УДК 627.43:622.833.5

ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛОТИНЫ И ЕЕ ИЗМЕНЕНИЕ ПРИ СОЗДАНИИ ВОДОХРАНИЛИЩА

К.Д.ИСМАИЛОВА, Б.ЖУМАБАЕВ
E.mail. ksucta@elcat.kg

Плотинанын алгачкы жана өзгөрүлгөн деформациялык абалынын эсебнин тыянагы берилди.

Даны результаты расчета начального и измененного деформированного состояния плотины, которые имеют место до и после образовании водохранилища.

Results of dam initial and changed deformed state calculation are given.

Аналитическая модель напряженного состояния плотин состоит из суммы трех полей напряжений /1-3/:

$$\sigma_x^{0} = \sigma_x^{П} + \sigma_x^{p} + \sigma_x^{в}, \quad \sigma_y^{0} = \sigma_y^{П} + \sigma_y^{p} + \sigma_y^{в}, \quad \tau_{xy}^{0} = \tau_{xy}^{П} + \tau_{xy}^{p} + \tau_{xy}^{в}. \tag{1}$$

Напряжения с индексом «*П*» – поле напряжений для полуплоскости y ≤ 0, которое возникает при совместном действии гравитационных γ и сейсмических сил $\gamma_c = \kappa_c \gamma$. Сила гравитации γ направлена вертикально вниз, т.е. в глубь массива земной коры, сейсмическая сила направлена из глубины к поверхности Земли и составляет острый угол δ с вертикальной осью Оy.

Интегралы от неоднородных дифференциальных уравнений равновесия для полуплоскости y ≤ 0 от действия объемных сил (γ, γ_c) имеют вид:

$$\sigma_x^{П} = A_1 y; \ \sigma_y^{П} = A_2 y; \ \tau_{xy}^{П} = A_3 y, \tag{2}$$

где $A_1 = \lambda\gamma(1-k_c\cos\delta)$; $A_2 = \gamma(1-k_c\cos\delta)$; $A_3 = k_c\cdot\gamma\sin\delta$. Поле напряжений σ_x^p, σ_x^p, τ_{xy}^p в (1) характеризуется с помощью двух комплексных потенциалов $\Phi(\zeta)$ и $\Psi(\zeta)$ /2/:

$$\overline{\omega'}(\zeta)\Phi(\zeta)+\overline{\omega}(\zeta)\,\Phi'(\zeta)+\kappa_1/(\zeta+i)^2+2\kappa_2/(\zeta+i)^3+3\kappa_3/(\zeta+i)^4+\kappa_4/(\zeta+t_0+i)^2+\omega'(\zeta)\Psi(\zeta)=A(\zeta);$$

$$\omega'(\zeta)\Phi(\zeta)-\overline{\kappa_1}/(\zeta-i)^2-2\overline{\kappa_2}/(\zeta-i)^3-3\overline{\kappa_3}/(\zeta-i)^4-\overline{\kappa_4}/(\zeta+t_0-i)^2 = B(\zeta). \tag{3}$$

Здесь $A(\zeta)$ и $B(\zeta)$ зависят только от внешних нагрузок N и T и вычисляются как интегралы типа Коши /3/:

$$A(\zeta)=\frac{1}{2\pi i}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{(N+iT)\overline{\omega'(t)}dt}{t-\zeta}; \qquad B(\zeta)=\frac{1}{2\pi i}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{(N-iT)\omega'(t)dt}{t-\zeta}, \tag{4}$$

где ζ принадлежит нижней полуплоскости переменного $\zeta=\xi+i\eta$. В соотношениях (3)-(4) формы и линейные размеры плотин учитываются оператором типа

$$\omega(\zeta) = \alpha\zeta + \omega_0(\zeta),$$

где

$$\omega_0(\zeta) = \sum_{\kappa=1}^{3}\frac{a_\kappa}{(\zeta-i)} + \frac{b_1}{\zeta+t_0-i}. \tag{5}$$

