УДК 1+539.215

ЗАДАЧИ ТЕОРИИ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ, РЕШАЕМЫЕ В ГИПЕРГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ФУНКЦИЯХ КУММЕРА

[1]Дасибеков А., [1]Юнусов А.А., [1]Айменов Ж.Т., [2]Юнусова А.А.

[1]Южно-казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Шымкент, e-mail: Yunusov1951@mail.ru;

[2]Казахская академия труда и социальных отношений, Алматы

При прогнозировании осадок оснований сооружений возникает необходимость одновременного учета свойства консолидации, ползучести и старения скелета грунта. В связи с этим в данной работе исследован процесс уплотнения наследственно-стареющих многофазных грунтовых оснований. При этом упругоползучее свойство земляных масс подчиняется теории Г.Н. Маслова-Н.Х. Арутюняна. В качестве расчетной схемы рассмотрен грунтовой массив в виде параллелепипеда с водоупором на глубине h и с водонепроницаемыми стенками на $2l_1$ и $2l_2$, находящегося под действием равномерно распределенной нагрузки с интенсивностью q, приложенной на части поверхности этого параллелепипеда со сторонами $2a$ и $2b$. Эта задача исследована и для сосредоточенной силы. Полученные решения задачи отражают распределения давления в поровой жидкости и напряжений в скелете грунта. Они дают возможность определить вертикальные перемещения точек верхней поверхности уплотняемого массива.

Ключевые слова: Процесс ,уплотнения, грунт, параллелипед, давления,основания,фундамент, граничные условия, непрерывность функций, дифференциалные уравнения, гипергеометрические уравнения

PROBLEMS OF SOIL COMPACTION THEORY SOLVING IN KUMMER HYPERGEOMETRIC FUNCTIONS

[1]Dasibekov A., [1]Yunusov A.A., [1]Aymenov Z.T., [2]Yunusova A.A.

[1]South Kazakhstan State University, Shymkent city, e-mail: Yunusov1951@mail.ru;

[2]Kazakh academy of work and social relations, Alma-Ata

In forecasting of outflanking of structure bases there is need in simultaneous consideration of properties of consolidation, creeping and ageing of soil skeleton. In this connection this work studies compaction process of hereditary-ageing multiphase soil foundations. At this, elastic-creeping property of earth masses is subjected to G.N. Maslov – N.Kh. Arutyunyan theory. In the quality of analytic model there has been considered soil mass in the form of parallelepiped with confining bed at depth h and with waterproofing walls on $2l_1$ and $2l_2$, situated under the action of blanket load with intensity q, applied on the part of this parallelepiped surface with legs $2a$ и $2b$. This problem has also been studied for concentrated force. Received solutions of the problem indicate pressure distribution in the porous fluid and strains in the soil skeleton. They give possibility to determine vertical displacements of the compactible mass upper surface points.

Keywords: Compaction process, soil, pressure, parallelepiped, foundation, ground work, boundary conditions, continuity of functions, differential equations, hypergeometric equations

При консолидации глинистого грунта из-за низкой его водопроницаемости затрудняется отток воды, выжимаемой из пор. Поэтому некоторая часть напряжений воспринимается водой, содержащейся в порах, что приводит к образованию порового давления. Поскольку сами напряжения в различных точках грунтового основания неодинаковы, то в них будут различны и величины порового давления.

Во многих случаях деформация уплотнения является одной из существенных частей общей деформации. Поэтому разработка вопросов уплотнения имеет весьма большое значение в механике грунтов и ее приложениях к гидросооружениям. В частности, при исследованиях уплотнений ядер или экранов высоких плотин смешанного типа, выполняемых из связного грунта, изучение вопросов устойчивости откосов земляных сооружений или оснований крупнейших промышленно – гражданских, гидротехнических и мелиоративных сооружений при нестабилизированном состоянии грунта и т.п.

Во всех выше перечисленных случаях, исследование процесса уплотнения сводится к изучению изменения во времени дополнительных давлений в воде (или напора) и напряжений в скелете грунта, вызванных приложением той или иной уплотняющей нагрузки [2-4, 7].

