

УДК: 624.042.7:699.841:627.8.042.7

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВИВШИХСЯ КОЛЕБАНИЙ ГРУНТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

*Ш.О. Худайназаров - к.т.н., доцент, Б.Ш. Юлдашев - ст. преподаватель,
Б.Х. Уринов - ст. преподаватель, Ж.А. Ярашов - докторант PhD, Э.С. Тошматов - ассистент
Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства*

Аннотация

В статье приводятся методика, алгоритм решения задач об установившихся вынужденных колебаниях грунтовых плотин с учетом линейно вязкоупругих свойств грунта, для их описания использована наследственная теория вязкоупругости Больцмана-Вольтерра. Рассматриваемая задача решена методом разложения по собственной форме колебаний упругой задачи. Проведены исследования напряженно-деформированного состояния Нурекской грунтовой плотины, с учетом линейно вязкоупругих свойств грунта и неоднородной особенности конструкции в резонансных режимах колебаний при периодических кинематических воздействиях. Установлено, что наличие в сооружении плотного спектра собственных частот в резонансных режимах колебаний приводит к возникновению наибольшей резонансной амплитуды колебаний сооружения, а учет вязкоупругих свойства грунта приводит к умеренному затуханию колебаний, которое слабо зависит от частоты.

Ключевые слова: грунтовая плотина, собственная форма колебаний, вязкоупругость, напряженно-деформированное состояние, диссипативные свойства, затухание колебаний, кинематические воздействия, амплитудно-частотные характеристики, резонансный режим.

ГРУНТЛИ ИНШООТЛАРНИНГ ТУРҒУН ТЕБРАНИШЛАРИНИ ТЕКШИРИШ

*Ш.О. Худайназаров, Б.Ш. Юлдашев, Б.Х. Уринов
Ж.А. Ярашов, Э.С. Тошматов*

Аннотация

Мақолада грунтнинг чизиқли қовушқоқ-эластиклик хусусиятини ҳисобга олган ҳолда грунтли тўғонларнинг мажбурий турғун тебранишларини текшириш учун масаласини ечиш методикаси ва алгоритми ишлаб чиқилган. Грунтнинг қовушқоқ-эластиклик хусусиятини ҳисобга олишда Больцман-Вольтерр назариясидан фойдаланилган. Қўрилаётган масаланинг ечими эластик иншоотнинг хусусий тебраниш формалари бўйича ёйиш усули ёрдамида ишлаб чиқилган. Нурек грунт тўғонининг кучланиш-деформацияланиш ҳолати грунтнинг қовушқоқ-эластиклик хусусияти ва иншоот конструкциясининг бир жинссизлигини эътиборга олган ҳолда текширилган, даврий кинематик таъсирлар натижасида иншоотнинг резонанс ҳолати ҳам кўриб чиқилган. Иншоотнинг хусусий частоталари бир-бирига яқин жойлашган бўлса, резонанс режимда тебраниш амплитуда бошқа резонанс амплитудаларида бир неча баробар катта бўлади. Грунтнинг қовушқоқ-эластиклик хусусиятини инобатга олиш тебранишни аста-секинлик билан сўнишга олиб келади.

Таянч сўзлар: Грунтли тўғон, хусусий тебраниш формаси, қовушқоқ-эластиклик, кучланганлик-деформацияланиш ҳолати, диссипатив хусусиятлар, тебранишнинг сўниши, кинематик таъсирлар, амплитуда-частотали характеристикалар, резонанс режими.

INVESTIGATION OF STEADY-STATE VIBRATIONS OF EARTH STRUCTURES

*Sh.O. Khudainazarov, B.Sh. Yuldashev, B.Kh. Urinov
J.A. Yarashov, E.S. Toshmatov*

Abstract

A method, an algorithm for solving problems on steady forced vibrations of soil dams is given in the paper, taking into account linear viscoelastic properties of soil. To describe viscoelastic properties, the Boltzmann-Volterra hereditary theory of viscoelasticity is used. Solution of the problem under consideration is sought by the method of solution expansion in terms of eigenmode of vibrations of elastic problem. Investigations of stress-strain state of the Nurek earth dam have been conducted with account of linear viscoelastic properties of soil and heterogeneous structural features in resonance modes of vibrations under periodic kinematic influences. It is established, that the presence of a dense spectrum of natural frequencies in resonance modes of structure oscillation leads to the appearance of the largest resonance amplitude of structure oscillations, and an account of viscoelastic properties of soil leads to a moderate attenuation of oscillations, which slightly depends on the frequency.

Key words: earth dam, eigenmode of vibrations, viscoelasticity, stress-strain state, dissipative properties, damping, kinematic influences, amplitude-frequency characteristics, resonance regime.



Введение. Оценка прочности грунтовых плотин при различных динамических воздействиях с учетом реальных особенностей конструкции и диссипативных свойств материала сооружения представляет практический интерес. Поэтому для оценки динамического напряженно-деформированного состояния грунтовых плотин вблизи резонансных режимов, в первую очередь, необходимо рассмотреть установившиеся вынужденные колебания сооружения с учетом диссипативных свойств материала.

Обычно установившиеся вынужденные колебания сооружения происходят при наличии внешних периодических воздействий, при этом начальные условия не учитываются. В этом случае диссипативные свойства сооружения проявляются, главным образом, в резонансных режимах. В качестве количественной оценки интенсивности диссипативных процессов используют значения резонансных амплитуд перемещений и напряжений.

