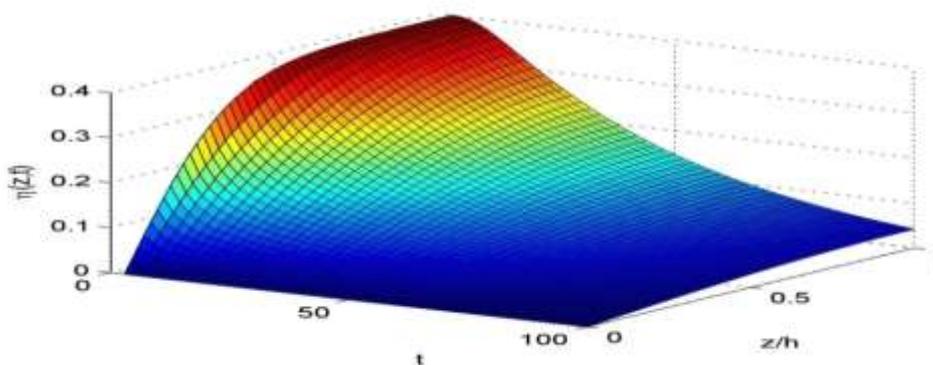


Рисунок 2 - Распределение функции порового давления для второго варианта дренирования

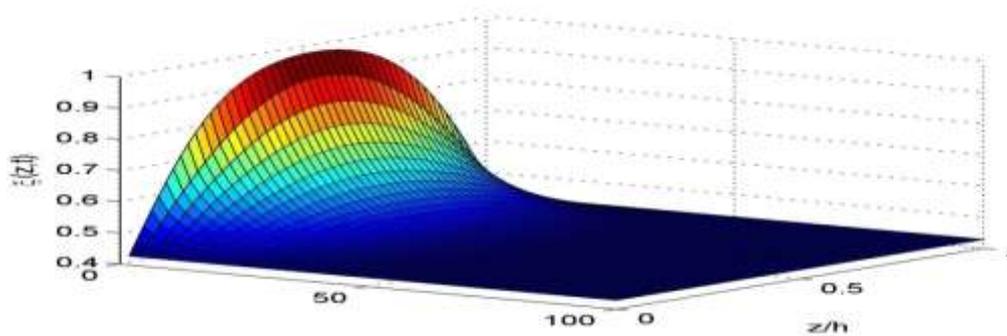


Рисунок 3 – Распределение функции бокового распора для первого варианта дренирования

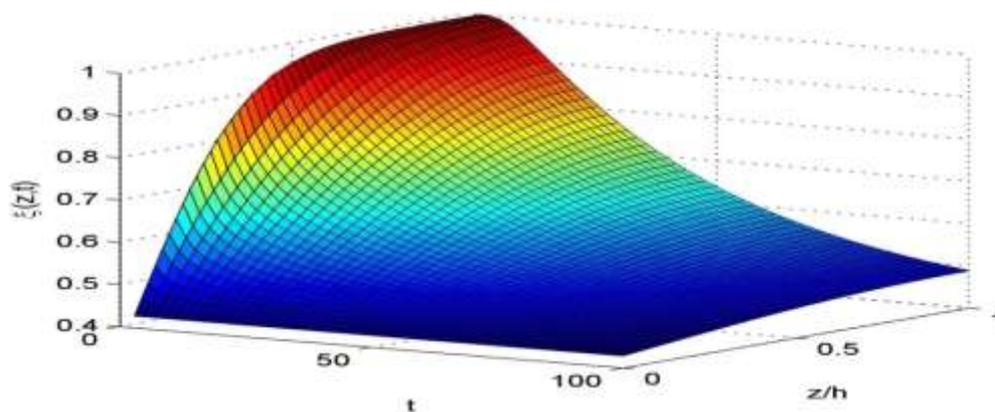


Рисунок 4 – Распределение функции бокового распора для второго варианта дренирования