В целом, при возведении сооружения, под действием нагрузок, передаваемых от него основанию, происходит консолидация грунтов. Благодаря чему, сопротивление сдвигу грунтов основания возрастает. Причем устойчивость гидротехнического и крупнопромышленных сооружений на глинистых грунтовых основаниях во многом зависит от сопротивления грунта сдвигу. Однако из-за замедленности процесса консолидации нарастание сопротивления сдвигу происходит медленно и обычно не заканчивается в период ввода сооружения в эксплуатацию, что может отрицательно повлиять на устойчивость сооружений и в последующем в период эксплуатации. Причем сам процесс уплотнения относится к многомерным задачам теории консолидации и ползучести многофазных грунтов [5].

В связи с этим ниже решим задачу теории консолидации земляных масс применительно к уплотнению слоя упругоползучего грунта с учетом его свойства старения. Для этого рассмотрим грунтовой массив в виде параллелепипеда с водоупором на глубине h и с водонепроницаемыми стенками на $2l_1$ и $2l_2$, находящегося под действием равномерно распределенной нагрузки с интенсивностью q, приложенной на части поверхности этого параллелепипеда со сторонами $2a$ и $2b$. Применительно к этой схеме исследуемую задачу сформулируем так: требуется найти непрерывную функцию, отражающую изменение давлений в поровой жидкости и удовлетворяющую в области

$$\sigma\left(|x_1| < \ell_1,\ \ |x_2| < \ell_2,\ \ 0 < x_2 < h,\ t > 0\right)$$

дифференциальному уравнению вида

$$\frac{\partial^2 P(M,T)}{\partial T^2} + \gamma_1\left[\left(1+3a^{(3)}a_1c_0\right)h^2/c_{3v} + 3a^{(3)}A_1/T\right]\frac{\partial P(M,T)}{\partial T} = \\ = \xi\left(\gamma_1 h^2/c_{3v} + \frac{\partial}{\partial T}\right)\nabla^2 P \qquad (1)$$

начальным

$$\left.\frac{\partial P(M,T)}{\partial T}\right|_{T=T_1} + \gamma_1\left[3a_1a^{(3)}c_0h^2/c_{3v} + 3a_1a^{(3)}A_1/T\right]P(M,T) = K^2\nabla^2 P + \\ +3a_1a^{(3)}\gamma_1\left(\frac{h^2}{c_{3v}} + \frac{A_1}{T_1}\right)\cdot\left(\frac{\sigma_{kk}^*}{3} + P^*\right) \qquad (2)$$

$$P(M,T) = \frac{1}{\omega}\left(\frac{\sigma_{kk}^*}{3} + P^*\right), \qquad (3)$$

и граничным

$$\alpha^{(3)}\frac{\partial P}{\partial x_1} + \beta^{(3)}P = 0; \quad \begin{cases} \beta^{(3)} = 0 \ \text{ при } \ \xi = \dfrac{x_1}{\ell_2} = \pm 1 \ \text{ или } \ \dfrac{x_2}{\ell_2} = \eta = \pm 1 \\ \text{или } \dfrac{x_3}{\ell_3} = \mu = 0 \\ \alpha^{(3)} = 0 \ \text{ при } \ \mu = 1 \end{cases} \qquad (4)$$

условиям, соответствующим для исследуемой задачи. Здесь все величины записаны относительно безразмерных координат и

$$a^{(3)} = \left[3a_0 + \beta(1+\varepsilon_{cp})\cdot(1+2\xi)\right]^{-1}, \\ c_{3v} = k(1+\varepsilon_{cp})\cdot(1+2\xi)\cdot a^{(3)}, \qquad T = c_{3v}t/h^2. \qquad (5)$$

Кроме этих условий в силу симметрии, функция $P(x,h,m)$ должна быть четной относительно x и h в отдельности.

Начальное распределение порового давления в слое исследуемого массива для трехфазной земляной массы относительно безразмерных координат имеет вид:

$$P_0(\xi,\eta,\mu)=\frac{q}{\omega}\left[\frac{ab}{\ell_1\ell_2}+\frac{2b}{\ell_2}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{\sin\frac{m\pi a}{\ell_1}}{m\pi}\cdot\frac{ch\frac{m\pi h}{\ell_1}\mu}{ch\frac{m\pi h}{\ell_1}}\cos m\pi\xi+\frac{2a}{\ell_1}\times\right.$$

$$\times\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\sin\frac{n\pi b}{\ell_2}}{n\pi}\cdot\frac{ch\frac{n\pi h}{\ell_2}\mu}{ch\frac{n\pi h}{\ell_2}}\cos n\pi\eta+4\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\sin\frac{m\pi a}{\ell_1}}{m\pi}\cdot\frac{\sin\frac{n\pi b}{\ell_1}}{n\pi}\times$$

$$\left.\times\frac{ch(\alpha_{mn}h\mu}{ch(\alpha_{mn}\lambda)}\cdot\cos m\pi\xi\cos n\pi\eta\right]. \qquad (6)$$