В последнее время опубликован ряд работ, где учитывается проявление упругих, вязкоупругих линейных и нелинейных, а также упруго-вязкопластических и др. свойств грунта, которые наряду с выше указанными свойствами описывают и диссипацию в материале при динамических воздействиях. Краткое содержание некоторых из них.

Исследована динамическая реакция грунтовых плотин с учетом нелинейных и вязкоупругих свойств грунта, где установлена зависимость величины возникающих динамических реакций от нагрузки и механических свойств грунта [1].

Динамическое поведение грунтовых плотин с учетом нелинейных свойств материала рассмотрено в [2]. Исследованы переходные динамические процессы и эффекты ползучести при циклических воздействиях, задачи решены методом Ньюмарка.

В работе [3] с использованием нелинейно реологических моделей исследовано напряженное состояние плотины. Возможность использования этой модели продемонстрирована сопоставлением численных результатов с результатами лабораторных испытаний.

Предложена модель [4] и набор определяющих соотношений для реологической модели мягких грунтов. Возможность использования этой модели подтверждена рядом экспериментов реологической консолидации с разной скоростью загрузки.

В работе [5] исследуются свойства крупнозернистых материалов каменно-набросной плотины с использованием реологических моделей. Показано, что для моделирования деформации необходимо единое описание взаимодействия различных факторов. Полученные результаты численного моделирования сравниваются с имеющимися экспериментальными данными для каменно-набросных сооружений.

Для описания диссипативных свойств грунта, в последнее время, все чаще и чаще используется наследственная теория вязкоупругости Больцмана-Вольтерра [6,7,8,9,10,15,16,17].

Поведение конкретных сооружений с использованием наследственной теории вязкоупругости в условиях динамических нагружений исследовано не достаточно. При этом подавляющее число публикаций, связанных с динамическими задачами наследственной теории вязкоупругости, посвящено расчету тонкостенных конструкций

– балок, пластин и оболочек [11,12,13,14,18,19,20,22].

Схема решения динамических задач вязкоупругости для тонкостенных конструкций достаточно стандартна. Подбирая координатную функцию, удовлетворяющую граничным условиям, исходную задачу можно свести к задаче о колебаниях системы с конечным числом степеней свободы, т.е. к системе линейных или нелинейных интегро-дифференциальных уравнений с одной независимой переменной времени. Как правило, при этом в качестве координатных функций применяются тригонометрические, либо балочные функции. Такой выбор координатных функций ограничивает класс решаемых задач конструкциями простейших конфигураций – балками постоянных сечений, прямоугольной пластиной, цилиндрической оболочкой [13,14,20].

Авторы работ [13,14,20], допуская ряд неточностей при подборе координатных функций, стараются повысить точность решения системы интегро-дифференциальных уравнений. Однако для конструкции с реальной геометрией невозможно подобрать аналитические координатные функции, удовлетворяющие граничным условиям задачи.

Поэтому для конструкции сложной геометрии в качестве координатных функций, желательно использовать собственные формы колебаний, которые присущи им и учитывают все особенности рассматриваемой конструкции.

Впервые разложение решения по собственным формам колебаний при решении конкретных задач было использовано в работе [21]. Затем собственные формы колебаний для разложения решения при вынужденных колебаниях реальных конструкций и сложных вязкоупругих оболочек использовались в работах [11,12,22,23]. Наряду с этим разложением по собственным формам колебаний была решена задача о колебаниях трехмерных тел с присоединенными массами в работе [24].

Приведенный обзор известных работ показывает необходимость оценки напряженно-деформированного состояния и динамического поведения грунтовых сооружений не только с учетом вязкоупругих свойств грунта, а также неоднородной особенности конструкции и реальной геометрии.

Методика и объект исследований. Рассматривается грунтовое сооружение (рис.1), занимающее объем $V=V_1+V_2+V_3$. Предполагается, подошва сооружения находится на жестком основании Σ_0 , где приложено кинематическое воздействие $\vec{u}_0(\vec{x},t)$. На поверхности Σ_1 действует гидростатическое давление $\vec{P}_c(x_1, x_2)$. Остальная часть поверхности (Σ_2, Σ_3)-свободна от напряжений. Материал разных частей (V_1, V_2, V_3) плотины считается линейно упругим или линейно вязкоупругим.

Задача состоит в определении полей перемещений и напряжений, возникающих в сооружении при действии на нее массовых сил \vec{f} , давления воды \vec{P}_c и кинематического воздействия в основании $\vec{u}_0(\vec{x},t)$.

Для постановки задачи используется принцип возможных перемещений [15,16,17].

При решении линейных задач физические свойства материала тела описываются соотношениями между напряжениями σ_{ij} и деформациями ε_{ij} вида [25]:

$$\sigma_{ij} = \tilde{\lambda}_n \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\tilde{\mu}_n \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

В случае, когда материал n -ого элемента (т.е. V_1, V_2, V_3) системы упругий, величины $\tilde{\lambda}_n$ и $\tilde{\mu}_n$ являются константами Ламе, если материал обладает вязкоупругими свой-

