

UO'K 539.3

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЫСОКОЙ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В РАМКАХ СПЕКТРАЛЬНОГО МЕТОДА

Проф. Салямова Клара Джаббаровна¹, Toshmatov Komil Alimgon o'gli²
 Институт механики и сейсмостойкости сооружений Академии наук¹,
 Агентство космических исследований и технологий² (Узбекистан)
 E-mail: klara_51@mail.ru, KTashmatov@cmspace.uz

Abstract: Надежная и безопасная эксплуатация грунтовых плотин особенно в сейсмических регионах республики требует от проектировщиков и исследователей постоянного совершенствования расчетных нормативных методов их расчета с целью выявления запасов прочности и устойчивости при различного рода нагрузок. Предлагается расчетная методика расчета напряженно-деформированного состояния грунтовой плотины проектируемой Пскемской ГЭС при сейсмических нагрузках в рамках спектрального метода, в соответствии с действующими нормами проектирования гидротехнических сооружений в сейсмических районах [1]. Конструктивные и кусочно-неоднородные физико-механические характеристики грунта тела сооружения были предоставлены ОАО «Гидропроект»

Key words: грунтовая плотина, нормы проектирования, Пскемская ГЭС, метод конечных элементов, напряжения.

ВВЕДЕНИЕ Действующие нормативные методы расчета гидротехнических сооружений, в частности грунтовых плотин на сейсмические воздействия основаны на спектральном методе, основанном на одномерной модели (консольный стержень). Основным недостатком этого метода является не учет конструктивных особенностей сооружения, а также кусочно-неоднородных характеристик грунтов, слагающего тела, как сооружения, так и его основания. Предлагаемая разработанная методика и алгоритм решения задач сейсмостойкости для грунтовых сооружений (дамб, плотин), основанном на численном решении задач механики деформируемого твердого тела (метод конечных элементов) позволяет в рамках норм учесть вышеуказанные характеристики, что позволяет в отличии от действующих норм проектирования [1] сделать прогноз напряженного состояния сооружения при тех или иных нагрузках. Имеется большое количество научных работ в этом направлении [2-8]. Разработанная методика решения задачи сейсмостойкости для сооружений численными методами в рамках действующих норм проектирования.

Метод решения. Для расчета грунтовой плотины на сейсмическое воздействие был принят спектральный метод, согласно которому расчетная сейсмическая нагрузка S_{ik} в выбранном направлении, приложенная к точке k и соответствующая i -му тону собственных колебаний сооружения, определяется по формуле [1]

$$S_{ik} = K_1 K_2 Q_k A \beta_i K_{wnik}. \tag{1}$$

Помимо различных коэффициентов, принимаемых по таблицам КМК [], в эту формулу входят Q_k — вес сооружения, отнесенный к точке k ; β_i — коэффициент динамичности, представляющий i -ю частоту собственных колебаний сооружения и n_{ik} — i -я форма собственных колебаниях сооружения.

Таким образом, первым шагом при расчете на сейсмическое воздействие является определение динамических характеристик сооружения – частот и форм собственных колебаний.

При определении динамических характеристик плоской модели системы «плотина – основание» также используется метод конечных элементов, а разрешающая система уравнений в этом случае представляется в виде однородной алгебраической системы [8]

$$([K] - \omega^2 [M]) \{q\} = 0 \tag{2}$$

где $[K]$, $[M]$ – матрицы жесткости и масс системы, получаемые в процессе конечно-элементной дискретизации; ω – собственные частоты и $\{q\}$ – вектор собственной формы. Два последних параметра определяются в ходе решения проблемы собственных значений (2). После их нахождения определяется сейсмическая нагрузка S_i (в зависимости от количества учитываемых форм) и решение задачи о напряженно-деформированном состоянии плотины при сейсмическом воздействии сводится к решению статической задачи

$$[K]\{u\}=\{S_i\} \tag{3}$$

Ниже приведены результаты расчета плотины на сейсмическое воздействие с учетом первой формы.

Геометрические параметры модели грунтовой плотины следующие: высота $H=200\text{м}$; ширина гребня 10м ; коэффициенты заложения откосов: верхового $m_1=2.55$, низового – $m_2=2.25$, симметричного ядра $m_я=0,2$. Физико – механические характеристики материалов для каждого участка плотины взяты из проектной документации и представлены в таблице

Необходимые для расчета характеристики – модуль Юнга E грунтов определялся, исходя из формулы, отражающей скорость распространения поперечной волны $v_s = \sqrt{\frac{E}{2\gamma(1+\mu)}}$, в которой $v_s = 500\text{м/с}$; γ - плотность грунта различной степени увлажнения (из таблицы 1); коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$ для всех категорий грунта плотины.