Здесь при выводе равенства (1) и (2) в качестве уравнения состояния упругоползучих однородных грунтов принято выражение вида:

$$\varepsilon_0-\varepsilon(M,t)=\frac{a_0}{1+2\xi}\cdot(1-K^*)\theta(M,t), \qquad (7)$$

где

$$K^*\theta(M,t)=E\int_{\tau_1}^{t}\theta(M,t)\cdot K(\tau,t)d\tau; \qquad (8)$$

$$K(\tau,t)=\frac{\partial}{\partial\tau}\left[\frac{1}{E}+C(\tau,t)\right];$$

$$C(\tau,t)=\varphi(\tau)\cdot a_1\left[1-e^{-\gamma_1(t-\tau)}\right], \qquad (9)$$

где φ – функция старения, зависящая от физико-механических свойств уплотняемого грунта; a_1, γ_1 – параметры ползучести; ε_0 – начальный коэффициент пористости; ξ – коэффициент бокового давления; $\varepsilon(M,t)$ – коэффициент пористости для исследуемого момента времени t; E – модуль общей деформации уплотняемого грунта; a_0 – коэффициент сжимаемости грунта; $\theta(M,t)$ – сумма главных напряжений.

Уравнение, отражающее неразрывность твердой и жидкой фаз грунта согласно [1] принято в виде:

$$\frac{\partial\varepsilon(M,t)}{\partial t}+\beta^{/}\left(1+\varepsilon_{cp}\right)\frac{\partial P(M,t)}{\partial t}=\nabla^2P(M,t)\cdot\gamma_b^{-1}\left(1+\varepsilon_{cp}\right), \qquad (10)$$

где $\nabla^2=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}$; β^1 – коэффициент объемного сжатия; $\varepsilon_{ср}$ – средний коэффициент пористости; $P(M,t)$ – давление в поровой жидкости; γ_b – объемный вес воды.

Условие равновесия нестабилизированного состояния уплотняемого грунтового массива, согласно основной модели В.А. Флорина[6] имеет вид:

$$\theta(M,t)=\theta^*(M)-n\left[P(M,t)-P^*(M)\right], \qquad (11)$$

Здесь θ^*, P^* – сумма главных напряжений и давление в поровой жидкости для стабилизированного состояния уплотняемого грунтового массива; x,y,z – координаты точки M.

Совместно рассматривая выражения (7)-(11) в безразмерных координатах получим (1)-(3). Решим эту систему уравнений применительно к граничным условиям (4). Причем выражение (6) является решением исследуемой задачи, соответствующим начальному моменту времени. Оно определено в безразмерных координатах как решение уравнения Лапласа, удовлетворяющее граничным условиям задачи.

Решение уравнения (1), удовлетворяющее граничным условиям (4), получим в виде:

$$P(\xi,\eta,\mu,T)=\frac{1}{\omega}\sum_{m=0}^{\infty}\sum_{n=0}^{\infty}\sum_{k=0}^{\infty}\left[c_{1mn}F(\alpha_{mnk};c;r_{mnk})+c_{2mn}F(\alpha_{mnk};c;r_{mnk})\right]\times$$

$$\times e^{-\beta_{mnk}T}T^{1-D}\cos m\pi\xi\cdot\cos n\pi\eta\cos\frac{(2k+1)\pi}{2}, \qquad (12)$$

где $\alpha_{mnk} = \beta_{mnk}(2-D)-(1-D)M_{mnk}$; $\beta_{mnk} = 0,5\left(M_{mnk} - \sqrt{M_{mnk}^2 - 4N_{mnk}}\right)$;

$$M_{mnk} = \gamma_1\left[\left(1+3^{(3)}a_1c_0\right)h^2 / c_{3\nu} + h^2\lambda_{mnk}^2\right]; \quad c = 2-D;$$

$$N_{mnk} = \gamma_1 h^4 \lambda_{mnk}^2 / c_{3\nu}; \quad D = 3a^{(3)}a_1A_1;$$

$$r_{mnk} = \sqrt{M_{mnk}^2 - N_{mnk}T}$$

$$\lambda_{mnk} = \left[\beta_{mnk}\left(2-D\ \right)-\left(1-D\ \right)\cdot M_{mnk}\right] \Big/ \sqrt{\left[M_{mnk}\right]^2 - 4N_{mnk}}. \quad (13)$$