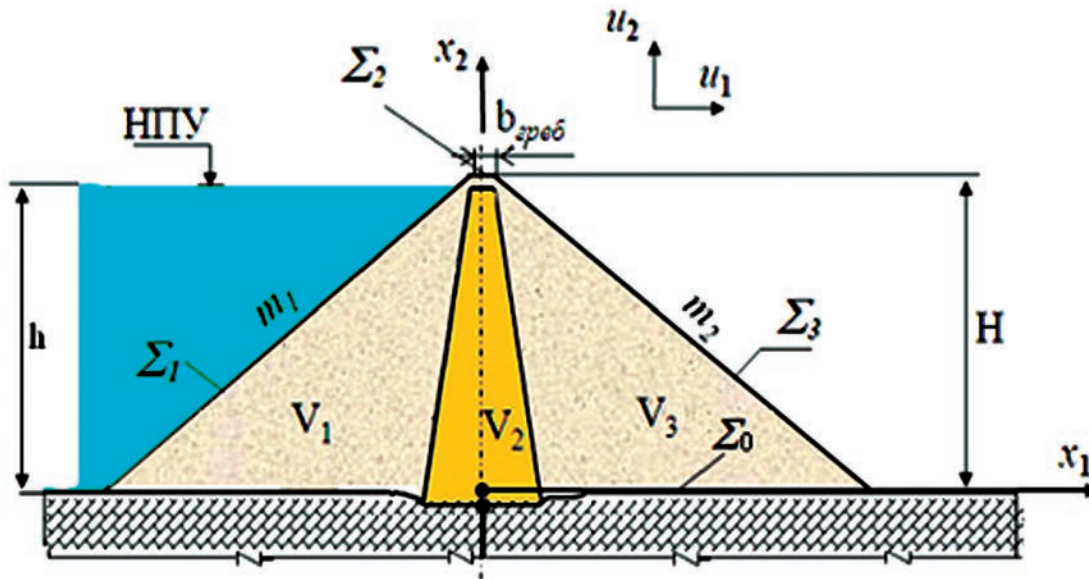


Рис.1. Модель грунтового сооружения

ствами, то $\tilde{\lambda}_n$ и $\tilde{\mu}_n$ являются интегральными операторами Вольтерра и имеют вид [25]:

$$\left. \begin{aligned} \tilde{\lambda}_n \varphi &= \lambda_n \left[\varphi(t) - \int_{-\infty}^t \Gamma_{\lambda_n}(t-\tau) \varphi(\tau) d\tau \right] \\ \tilde{\mu}_n \varphi &= \mu_n \left[\varphi(t) - \int_{-\infty}^t \Gamma_{\mu_n}(t-\tau) \varphi(\tau) d\tau \right] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где λ_n, μ_n - константы Ламе; $\Gamma_{\lambda}, \Gamma_{\mu}$ - ядра релаксации; $\varphi(t)$ - произвольная функция времени.

Связь тензора деформации ε_{ij} с компонентами вектора $\vec{u} = \{u_1, u_2\}$ перемещений описывается линейными соотношениями Коши [25, 28].

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), \quad i, j = 1, 2 \quad (3)$$

Задаются также кинематические условия в основании $\vec{x} \in \Sigma_0 : \vec{u}_0(\vec{x}, t) = \vec{\psi}(t)$ (4)

где $\vec{\psi}$ - заданная функция времени.

Приближенное решение рассматриваемой задачи находится в виде разложения по собственным формам колебаний [10, 11, 12, 16, 22, 24], упругого сооружения (рис. 1) т.е.:

$$\vec{u}(\vec{x}, t) = \vec{u}_0(\vec{x}, t) + \sum_{k=1}^N \vec{u}_k^*(\vec{x}) y_k(t); \quad \delta \vec{u} = \sum_{k=1}^N \vec{u}_k^*(\vec{x}) \delta y_k(t) \quad (5)$$

где: $\vec{u}_0(\vec{x}, t)$ - известная функция (4), удовлетворяющая краевым условиям задачи; $\vec{u}_k^*(\vec{x})$ - собственные формы колебаний упругого сооружения; $y_k(t)$ - искомые функции времени; $\delta y_k(t)$ - произвольные константы; N - количество собственных форм, удерживаемых в разложении (5).

При использовании данного подхода основная трудность состоит в выборе координатных функций $\vec{u}_k^*(\vec{x})$, которые достаточно просты в случае тел простой формы и условий закрепления. Для тел сложной формы выбор координатных функций $\vec{u}_k^*(\vec{x})$, сводящих рассматриваемую задачу к системе разрешающих уравнений с конечным числом степеней свободы, представляет достаточно трудную задачу. Использование же собственных форм колебаний позволяет точно описать реальную геометрию и различные особенности тел сложной формы при раз-

личных воздействиях. Именно этим объясняется выбор в качестве координатных функций собственных форм колебаний. Поэтому в данной работе, сначала с учетом всех особенностей сооружения и материала методом конечных элементов (МКЭ) определяются собственные формы колебаний сооружения в линейной упругой постановке. Далее решение задачи о вынужденных колебаниях системы с учетом вязкоупругих свойств материала ведется в виде разложения по найденным собственным формам колебаний упругой задачи (5).

Для установившихся вынужденных колебаний при действии периодических кинематических воздействий с учетом линейно вязкоупругих свойств материала сооружения рассматриваемая задача после подстановки (5) в исходное вариационное уравнение сводится к решению системы линейных интегро-дифференциальных уравнений вида

$$M_{ik} \ddot{y}_k(t) + K_{ik} y_k(t) - C_{ik} \int_{-\infty}^t \Gamma(t-\tau) y_k(\tau) d\tau = -(f_{i1} \ddot{\psi}_1(t) + f_{i2} \ddot{\psi}_2(t)) \quad (6)$$

$$i=1, 2, \dots, N; \quad k=1, 2, \dots, N.$$

Порядок системы (6) равен количеству N удержанных в разложении (5) собственных форм колебаний упругого сооружения. При исследовании установившихся вынужденных колебаний нижняя граница интеграла в выражении (2) принимается от минус бесконечности до t . При этом начальные условия не учитываются.