Таблица 1. Расчетные характеристики грунтов в теле и основании проектируемой Пскемской плотины.

NN слоя	Наименование грунтов	$\gamma_{\text{ест.}}$, т/м ³	$\gamma_{\text{нас.}}$, т/м ³	φ	C , т/м ²
1	Алеврит	2,37	2,42	31	5,00
2	Аллювий	2,15	2,20	39	-«-
3	Крупно-блочный камень	1,95	2,23	42	-«-
4	Упорные призмы из камня	1,95	2,23	39	-«-
5	Суглинок	1,72	2,11	24	2,00

Полученная в результате решения системы (2) основная частота составила $\omega_1=0,728\text{Гц}$, соответствующий ей период равен $T=1,37\text{сек}$. Основная форма собственных колебаний плотины показаны на рис.1 и представляет собой сдвиг плотины в поперечном направлении.

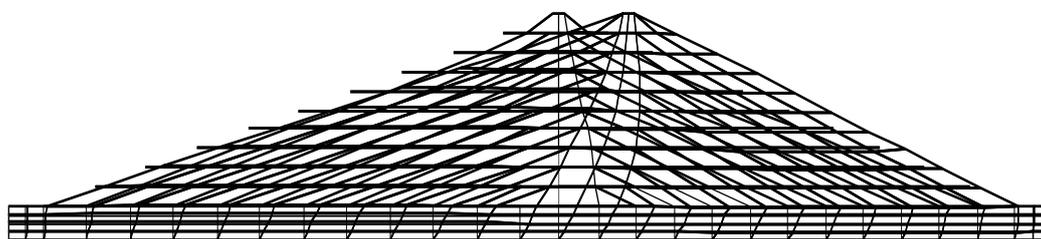


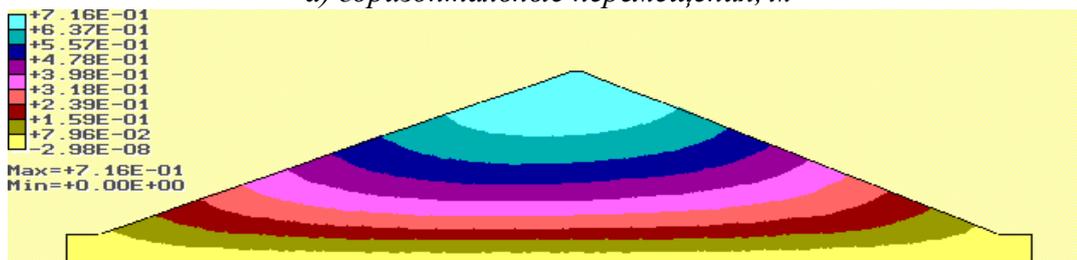
Рис.1 Первая форма собственных колебаний Пскемской плотины с частотой $\omega=0,728$ Гц и периодом $T=1.37\text{сек}$

В результате подстановки вектора формы η_1 , коэффициента динамичности $\beta_1 \sim 1/T$ в формулу сейсмической нагрузки S_1 (1) и решения полученной системы (3) определяется напряженное состояние плотины, вызванное данной сейсмической нагрузкой.

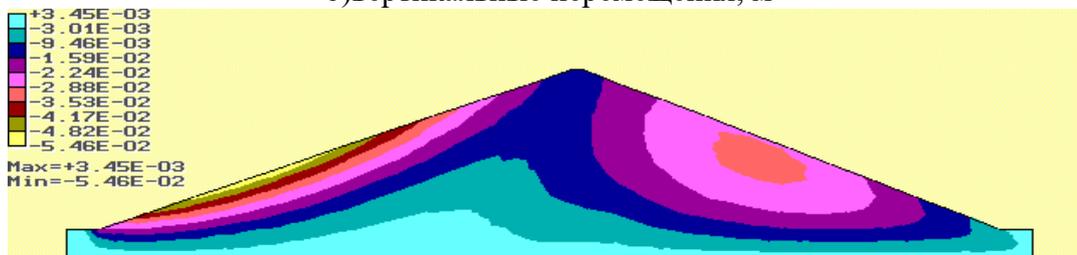
Следует заметить, что кроме указанных параметров в формулу сейсмической нагрузки (1) входят и другие коэффициенты. Но поскольку задача решалась в упругой линейной постановке, то изменение этих коэффициентов, вызывая пропорциональное изменение компонентов напряженно-деформированного состояния системы, не влияет на значение коэффициента запаса прочности K . Этот коэффициент выражается дробью, а пропорциональное увеличение числителя и знаменателя не меняет итогового значения дроби.