Здесь произвольные постоянные c_{1mnk} и c_{2mnk} находятся из начальных условий (2) и (3). Использовав их, имеем:

$$\left.\begin{aligned}
&c_{1mnk} = -8e^{\beta mnkT_1}T_1^{D-1}J\left(AG - q_{2mnk}/\omega\right)\Big/\left(F_1q_{2mnk} - Gq_{1mnk}\right),\\
&c_{2mnk} = -8e^{\beta mnkT_1}T_1^{D-1}J\left(AF - q_{1mnk}/\omega\right)\Big/\left(Fq_{2mnk} - Gq_{1mnk}\right),\\
&q_{1mnk} = F'(\alpha_{mnk};c;r) + F(\alpha_{mnk};c;r)\cdot\left(\frac{1-D}{T_1} - \beta + A + h^2\lambda_{mnk}^2\right),\\
&q_{2mnk} = \left(3a_1a^{(3)}c_0h^2/c_{3\nu} + 3a_1a^{(3)}/T_1\right)\cdot G',\\
&J = \int_0^1\int_0^1\int_0^1\left[\theta^*(\xi,\eta,\mu)/3 + P^*(\xi,\eta,\mu)\right]\cdot\cos m\pi\xi\cdot\cos n\pi\eta\cdot\cos\frac{2k+1}{2}\mu,
\end{aligned}\right\} \quad (14)$$

где функции $F(\alpha_{mnk};c;\ r_{mnk})$ и $G(\alpha_{mnk};c;\ r_{mnk})$ являются частными решениями вырожденного гипергеометрического уравнения относительно переменной $R_{mnk}(T)$

$$r_{mnk}\ddot{R}_{mnk} + \left(c\ - r_{mnk}\right)\dot{R}_{mnk} - \lambda_{mnk}R_{mnk} = 0. \quad (15)$$

Причем частные решения уравнения (15) $F\left(\lambda_{mnk};C;r_{mnk};T\right)$ и $G\left(\lambda_{mnk};C;r_{mnk};T\right)$ называются вырожденными гипергеометрическими функциями первого и второго родов. При этом $F\left(\lambda_{mnk};C;r_{mnk};T\right)$ называется функцией Куммера. Она разлагается в степенной ряд, сходящийся при всех r_{ij}.

$$F\left(\lambda_{mnk};C;r_{mnk};T\right) = \sum_{k=0}^{\infty}\frac{(\lambda_{mnk})k}{(C)_k\,k!}\cdot r_{mnk}^k, \quad (16)$$

Функция $G(\alpha_{mnk};c;r_{mnk})$ через $F\left(\lambda_{mnk};C;r_{mnk};T\right)$ выражается следующим образом:

$$G\left(\lambda_{mnk};C;r_{mnk};T\right) = \frac{\Gamma(1-c)}{\Gamma(\lambda_{mnr}-c+1)}F\left(\lambda_{mnr};C;r_{mnk};T\right) - \frac{\Gamma(1-c)}{\Gamma(\lambda_{mnk})}r_{mnk}^{1-c}F\left(1+\lambda_{mnk}-\eta_{mnk};1-c;\eta_{mnr}\right),$$

где Г – гамма функция.

После определения давления в поровой жидкости осадку уплотняемого слоя грунта можно вычислить по формуле:

$$S = \varepsilon_0^{(3)}\int_0^1\left[\theta(\xi,\eta,\mu,T) + a_1\gamma_1\int_{T_1}^{T}\theta(\xi,\eta,\mu,\tau)\cdot e^{-\gamma_1(T-\tau)}d\tau\right]d\mu, \quad (17)$$

где

$$\theta(\xi,\eta,\mu,T) = 3\left[\frac{1}{3}\theta^*(\xi,\eta,\mu) + P^*(\xi,\eta,\mu) - P(\xi,\eta,\mu,T)\right], \quad (18)$$

$$\varepsilon_0^{(3)} = h/(1+2\xi)\cdot(1+\varepsilon_0).$$

Выражения P_0 *и* P, входящие в последнюю зависимость, находятся из (6) и (12). Подставив их в (18) и (17) осадку слоя грунта представим в виде:

$$S(\xi,T) = \varepsilon_0^{(3)}\left[S_0^{(3)} + a_1\gamma_1 S_1^{(3)}\right], \tag{19}$$