Система интегро-дифференциальных уравнений (6) описывает динамическое поведение грунтовых плотин с учетом вязкоупругих свойств грунта при периодических кинематических воздействиях. Это позволяет исследовать динамическое поведение грунтовых плотин при различных частотах внешнего воздействия, включая варианты, когда частота воздействия равна собственной частоте сооружения (резонансный режим).

Коэффициенты $f_{i1}, f_{i2}, Q_i, F_i, M_{ij}, K_{ij}, C_{ij}$ системы интегро-дифференциальных уравнений (6) определяются через собственные формы колебаний $\vec{u}_k^*(\vec{x})$ путем интегрирования их по объему рассматриваемой плотины. Здесь $f_{i1}, f_{i2}, Q_i, F_i, f(t)$ - суммарная внешняя нагрузка от массовых сил, гидростатического давления, а также от кинематического воздействия, изменяющегося по времени. Уравнение (6), решалось методами изложенными в [22, 26].

Для проверки достоверности разработанного алгоритма и программы на ЭВМ было решено линейное интегро-дифференциальное уравнение [20]. Результаты полученных численных решения были сопоставлены с точным решением [28].

Результаты исследований. Приводятся результаты исследований установившихся вынужденных колебаний Нурекской грунтовой плотины с помощью разработанной методики, алгоритма и программы расчета на ЭВМ. Нурекская плотина имеет следующие геометрические размеры: высота $H=296$ м, ширина гребня $b_{\text{греб}}=20.0$ м, заложение откосов $m_1=2.25$ (верховой) и $m_2=2.2$ (низовой). Механические характеристики материалов плотины следующие: ядро – $\gamma=0.00195$ кг/см³, $\nu=0.35$, $G=8663$ кг/см²; переходные зоны – $\gamma=0.00235$ кг/см³, $\nu=0.30$, $G=13654$ кг/см²; упорные призмы – $\gamma=0.00220$ кг/см³, $\nu=0.28$, $G=11984$ кг/см²; пригрузка откоса – $\gamma=0.00185$ кг/см³, $\nu=0.24$, $G=12370$ кг/см². Для описания вязкоупругих свойств грунта использовались трехпараметрические ядра релаксации А.Р. Ржаницына [27] с параметрами ядра релаксации, приведенными в [8]. Где G - сдвиговой модуль, γ - объемный вес, ν - коэффициент Пуассона.

В качестве внешних воздействий использовались двухкомпонентные периодические кинематические воздействия, приложенные в основании сооружения, т.е.:

$$\bar{x} \in \Sigma_0 : \begin{cases} u_{10}(t) = B \exp(-i\Omega t) \\ u_{20}(t) = C \exp(-i\Omega t) \end{cases} \quad (7)$$

где B, C – амплитуда, а Ω – частота кинематического воздействия.

Для оценки динамического поведения Нурекской грунтовой плотины при воздействиях (7). сначала решались задачи о собственных колебаниях плотины с учетом упругих свойств грунта плотины и определялись собственные частоты и формы колебаний рассмотренного сооружения. Далее найденные формы колебаний сооружения использовались в качестве координатных функций в (5) при решении задач о вынужденных установившихся колебаниях плотины с учетом реальных особенностей рассмотренных сооружений и вязкоупругих свойств грунта.

Результатом расчета явилось построение для ряда характерных точек плотин амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) перемещений (u_1, u_2) и напряжений: нормальных σ_{11}, σ_{22} , касательных - σ_{12} , главных - σ_1, σ_2 , максимальных касательных - τ_{max} и интенсивности напряжений σ , при различных частотах « Ω » кинематического воздействия (7) в диапазоне от 1.0 до 20.0 рад/сек. В окрестности предполагаемого вязкоупругого резонанса шаг для частоты « Ω » уменьшался в 2-3 раза, соотношение амплитуд принималось $B/C=2.0$ ($B=0.01$ м).

При периодических воздействиях амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) являются основным показателем оценки и прогноза динамики и напряженно-деформированного состояния сооружения в целом, так как показывают отклик каждой точки сооружения на частоты воздействия. Это позволяет прогнозировать изменение перемещений и напряжений при различных частотах « Ω » внешнего воздействия.

На рис. 2 показаны АЧХ перемещений (u_1, u_2) характерных точек Нурекской плотины: D ($x_1=-10.0$ м, $x_2=296.0$ м) и E ($x_1=-135.0$ м, $x_2=129.5$ м), полученные для линейно упругого грунта без учета массовых сил. Характерной особенностью этих результатов является наступление

упругого резонанса при совпадении частоты воздействия « Ω » с любой из частот собственных колебаний плотины: $\omega_1=0.807$ рад/сек; $\omega_2=1.248$ рад/сек; $\omega_3=1.474$ рад/сек; $\omega_4=1.662$ рад/сек; $\omega_5=1.793$ рад/сек; $\omega_6=1.901$ рад/сек; $\omega_7=2.126$ рад/сек. Характерный отклик системы (рис.1) при совпадении частот внешних воздействий с собственными частотами сооружений подтверждает достоверность разработанной методики при исследовании установившихся вынужденных колебаний.