Решение задачи о начальном напряженном состоянии плотин дано вычислением интегралов типа Коши в (4). Они обозначены как

$$Ap(\zeta)=\left[T_5+T_7\omega_0'(\zeta)\right]\cdot\omega_0(\zeta)+$$
$$+T_6\left(\sum_{\kappa=1}^{3}\frac{C_\kappa}{(t-i)^\kappa}+\frac{C_4}{t+t_0-i}\right)-T_7\left(\sum_{\kappa=1}^{4}\frac{S_\kappa}{(t-i)^\kappa}+\frac{S_5}{t+t_0-i}+\frac{S_6}{(t+t_0-i)^2}\right);\qquad(6)$$
$$Bp(\zeta)=T_3\omega_0(\zeta)\omega_0'(\zeta)+T_2\omega_0(\zeta)+$$
$$+T_4\left(\sum_{\kappa=1}^{3}\frac{C_\kappa}{(t-i)^\kappa}+\frac{C_4}{t+t_0-i}\right)-T_3\left(\sum_{\kappa=1}^{4}\frac{S_\kappa}{(t-i)^\kappa}+\frac{S_5}{t-t_0-i}+\frac{S_6}{(t+t_0-i)^2}\right).$$

Таким образом, соотношения (3) с правой частью (6) определяют поле напряжений σ_x^p, σ_y^p, τ_{xy}^p. Сумма первых двух полей напряжений в (1) является начальным напряженным состоянием нагорных плотин, и на контурных точках плотины нормальные и касательные компоненты напряжений равны нулю.

Влияние водохранилища ($\sigma_x^в\sigma_y^в,\tau_{xy}^в$) на напряженно-деформированное состояние плотины, когда водохранилище заполнено водой, будут испытывать действие внешней нагрузки (давление воды, рис.1), распределенной согласно закону Паскаля:

$$N(t)=\gamma_b[y(t)-h];\qquad \text{при } t_2\le t\le t_1$$
$$N(t)=0;\qquad \text{при } -\infty<t<t_2 \text{ и } t_1<t\le\infty\qquad(7)$$

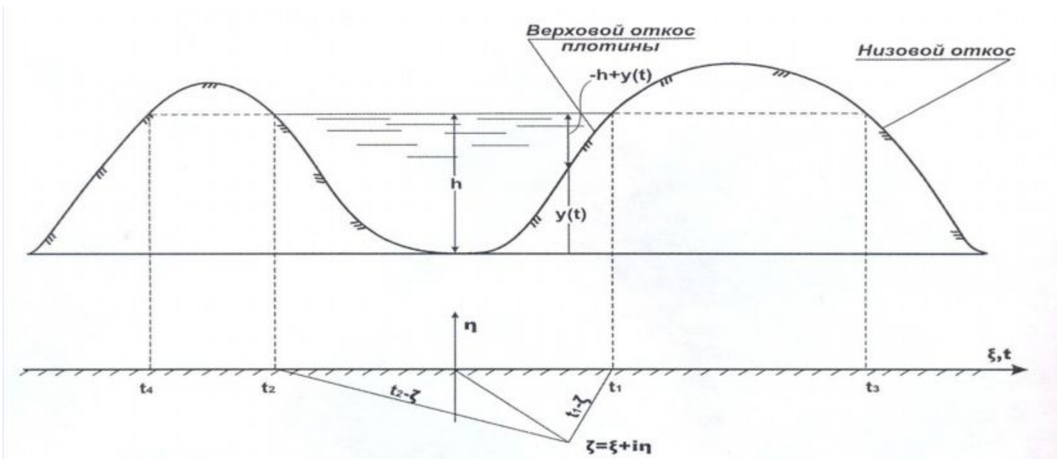

Рис. 1. Расчетная схема водохранилища

Интегралы от граничных условий (7) определены в виде:

$$Bв(\zeta)=\left[R_0+\sum_{k=1}^{7}\frac{R_{1k}}{(\zeta-i)^k}+\sum_{k=1}^{3}\frac{R_{2k}}{(\zeta+i)^k}+\sum_{k=1}^{3}\frac{R_{3k}}{(\zeta+t_0-i)^k}+\frac{R_{41}}{\zeta+t_0+i}\right]\frac{t_1-\zeta}{t_2-\zeta}+$$
$$\sum_{k=1}^{7}\frac{S_{1k}}{(\zeta-i)^k}+\sum_{k=1}^{3}\frac{S_{2k}}{(\zeta+i)^k}+\sum_{k=1}^{3}\frac{S_{3k}}{(\zeta+t_0-i)^k}+\frac{S_{41}}{\zeta+t_0+i}\qquad(8)$$
$$Aв(\zeta)=\left[r_0+\sum_{k=1}^{7}\frac{r_{1k}}{(\zeta+i)^k}+\sum_{k=1}^{3}\frac{r_{2k}}{(\zeta-i)^k}+\sum_{k=1}^{3}\frac{r_{3k}}{(\zeta+t_0-i)^k}-\frac{r_{41}}{(\zeta+t_0+i)}\right]\frac{t_1-\zeta}{t_2-\zeta}+$$
$$+\sum_{k=1}^{7}\frac{c_{1k}}{(\zeta+i)^k}+\sum_{k=1}^{3}\frac{c_{2k}}{(\zeta-i)^k}+\sum_{k=1}^{3}\frac{c_{3k}}{(\zeta+t_0-i)^k}-\frac{c_{41}}{(\zeta+t_0+i)}.$$

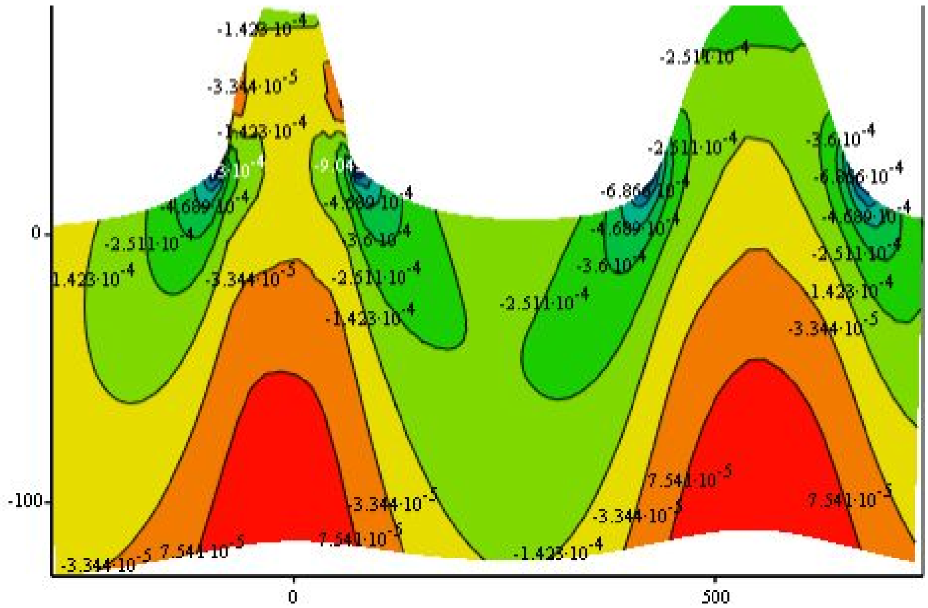

Рис. 2. Относительные горизонтальные деформации
отсобственного веса плотин

Расчеты деформированного состояния плотины Папанского водохранилища выполнены для случаев, когда плотина деформирована только под действием собственного веса и когда водохранилище заполнено на 80 % по высоте плотины. Результаты распределения изолиний равных значений горизонтальных относительных деформаций представлены на рис. 2, 3. Подобные изолинии равных значений вертикальных относительных деформаций и угловых относительных деформаций представлены на рис. 4-7.

Параметры оператора (5) приняты следующими: α=0,5; а1=0,9; а2=0,5i; а3=-0.6; в1=1; τ0=-12; τ1=11,586; т2=0,233; h=0.8; E=1,5·10^5 МПа; μ=0,4. Графические результаты оформлены в программной среде MATHCAD-15.