где

$$S^{(3)} = \frac{ab}{\ell_1\ell_2} + \frac{2b\ell_1}{\ell_2 h}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{\sin\frac{m\pi a}{\ell_1}}{(m\pi)^2}th\frac{m\pi}{\ell_1}h\cos m\pi\xi + \frac{2b}{\ell_1 h}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{\sin\frac{n\pi b}{\ell_2}}{(n\pi)^2}th\frac{n\pi}{\ell_2}h\cos n\pi\eta +$$

$$+\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{\sin\frac{m\pi a}{\ell_1}}{m\pi h}\cdot\frac{\sin\frac{n\pi b}{\ell_2}}{n\pi}th(a_{mn}h)\cos m\pi\xi\cos(n\pi\eta), \tag{20}$$

$$S_0^{(3)} = S^{(3)} - 2\sum_{m=0}^{\infty}\sum_{n=0}^{\infty}\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-1)^k}{(2k+1)\pi}\left[C_{1mnk}F + C_{2mnk}G\right]\cdot e^{-\beta_{mnk}T}T^{1-D}\cos m\pi\xi\cos n\pi\eta,$$

$$S_1^{(3)} = S^{(3)}\frac{1}{\gamma_1}\left[1-e^{-\gamma_1(T-T_1)}\right] - 2\int_{T_1}^{T}\sum_{m=0}^{\infty}\sum_{n=0}^{\infty}\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-1)^k}{(2k+1)\pi}\left[C_{1mnk}F + C_{2mnk}G\right]\times$$

$$\times e^{-\beta_{mnk}T}T^{1-D}\cdot e^{-\gamma_1(T-T_1)}\cos m\pi\xi\cos n\pi\eta dT. \tag{21}$$

Таким образом, пространственная задача консолидации многофазного грунта с учетом его линейной ползучести и старения скелета, можно сказать, решена полностью. Выражения (12) и (19) при (20), (21) дают возможность установить закон изменения порового давления и осадку уплотняемого массива во времени и пространственных координатах. Причем? в эти решения, полученные в замкнутом виде, входят различные параметры грунта.

Анализ полученных решений на основе численных расчетов показал, что учет старения скелета приводит качественно к новым результатам теории уплотнения.

Следует заметить, что на основе выражений (6) – (21) можно получить решения задач и для других случаев нагружения грунтового основания. В частности давление в поровой жидкости (6) и (12) от сосредоточенной силы соответственно выглядит так:

$$P_0^{(c)} = \frac{Q}{\omega}\frac{1}{\ell_1\ell_2}\left[\frac{1}{4} + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{ch\frac{m\pi h}{\ell_1}\mu}{ch\frac{m\pi h}{\ell_1}}\cos m\pi\xi + \frac{1}{2}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{ch\frac{n\pi h}{\ell_2}\mu}{ch\frac{n\pi h}{\ell_2}}\cos n\pi\eta + \right.$$

$$\left. + \sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{ch(\alpha_{mn}h\mu)}{ch(\alpha_{mn}h)}\cos m\pi\xi\cdot\cos n\pi\eta\right], \tag{22}$$

$$P^{(0)} = \frac{Q}{\omega}\sum_{m=0}^{\infty}\sum_{n=0}^{\infty}\sum_{k=0}^{\infty}\left[C_{1mnk}F + C_{2mnk}\right]\cdot e^{-\beta_{mnk}T}T^{1-D}x$$

$$x\cos m\pi\xi\cdot\cos n\pi\eta\cos\frac{(2k+1)\pi}{2}\mu. \tag{23}$$

Выражения (20), (21) для данного случая при (22) и (23) имеют вид:

$$S_c^{(3)} = \frac{1}{\ell_1 \ell_2}\left[\frac{1}{4} + \frac{1}{2}\frac{\ell_1}{h}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{1}{mn} th\frac{m\pi h}{\ell_1}\cos m\pi\xi + \frac{1}{2}\frac{\ell_2}{h}\sum_{m=1}^{\infty}\frac{1}{n\pi} th\frac{n\pi h}{\ell_2}\cos n\pi\eta + \right.$$
$$\left. + \sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{th(\alpha_{mn}h)}{\alpha_{mn}h}\cos m\pi\xi \cdot \cos n\pi\eta\right], \qquad (24)$$