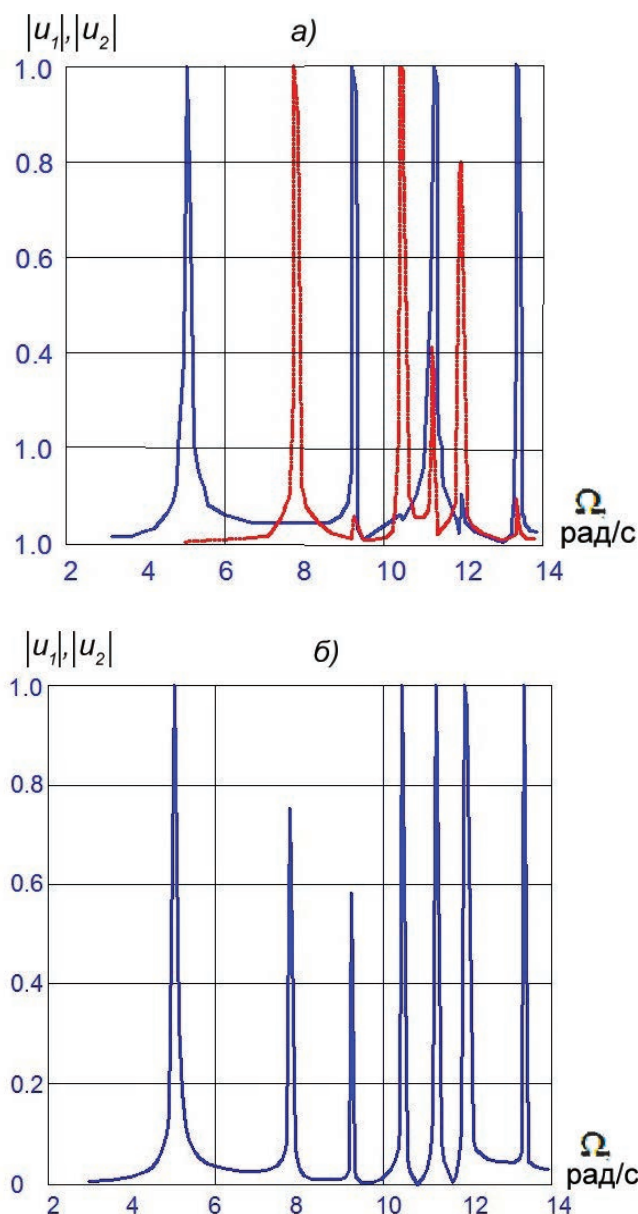


Рис.2. Амплитудно - частотные характеристики перемещений

($|u_1|, |u_2|$) точек D ($x_1=-10.0$ м, $x_2=296.0$ м) – (а) и E ($x_1=-135.0$ м, $x_2=129.5$ м) – (б) Нурекской плотины, полученные в упругой постановке без учета массовых сил: _____горизонтальные перемещения (u_1); -----вертикальные перемещения (u_2).

На рис. 3а. показаны возникающие АЧХ главного напряжения - σ_2 в точке F ($x_1=79.4$ м, $x_2=104.8$ м) и на рис.3б-АЧХ интенсивность напряжения - σ , в точке Q ($x_1=-162.6$ м, $x_2=141.8$ м) Нурекской плотины с учетом вязкоупругих свойств материала и без учета массовых сил.

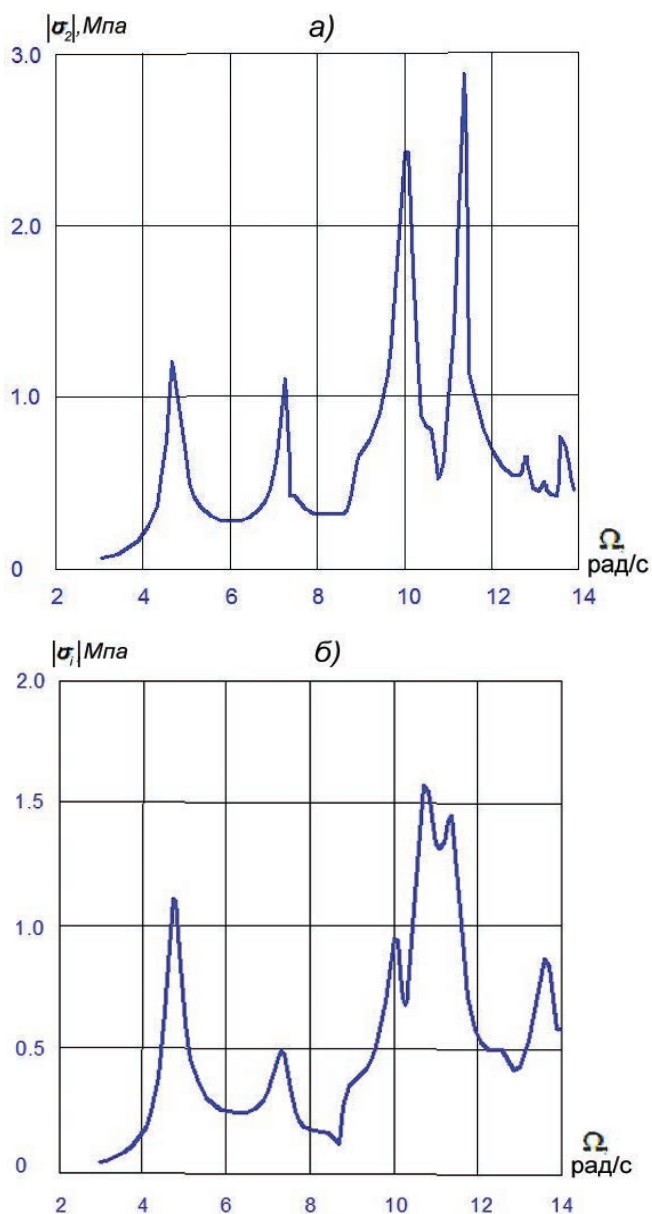


Рис.3. Амплитудно-частотные характеристики главного напряжения
 ($|\sigma_2|$) в точке $F(x_1=79,4 \text{ м}, x_2=104,8 \text{ м})$ и интенсивность напряжения (σ_i) в точке $Q(x_1=162,6 \text{ м}, x_2=141,8 \text{ м})$ Нурекской плотины полученные с учетом вязкоупругих свойств материала.