Обсуждение результатов. Изолинии перемещений, напряжений и коэффициент запаса прочности рассматриваемой плотины при сейсмическом воздействии приведены на рис.2. Здесь также учитывалась и гидростатическая нагрузка на верховой откос.

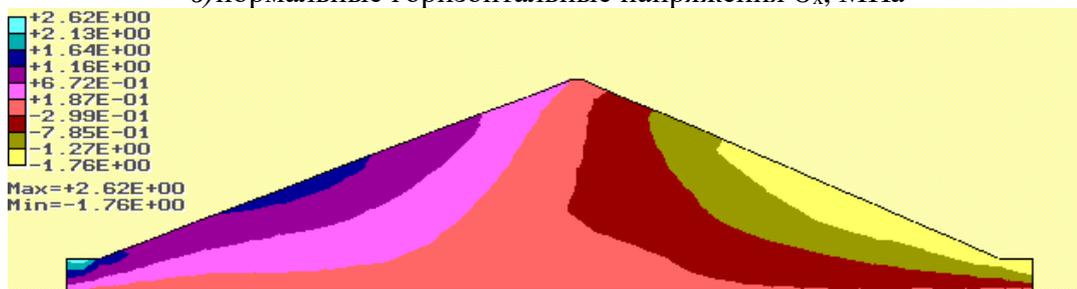
а) горизонтальные перемещения, м



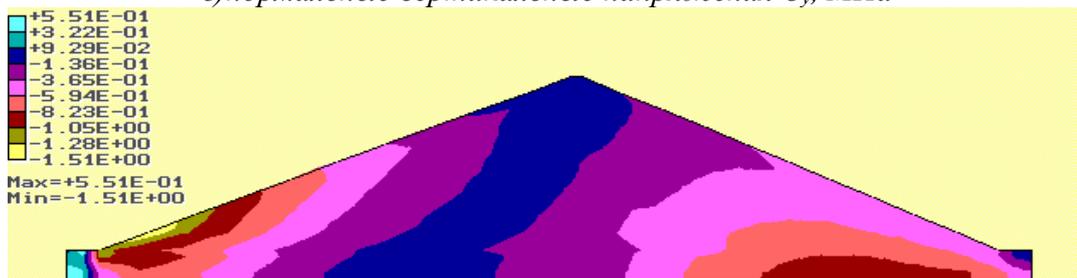
б) вертикальные перемещения, м



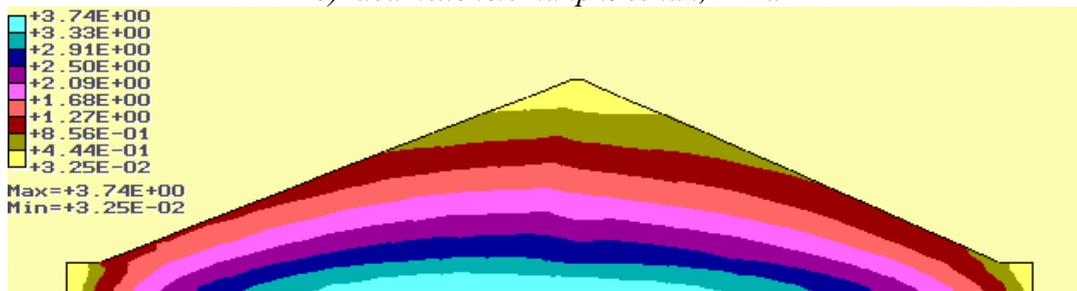
в) нормальные горизонтальные напряжения σ_x , МПа