$$S_c^{(3)} = S_c^{(3)} - 2\sum_{m=0}^{\infty}\sum_{n=0}^{\infty}\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-1)^k}{(2k+1)\pi}\left[C_{1mnk}F + C_{2mnk}\right] \cdot e^{-\beta_{mnk}T} T^{1-D}\cos m\pi\xi \cos n\pi\eta,$$

$$S_1^{(3)} = S_c^{(3)} - \frac{1}{\gamma_1}\left[1 - e^{-\gamma_1(T-T_1)}\right] - 2\int_{T_1}^{T}\sum_{m=0}^{\infty}\sum_{n=0}^{\infty}\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-1)^k}{(2k+1)\pi}\left[C_{1mnk}F + C_{2mnk}\right] \times$$
$$\times e^{-\beta_{mnk}T} T^{1-D} \cdot e^{-\gamma_1(T-T_1)}\cos m\pi\xi \cdot \cos n\pi\eta dt. \qquad (25)$$

Анализ численных результатов показал, что продолжительность процесса уплотнения глинистого грунта почти не зависит от скорости фильтрации. Этот фактор видимо объясняется тем, что если проницаемость грунта очень велика, то процесс уплотнения в основном определяется его вязким сопротивлением. С другой стороны, если водопроницаемость грунта мала, то уменьшение объема грунта может произойти, лишь при условии отжатия воды из его пор. В то же время уменьшение объема грунта ведет к сжатию газообразной фазы и появлению порового давления. Возникновение порового давления влечет за собой фильтрацию воды через грунт.

Следовательно, если уменьшение объема грунтового массива больше по величине объема выжимаемой из его пор воды, то, по-видимому, происходит увеличение порового давления и увеличение фильтрационного расхода. Но в какой-то момент времени между ними наступает равновесие, тогда увеличение порового давления прекращается и после него начинается его уменьшение. При этом грунт малой плотности под действием внешней нагрузки способен в короткое время претерпеть большую осадку, что влечет за собой большое сжатие воздуха и как следствие этого, поровое давление принимает большое значение. Однако при увеличении плотности грунта деформация уплотняемого слоя значительно меньше, так как она осуществляется за счет более прочных слоев связанной воды. В этом случае газообразная составляющая сожмется меньше, чем при меньшей плотности грунта, следовательно, поровое давление в нем будет ниже.

Таким образом, процесс возникновения и возрастания порового давления является сложным процессом, зависящим не только от величины, приложенной внешней нагрузкой, но и от времени, плотности и водонасыщенности грунта. Причем, чем плотнее грунт и вязок, тем больше период времени, необходимый для достижения его стационарного напряженного состояния.

Список литературы

1. Арутюнян Н.Х. Некоторые вопросы теории ползучести. – М.: Гостехтеориздат, 1952. – 323 с.; т. 1,2. –357 с.; 1961. – 543 с.

2. Дасибеков А., Юнусов А.А., Сайдуллаева Н.С., Юнусова А.А. Консолидация неоднородных упругих и упругоползучих грунтов // Международный журнал экспериментального образования. – М., 2012. – № 8. – С. 67-72.

3. Дасибеков А., Юнусов А.А., Юнусова А.А., Айашова А. Уплотнение наследственно-стареющих неоднородных грунтовых оснований. // Научный журнал «Фундаментальные исследования». – М., 2013. – № 8, часть 2, – С. 323-331.

4. Дасибеков А., Юнусов А.А., Юнусова А.А. Двумерное уплотнение упругоползучих неоднородных грунтовых оснований // Научно-теоретический журнал «Успехи современного естествознания». – М., 2013. – № 10, – С. 234-239.

5. Тер-Мартиросян З.Г. Нуриджанян С.Ш. Нелинейная консолидация глин с учетом старения // Сборник трудов МИСИ, № 140, М., 1976.

6. Флорин В.А. Основы механики грунтов. – М.: Госстройиздат, 1959.

7. Ширинкулов Т.Ш. Расчет инженерных конструкций на упругом неоднородном основании. – Ташкент: ФАН, 1972. – 244 с.