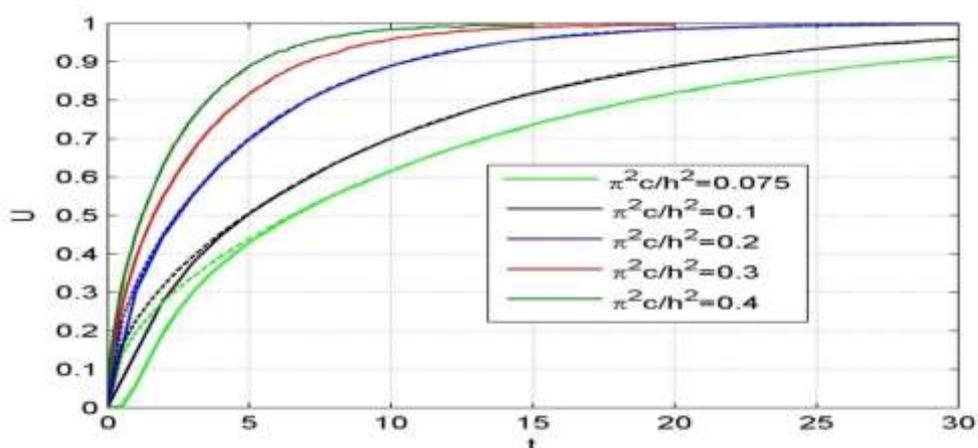


Рисунок 5 – Графики изменения степени консолидации слоя с учетом и без учета ползучести для первого варианта дренирования

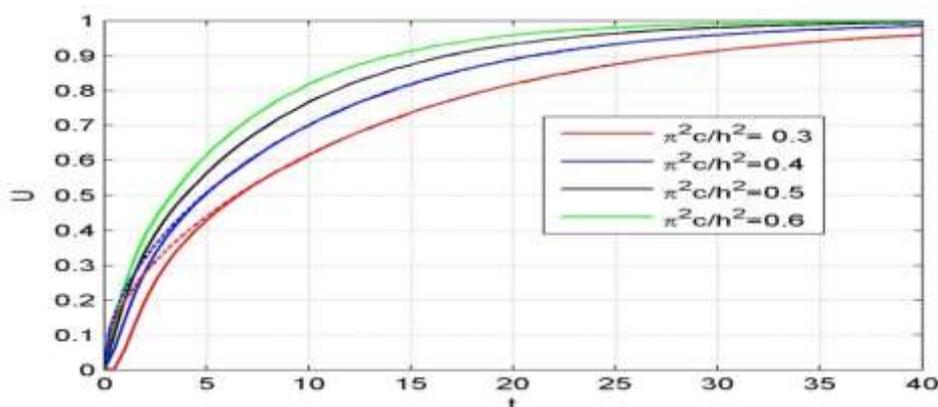


Рисунок 6 – Графики изменения степени консолидации слоя с учетом и без учета ползучести для второго варианта дренирования

Вывод. При постоянстве во времени коэффициента Пуассона среды ползучесть не влияет на напряженное состояние, а лишь сказывается на деформации или перемещения (осадка). По полученному аналитическому решению составлена блок-схема и программа в пакете MatLab с использованием встроенного языка программирования системы MatLab. Для двух вариантов условий дренирования выполнен расчет функции порового давления, функции боково-

го распора и степени консолидации слоя с учетом и без учета ползучести; построены поверхности распределения и графики изменения.

Библиографический список:

1. Агаханов Г.Э. О математическом моделировании физических воздействий в грунтах//Научное обозрение. - № 12. – 2014.– С. 733 - 736.
2. Агаханов Г.Э. О математическом моделировании воздействия порового давления на грунт//Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки – Махачкала, 2015. – Т.36 - № 1.– С. 8 - 16. DOI:10.21822/2073-6185-2015-36-1-8-16.
3. Агаханов Г.Э. Математическое моделирование влажностных напряжений в грунтовом полупространстве//Науковедение. Электронный журнал. – 2015. – Т. 7. - №3. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/12TVN315.pdf>. № ГР ФС 77 - 39378.
4. Агаханов Г.Э., Мелехин В.Б. Моделирование деформаций земляного полотна автомобильных дорог//Научное обозрение. - № 4. - 2016.– С.90 - 93.
5. Агаханов Э.К., Агаханов М.К. О моделировании действия объемных сил в упругоползучем теле//Известия Вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. - 2005. - № 1.– С. 25– 26.
6. Агаханов Э.К., Агаханов М.К. Эквивалентность воздействий для несжимаемого материала//Промышленное и гражданское строительство. - М.,2015. - № 11.– С. 40– 43.
7. Агаханов Э.К., Агаханов М.К. Грунтовое основание с трапецидальным вырезом под действием собственного веса//Научное обозрение. - М.,2016. - № 12.– С. 67– 71.
8. Агаханов Э.К. О развитии комплексных методов решения задач механики деформируемого твердого тела//Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - 2013. – Т.29 - № 2.– С.39– 45.
9. Годунов С.К. О численном решении краевых задач для систем обыкновенных линейных дифференциальных уравнений//Успехи математических наук. - 1961. ХУІ, Вып. 3(99). - С. 171-174.
10. Ржаницын А.Р. Теория ползучести. М.: Стройиздат, 1968. – С.145– 147.
11. Тер-Мартirosян З.Г., Тер-Мартirosян А.З. НДС водонасыщенных оснований фундаментов конечной ширины//Основания, фундаменты и механика грунтов. - М., 2014. - № 16. - С. 6-10.
12. Флорин В.А. Основы механики грунтов. – М.: Стройиздат, 1959. - Т.І.– С.157– 165.
13. Хесин Г.Л. Метод фотоупругости. - М.: Стройиздат, 1975. - Т. 3.– С. 93– 100.
14. Цытович Н.А., Зарецкий Ю.К., Малышев М.В., Абелев М.Ю., Тер-Мартirosян З.Г. Прогноз скорости осадок оснований сооружений. - М.: Стройиздат, 1967.– С. 189– 190.
15. Andreev V.I., Avershyev A.S. On accounting mechanical heterogeneity in solving problems of moisture transfer in soils. Proc. of the XXI Russian - Slovak - Polish seminar "Theoretical foundation of civil engineering", 2012, pp.87-92,
16. Andreev V.I., Avershyev A.S. Stationary Problem of Moisture-elasticity for In- homogeneous thick-walled Shells. *Advanced Materials Research. Trans Tech Publications*, Switzerland, 2013, vols. 671-674, pp. 571-575.
17. Andreev V.I., Avershyev A.S. About Influence of Moisture on Stress State of Soil taking into account Inhomogeneity. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2013, vol. 9, no. 3, pp.14-20.

18. Andreev V.I., Avershyev A.S. Nonstationary problem moisture elasticity for nonhomogeneous hollow thick-walled cylinder. Transactions of International Conference on Fluid Structure Interaction 10 - 12 April, WITpress, 2013, pp.123–132.
19. Andreev V.I., Avershyev A.S. Two-dimensional Problem of Moisture Elasticity of Inhomogeneous Spherical Array with Cavity. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vols. 580-583, pp.812-815.
20. Andreev V.I., Avershyev A.S. Nonstationary Problem Moisture Elasticity for Nonhomogeneous Hollow Thick-walled Sphere. Advanced Materials Research, *Trans Tech Publications*, Switzerland, 2014, vol. 838, pp.254-258.
21. Avershyev A.S., Andreev V.I. Two-dimensional problem moisture elasticity for inhomogeneous flat annular area. Applied Mechanics and Materials. *Trans Tech Publications*, Switzerland, 2014, vol. 583, pp.2974–2977.
22. Biot M. A. General Theory of Three-Dimensional consolidation. *I. Appl. Phys.* 12. 1941, pp.155-164.
23. Carillo N. Simple Two and Three Dimensions cases in the Theory of Consolidation of Soils. *I. of Math. Phys.* 21. 1942, pp.1-5.
24. Gibson R. E. The progress of consolidation in a clay layer increasing in thickness with time “Geotechnique”, 1958, no.8, pp.68-95.

References:

1. Agakhanov G.E. The mathematical modeling of the impact of pore pressure on the ground. *Nauchnoe obozrenie*, [Scientific Review], 2014, no.12, pp.733 - 736. (In Russian)
2. Agakhanov G.E. About mathematical modelling of influence of steam pressure upon soil. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta. Tehnicheskie nauki. [*Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences*], 2015, vol.36, no.1, pp.8-16. (In Russian) DOI:10.21822/2073-6185-2015-36-1-8-16.
3. Agakhanov G.E. Mathematical modeling of humidity stress in the soil half. *Naukovedenie*, 2015, vol.7, no.3. Access mode:naukovedenie.ru/12TVN315.pdf. № GR FS 77 - 39378.(In Russian)
4. Agakhanov G.E., Melekhin V.B. Simulation of deformation of subgrade of highways. *Nauchnoe obozrenie*, 2016, no. 4, pp.90 - 93. (In Russian)
5. Agakhanov E.K., Agakhanov M.K. On the modeling action of body forces in uprugopolzuchem body. *Izvestiya Vuzov. Severo-Kavkazskii region. Tekhnicheskie nauki*. [Proceedings of the universities. North-Caucasian region. Technical science]. 2005, no.1, pp. 25- 26. (In Russian)
6. Agakhanov E.K., Agakhanov M.K. Equivalent effect to incompressible material. *Industrial and civil construction*, Moscow, 2015, no.11, pp. 40- 43. (In Russian)
7. Agakhanov E.K., Agakhanov M.K. Subgrade trapezoidal Vyra Zoom under its own weight. *Nauchnoe obozrenie*, Moscow, 2016, no.12, pp 67-71. (In Russian)
8. Agakhanov E.K. On the development of complex methods for solving problems in mechanics de-formed rigid body. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta. Tehnicheskie nauki. [*Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences*], 2013, vol.29, no 2, pp. 39- 45. (In Russian)
9. Godunov S.K. On the numerical solution of boundary value problems for systems of ordinary differential equations. *Successes of Mathematical Sciences*, 1961. XVI, vol. 99, no.3, pp.171-174. (In Russian)
10. Rzhantsyn A.R. The theory of creep. Moscow: *Stroyizdat*, 1968, pp.145- 147. (In Russian)