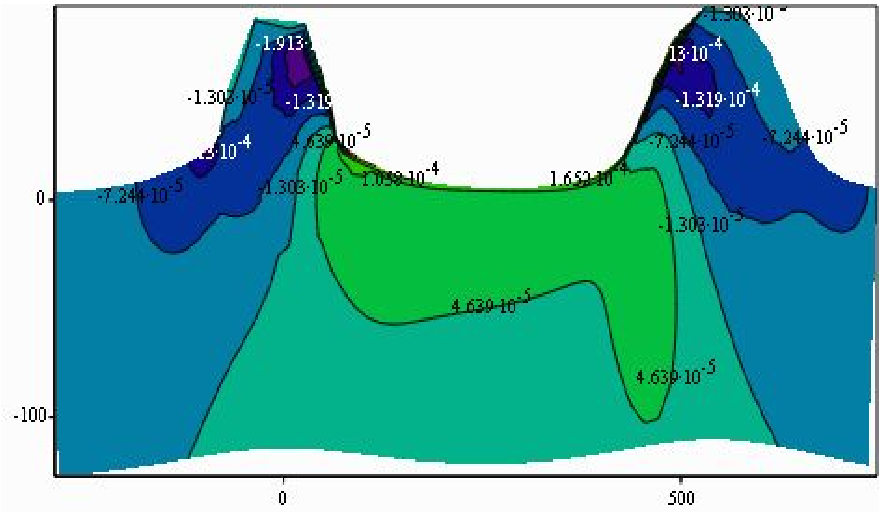

Рис. 3. Относительные горизонтальные деформации
отдавления воды заполненного на 80 % водохранилища

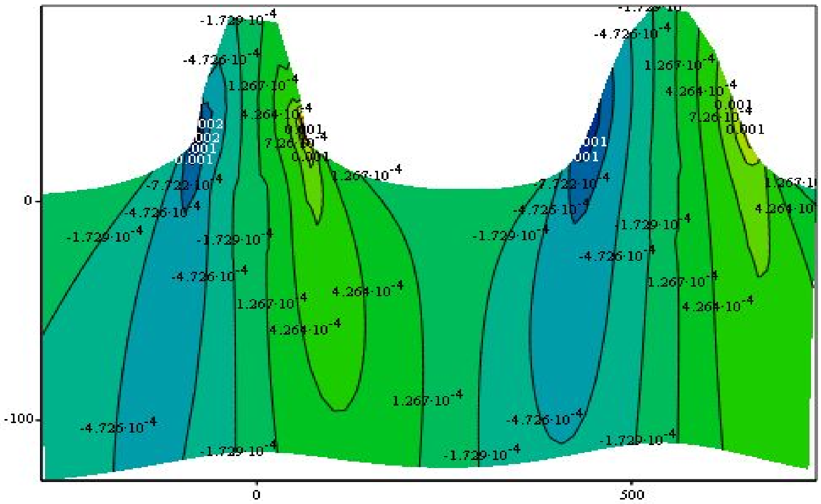

Рис. 4. Относительные вертикальные деформации
от собственного веса плотин

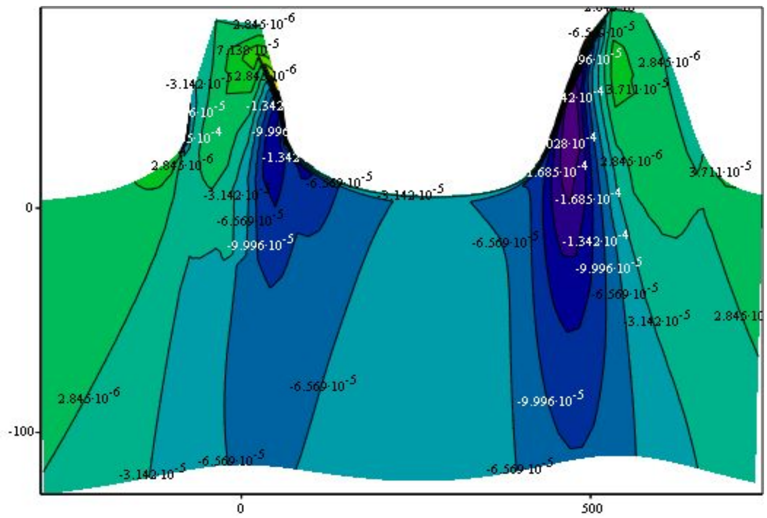

Рис. 5. Относительные вертикальные деформации
от давления воды заполненного на 80 % водохранилища