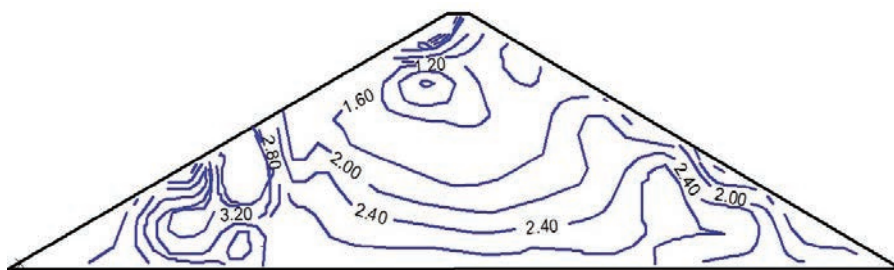


Рис. 4. Изолинии коэффициента запаса прочности K в сечении Нурекской плотины при втором резонансе, с учетом массовых сил и вязкоупругих свойств грунта

Полученные результаты указывают на превышение амплитуд горизонтальных перемещений по сравнению с вертикальными при первой резонансной частоте. На втором резонансе, наоборот – вертикальные амплитуды превосходят горизонтальные. Это объясняется характером собственных форм колебаний плотины при соответствующих частотах: на первой - сдвиг центрального сечения, на второй – вертикальная деформация и т.д.

В области плотного спектра собственных частот ($\omega_4, \omega_5, \omega_6$ или ω_9, ω_{10}) амплитуды горизонтальных колебаний создают единый пик с большой амплитудой.

Анализ АЧХ напряжений (рис.3а и рис. 3б) показывает, что наибольшие амплитуды напряжений в точках плотины возникают при совпадении частоты воздействия Ω с первой собственной частотой и с частотами плотного спектра в диапазоне между $\omega_4 \div \omega_6$ или ω_9, ω_{10} . Это объясняется корреляцией собственных форм колебаний сооружения с близкими частотами, создающими единый пик с большой амплитудой. Поэтому для этой плотины опасным является воздействие с частотой $\Omega = \omega_1$ и с частотой, находящейся в диапазоне между частотами ω_4 и ω_6 .

На рис. 4 показаны изолинии распределения коэффициента запаса прочности K в сечении Нурекской плотины с учетом массовых сил и вязкоупругих свойств грунта при резонансных частотах воздействия (7): т.е., при $\Omega \approx \omega_6 = 7,3 \text{ рад/сек}$.

При кинематическом воздействии (7) при второй резонансной частоте в некоторых зонах Нурекской плотины, нарушается прочность сооружения, т.е. на участке верхней упорной призмы вблизи гребня плотины, где $K < 1$, возникающим необеспеченную прочность.

Таким образом, исследование напряженного состояния участков плотины, для которых $K < 1$ показывает, что возникающие в резонансном режиме колебаний растягивающие напряжения превышают напряжения, возникающие при статическом воздействии (под действием массовых сил), даже при небольшой амплитуде кинематического воздействия ($B=0.01\text{м}$).

Выводы. Проведенными исследованиями установившихся колебаний грунтовых плотин при периодических кинематических воздействиях сделаны следующие выводы:

1. Предложена методика и алгоритм решения задачи об установившихся вынужденных колебаниях грунтовых плотин с учетом линейно вязкоупругих свойств грунта с помощью разложения решения по собственным формам колебания сооружения.
2. Использование собственных форм колебаний сооружения при решении задачи об установившихся вынужденных колебаниях позволило точно описать динамические процессы происходящие в сооружении, что подтверждено резонансными явлениями в упругом случае.

3. Наличие в сооружении плотного спектра собственных частот в резонансных режимах колебаний приводит к возникновению наибольшей резонансной амплитуды колебаний сооружения.

4. Учет вязкоупругих свойств грунта позволяет адекватно описать динамику сооружения в резонансных режимах колебаний и приводит к умеренному затуханию, которое слабо зависит от частоты колебаний.