11. Ter-Martirosyan Z.G., Ter-Martirosyan A.Z. VAT saturated grounds finite width foundations. *Grounds, foundations and soil mechanics*. Moscow:, 2014, no.16, pp.6-10. (In Russian)
12. Florin V.A. Fundamentals of Soil Mechanics, *Moscow: Stroyizdat*, 1959, vol.1, pp. 157- 165. (In Russian)
13. Hesin G.L. Photoelasticity method. *Moscow: Stroyizdat*, 1975, vol.3, pp.93- 100. (In Russian)
14. Tsytovich N.A., Zaretsky Y.K., Malyshev M.V., Abel M.Yu, Ter-Martirosyan Z.G. Forecast sediment rate facilities grounds. *Moscow: Stroyizdat*, 1967, pp.189- 190. (In Russian)
15. Andreev V.I., Avershyev A.S. On accounting mechanical heterogeneity in solving problems of moisture transfer in soils. *Proc. of the XXI Russian - Slovak - Polish seminar "Theoretical foundation of civil engineering"*, 2012, pp. 87-92. (In Russian)
16. Andreev V.I., Avershyev A.S. Stationary Problem of Moisture-elasticity for In- homogeneous thick-walled Shells. *Advanced Materials Research*. Trans Tech Publications, Switzerland, 2013, vols. 671-674, pp. 571-575.
17. Andreev V.I., Avershyev A.S. About Influence of Moisture on Stress State of Soil taking into account Inhomogeneity. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2013, vol. 9, no.3, pp. 14-20.
18. Andreev V.I., Avershyev A.S. Nonstationary problem moisture elasticity for nonhomogeneous hollow thick-walled cylinder. *Transactions of International Conference on Fluid Structure Interaction 10 - 12 April, 2013*. WITpress, pp. 123–132.
19. Andreev V.I., Avershyev A.S. Two-dimensional Problem of Moisture Elasticity of Inhomogeneous Spherical Array with Cavity. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vols. 580-583, pp. 812-815.
20. Andreev V.I., Avershyev A.S. Nonstationary Problem Moisture Elasticity for Nonhomogeneous Hollow Thick-walled Sphere. *Advanced Materials Research*, *Trans Tech Publications*, Switzerland, 2014, vol. 838, pp. 254-258.
21. Avershyev A.S., Andreev V.I. Two-dimensional problem moisture elasticity for inhomogeneous flat annular area. *Applied Mechanics and Materials*. *Trans Tech Publications*, Switzerland, 2014, vol. 583, pp. 2974–2977.
22. Biot M. A. General Theory of Three-Dimensional consolidationt. *I. Appl. Phys.* 12. 1941, pp.155-164.
23. Carillo N. Simple Two and Three Dimensions cases in the Theory of Consolidation of Soils. *I. of Math. Phis.* 21. 1942, pp.1-5.
24. Gibson R. E. The progress of consolidation in a clay layer increasing in thickness with time "Geotechnique", 1958, no.8, pp.68-95.

Сведения об авторе

Агаханов Гаджи Элифханович – аспирант кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем.

Authors information.

Gadzhi E.Agakhanov – postgraduate student, Department of computing software and automated systems.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 12.06.2016.

Принята в печать 20.08.2016.

Conflict of interest

The author declare no conflict of interest.

Received 12.06.2016.

Accepted for publication 20.08.2016.