г) нормальные вертикальные напряжения σ_y , МПа



д) касательные напряжения, МПа



и) распределений изолиний коэффициента запаса прочности K

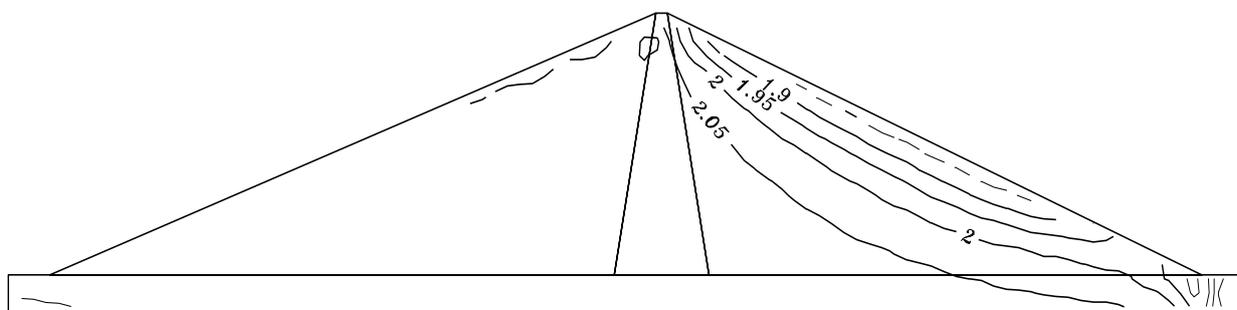


Рис.2. Компоненты напряженно-деформированного состояния в плотине при сейсмическом воздействии и гидростатическом давлении на верховой откос

Обсуждение результатов. Полученные результаты вычислений показывают, что при горизонтальном сейсмическом воздействии плотина совершает поперечные колебания (рис.1). При этом горизонтальные напряжения σ_x (рис.2в) достигают величины $\pm 1,6$ МПа на откосах, где положительный указывает на растяжение верхового, а отрицательный – на сжатие низового откоса. Максимальные вертикальные напряжения σ_y отмечаются в нижней части верхового откоса ($-1,5$ МПа) (рис.2), где достигается максимум гидростатического давления. Максимальные касательные напряжения (около 3 МПа) (рис.2) проявляются в основании плотины и на поверхности низового откоса, где в большей степени велика опасность потери прочности при сдвиге. Тем не менее, коэффициент запаса прочности K (рис.7и) остается достаточно высоким ($K > 1$), что свидетельствует о достаточном запасе прочности откосов Пскемской плотины.

Выводы:

- разработана методика и комплекс прикладных программ по расчету на сейсмические воздействия совмещающий решение задач по определению динамических характеристик численными методами совместно с действующими нормативными методами;

- решена задача по оценке прочности рассматриваемой грунтовой плотины при основных статических и сейсмических нагрузках, с учетом конструктивных особенностей плотины и увлажнения грунтов и гидростатики.

Работа сделана на основе с х/д между институтом механики и СС АН РУз и АО Гидропроект.

Список литературы:

ШНК 2.06.11-04 Строительство в сейсмических районах. Гидротехнические сооружения. Госкомархитекстрой. Ташкент.2004.54р.

Salyamova K D., Rumi D.F., Turdikulov Kh.X.. Analysis of seismic stability of retaining earth structures with account of dissipative properties of soil. European science review 11–12 November–December.V 1 Vienna. 2018.P. 81-84.

Мирсаидов М.М. Теория и методы расчета грунтовых сооружений на прочность и сейсмостойкость. Ташкент: Фан., 2010.312р.

Султанов К.С., Хусанов Б.Э. Уравнения состояния просадочных грунтов с учетом увлажненности. Основания, фундаменты и механика грунтов. 2001.N 3. P.7-11.

Салямова К.Д., Руми Д.Ф. Динамика грунтового гидротехнического сооружения с учетом реологических свойств грунта, Научно-теоретический журнал Вестник БГТУ ISSN2071-7316. 2015.N 3.P.16-35.

Салямова К.Д., Руми Д.Ф., Турдикулов Х.Х. Численный расчет напряженно-деформированного состояния грунтовой плотины при основных нагрузках с учетом неоднородного основания//Строительные материалы и изделия. 2019, Т.2, №7. С.48-57.

Салямова К.Д., Руми Д.Ф. Численный анализ напряженно-деформированного состояния системы «грунтовое сооружение-основание», Ж. Сибирского Федерального университета. СФУ. Техника. Технологии. 2016.N9. p.516-535.

Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике, М., Мир.1975.541р.