№	References	Литература
1	Bao-LinXiong, Xi-Liang Wangand Chun-JiaoLu. Dynamic Reaction Analysis of Tailing Dams Under Earthquake. Advances in Environmental Geotechnics. 2010. no.6. pp. 697-701.	Bao-LinXiong, Xi-LiangWangandChun-JiaoLu. Dynamic Reaction Analysis of Tailing Dams Under Earthquake // Advances in Environmental Geotechnics. 2010. No.6. – Pp. 697-701.
2	Bilge Siyahi and HaydarArslan. Nonlinear dynamic finite element simulation of Alibey earth dam. Environmental Geology. 2008. vol.54. no.1. pp. 77-85.	Bilge Siyahi and HaydarArslan. Nonlinear dynamic finite element simulation of Alibey earth dam // Environmental Geology. 2008. Vol.54. No.1. – Pp. 77-85.
3	Bauer E., Fu Z.Z., Liu S. Constitutive modeling of materials for Rockfill dams. 6th International conference on dam engineering. Lisbon, Portugal. February 15-17, 2011. pp.1-14.	Bauer E., Fu Z.Z., Liu S. Constitutive modeling of materials for Rockfill dams // 6th International conference on dam engineering. Lisbon, Portugal. February 15-17, 2011. – Pp.1-14.
4	Bo-ning Ma, Xin-yuXie, Kai-fu Liu . Rheological catastrophic model for soft clays. Journal of Central South University. 2012. vol.19. Issue 8. pp. 2316-2322.	Bo-ning Ma, Xin-yuXie, Kai-fu Liu . Rheological catastrophic model for soft clays // Journal of Central South University. 2012. Vol.19. Issue 8. – Pp. 2316-2322.
5	Bauer E., Fu Z.Z., Liu S. Influence of pressure and density on the rheological properties of rockfills. Frontiers of Structural and Civil Engineering. 2012. vol.6. Issue 1. pp. 25-34.	Bauer E., Fu Z.Z., Liu S. Influence of pressure and density on the rheological properties of rockfills // Frontiers of Structural and Civil Engineering. 2012. Vol.6. Issue 1. – Pp. 25-34.
6	Vyaslov S.S. Reologicheskie osnovy mekhaniki gruntov [Rheological basis of soil mechanics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1978. 447 p.	Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высшая школа, 1978. – 447с.
7	Meschyanyan S.R. Eksperimental'nyye osnovy reologii glinistykh gruntov [Experimental bases of rheology of clay soils]. Er. Gitutyun Publ., 2008. 807 p.	Месчан С. Р. Экспериментальные основы реологии глинистых грунтов. Ер.:Гитутюн, 2008. – 807с.
8	Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z. Use of linear heredity theory of viscoelasticity for dynamic analysis of earthen structures. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2013. vol.49, Issue 6. pp.250-256.	Mirsaidov, M.M., Sultanov, T.Z. Use of linear heredity theory of viscoelasticity for dynamic analysis of earthen structures. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2013. Vol.49, Issue 6. – pp.250-256.
9	Ter-Martirosyan Z.G., Ter-Martirosyan A.Z. Rheological properties of soils under shear. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2012. no.6. pp. 9-13.	Ter-Martirosyan Z.G., Ter-Martirosyan A.Z. Rheological properties of soils under shear. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2012. No.6. – Pp. 9-13.
10	Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z., Khodzaev D.A. Stability evaluation of slopes of earth dams with account of soil rheological properties. Magazine of Civil Engineering. 2012. vol.35. no.9. pp.49-58.	Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z., Khodzaev D.A. Stability evaluation of slopes of earth dams with account of soil rheological properties. Magazine of Civil Engineering. 2012. Vol.35. No.9. – Pp.49-58.
11	Mirsaidov M., Troyanovskii I.E. Forced axisymmetric oscillations of a viscoelastic cylindrical shell. Polymer Mechanics. 1975. vol. 11. no. 6. pp. 953-955.	Mirsaidov M., Troyanovskii I.E. Forced axisymmetric oscillations of a viscoelastic cylindrical shell. Polymer Mechanics. 1975. Vol. 11. No. 6. – Pp. 953-955.
12	Koltunov M.A., Mirsaidov M., Troyanovskii I.E. Transient vibrations of axisymmetric viscoelastic shells. Polymer Mechanics. 1978. vol.14. no.2. pp. 233-238.	Koltunov M.A., Mirsaidov M., Troyanovskii I.E. Transient vibrations of axisymmetric viscoelastic shells. Polymer Mechanics. 1978. Vol. 14. No. 2. – Pp. 233-238.
13	Abdikarimov R.A., Khodzhaev D.A. Komp'yuternoe modelirovaniye zadach dinamiki vyzkouprugikh tonkostennykh elementov konstruksiy peremennoy tolshchiny [Computer simulation of the problems of the dynamics of viscoelastic thin-walled elements of constructions of variable thickness]. Journal of Inzhenerno stroitel'nyy. 2014. no.5(49). pp. 83-94.	Абдикаримов Р.А., Ходжаев Д.А. Компьютерное моделирование задач динамики вязкоупругих тонкостенных элементов конструкций переменной толщины// Инженерно – строительный журнал, 2014. №5 (49). – С.83-94.
14	Abdikarimov R.A., Khudayarov B.A. Dynamic stability of viscoelastic flexible plates of variable stiffness under axial compression. International Applied Mechanics. New York, 2014. vol. 50. no.4. pp. 389-398.	Abdikarimov R.A., Khudayarov B.A. Dynamic stability of viscoelastic flexible plates of variable stiffness under axial compression // International Applied Mechanics. – New York, 2014. – Vol. 50. – No.4. – Pp. 389-398.
15	Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z., Khodzhaev D.A. Assessment of the Stress-Strain State of Earth Dams. Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK, Paper 108, 2012. doi:10.4203/Pp..100-118.URL: http://www.ctresources.info/ccp/paper.html?id=7248 .	Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z., Khodzhaev D.A. Assessment of the Stress-Strain State of Earth Dams. Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK, Paper 108, 2012. doi:10.4203/Pp..100-118. URL: http://www.ctresources.info/ccp/paper.html?id=7248 .