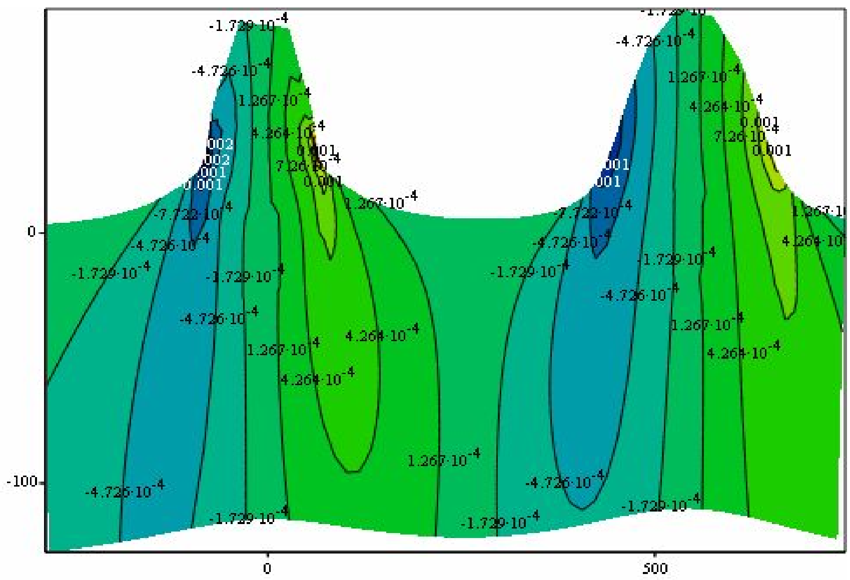

Рис. 6. Относительные угловые деформации от веса плотин

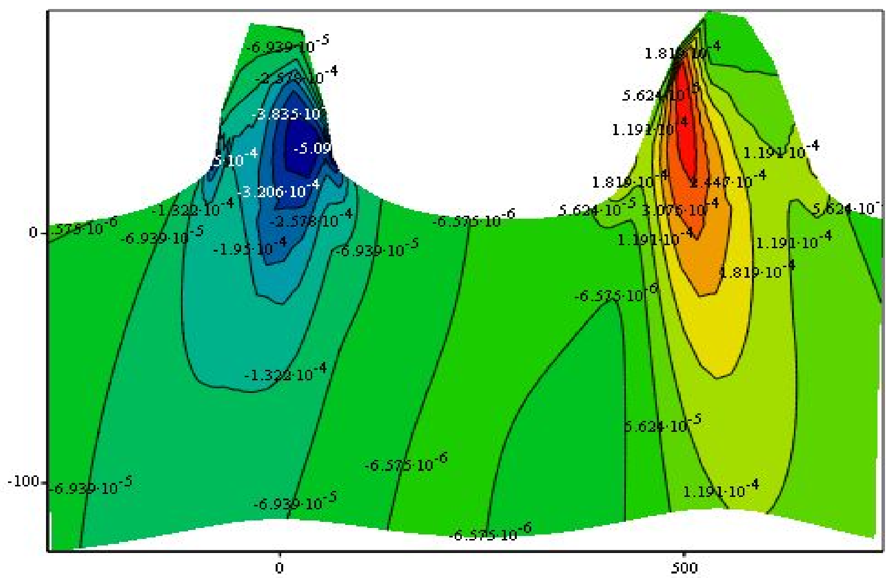

Рис. 7. Относительные угловые деформации от давления воды заполненного на 80 % водохранилища

Список литературы

1. Жумабаев Б., Исмаилова К.Д. Оценка геомеханического состояния плотины водоема //Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – 2005. – Т 5. – № 3. – С. 88-91.

2. Исмаилова К.Д., Жумабаев Б. Распределение напряжений в теле нагорных плотин в условиях действия сил гравитации //Вестник КАУ. – 2009. – №1(12), – С. 473-478.

3. Жумабаев Б., Исмаилова К.Д. Влияние водохранилища на напряженно-деформированное состояние плотины // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – Алма-Ата. –2005. – № 4. – С. 26-33.