16	Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z., Abdikarimov R.A. Strength parameters of earth dams under various dynamic effects. Magazine of Cive Engineering, 2018. no.1. pp.101-111. doi: 10.18720/MCE.77.9.	Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z., Abdikarimov R.A. Strength parameters of earth dams under various dynamic effects. Magazine of Cive Engineering, 2018. No. 1. Pp.101-111. doi: 10.18720/MCE.77.9.
17	Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z. Otsenka dinamicheskogo sostoyaniya gruntovykh plotin s uchetom nelineynykh i vyazkoupругikh svoystv materiala [Assessment of the dynamic state of soil dams taking into account the nonlinear and viscoelastic properties of the material]. Journal of Irrigatsiya va Melioratsiya. Tashkent, 2015. no.1. pp. 72-77.	Мирсаидов М.М., Султанов Т.З. Оценка динамического состояния грунтовых плотин с учетом нелинейных и вязкоупругих свойств материала. // Irrigatsiya va Melioratsiya. Т.: – 2015. – №1. – С.72-77.
18	Sultanov K.S., Bakhodirov A.A. Laws of shear interaction at contact surfaces between soil bodies and soil. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2016, vol. 53, pp.71-77.	Sultanov K.S., Bakhodirov A.A. Laws of shear interaction at contact surfaces between soil bodies and soil. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 2016, Vol. 53, Pp.71-77.
19	Kobeleva N.N. Metodicheskie osobennosti postroyeniya prognoznykh matematicheskikh modeley dlya izucheniya deformatsiy vysokikh plotin [Methodical features of construction of predictive mathematical models for studying deformations of high dams]. Vestnik SGUGiT. 2017. T.22. no.2. pp. 55-63.	Кобелева Н.Н. Методические особенности построения прогнозных математических моделей для изучения деформаций высоких плотин. // Вестник СГУГиТ.- 2017. Т. 22, № 2. – С.55-63.
20	Badalov F.B. Metody resheniya integral'nykh i integro-differentsial'nykh uravneniy nasledstvennoy teorii vyazkoupругosti [Methods for solving integral and integro-differential equations of the hereditary theory of viscoelasticity]. Tashkent, Mekhnat Publ., 1987. 269 p.	Бадалов Ф.Б. Методы решения интегральных и интегро-дифференциальных уравнений наследственной теории вязкоупругости. – Ташкент: Мехнат, 1987. – 269 с.
21	Chelomey V.N. Dinamicheskaya ustoychivost' elementov aviatsionnykh konstruksiy [Dynamic Stability of Aviation Structure Elements]. Moscow, Aeroflot Publ., 1939. 138p.	Челомей В.Н. Динамическая устойчивость элементов авиационных конструкций. – Москва: Аэрофлот, 1939. 138 с.
22	Ishmatov A.N., Mirsaidov M. Nonlinear vibrations of an axisymmetric body acted upon by pulse loads. Soviet Applied Mechanics (Prikladnaya Mekhanika), vol.27, no.4. 1991. pp. 68-74.	Ishmatov A.N., Mirsaidov M. Nonlinear vibrations of an axisymmetric body acted upon by pulse loads. // Soviet Applied Mechanics (Prikladnaya Mekhanika), Vol. 27, No. 4, 1991 Pp. 68-74.
23	Sultanov T.Z., Khodzhaev D.A., Mirsaidov M.M. Otsenka dinamicheskogo povedeniya neodnorodnykh sistem s uchetom nelineyno-vyazkoupругikh svoystv grunta [Estimation of the dynamic behavior of inhomogeneous systems with allowance for the nonlinear viscoelastic properties of the soil]. Journal of Inzhenerno stroitel'nyy. 2014. no.1(45). pp. 80-89.	Султанов Т.З., Ходжаев Д.А., Мирсаидов М.М. Оценка динамического поведения неоднородных систем с учетом нелинейно-вязкоупругих свойств грунта // Инженерно-строительный журнал, 2014. №1 (45). – С.80-89
24	Mirsaidov M., Mekhmonov Ya. Nonaxisymmetric vibrations of axisymmetric structures with associated masses and hollows (protrusions). Journal Strength of Materials (Jurnal Problemiprochnosti). 1987. no. 3. pp.111-116.	Mirsaidov M., Mekhmonov Ya. Nonaxisymmetric vibrations of axisymmetric structures with associated masses and hollows (protrusions). Journal Strength of Materials (Jurnal Problemiprochnosti). 1987. No. 3. – Pp.111-116.
25	Il'yushin A.A., Pobedrya B.E. Osnovy matematicheskoy teorii termovyazkoupругosti [Fundamentals of the mathematical theory of thermoviscoelasticity]. Moscow, Nauka Publ., 1970. 280 p.	Ильюшина А.А., Победря Б.Е. Основы математической теории термовязкоупругости. М.: Наука, 1970. – 280с.
26	Mirsaidov M.M., Troyanovskiy I.E., Balakirov A. Ob odnom sposome resheniya zadachi Koshi dlya sistemy integro-differentsial'nykh uravneniy [On a method for solving the Cauchy problem for a system of integro-differential equations]. Izv. AN UzSSR, ser.tekh.nauk. Tashkent, 1985. no.6. pp.32-36.	Мирсаидов М.М., Трояновский И.Е., Балакиров А. Об одном способе решения задачи Коши для системы интегро-дифференциальных уравнений. Изв. АН УзССР, сер.техн.наук, Ташкент, 1985г. №6, – С.32-36.
27	Rzhanitsyn A.R. Teoriya polzuchesti [Creep Theory]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1968. 416 p.	Ржаницын А.Р. Теория ползучести. М.: Стройиздат, 1968. – 416 с.
28	Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z. Theory and Methods of Strength Assessment of Earth Dams. Lambert Academic Publishing. Saarbrücken. Deutschland, Germany, 2015. 341 p.	Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z. Theory and Methods of Strength Assessment of Earth Dams. Lambert Academic Publishing. Saarbrücken/ Deutschland \ Germany \ , 2015. – 341 p.