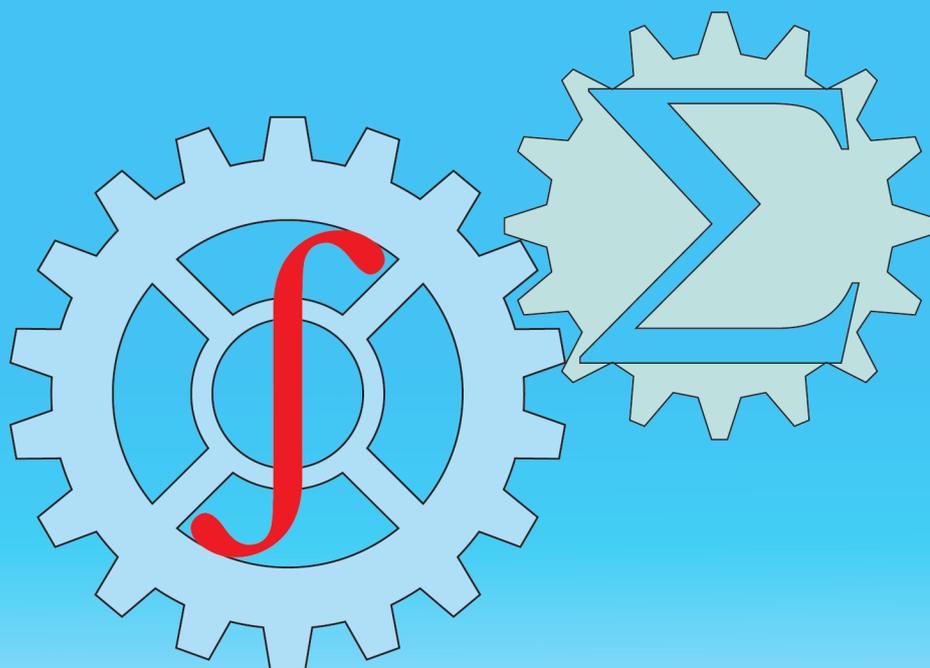




ISSN: 2010-7250
Published from 1992

Институт механики и сейсмостойкости сооружений
Mechanika va inshootlar seysmik mustahkamligi instituti

МЕХАНИКА МУАММОЛАРИ ПРОБЛЕМЫ МЕХАНИКИ PROBLEMS OF MECHANICS



2025
Volume 34
No: 4

O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI
АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

МЕХАНИКА
МУАММОЛАРИ

O‘ZBEKISTON
JURNALI

4

2025

УЗБЕКСКИЙ
ЖУРНАЛ

ПРОБЛЕМЫ
МЕХАНИКИ

Журнал под таким названием издается с января 1992 г.

Ташкент – 2025

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор – докт. физ.-мат. наук, проф. К.С. СУЛТАНОВ
Заместитель главного редактора – докт. физ.-мат. наук Р.А. АБИРОВ
Заместитель главного редактора – PhD Н.А. НИШОНОВ
Ответственный секретарь – докт. тех. наук М.М. ХАМДАМОВ

Абдикаримов Р.А. д.ф.-м.н., проф. (Ташкент)	Мирсаидов М. д.т.н., проф., академик АН РУз (Ташкент)
Абдусаттаров А. д.т.н., проф. (Ташкент)	Мухаммадиев Д.М. д.т.н., проф. (Ташкент)
Азимов Д. д.т.н., проф. (США)	Панахов Г.М. д.т.н., проф., член-корр. НАНА (Баку)
Алдошин Н.В. д.т.н., проф. (Москва)	Паровик Р. д.ф.-м.н. (Петропавловск-Камчатский)
Алимухамедов Ш.П. д.т.н., проф. (Ташкент)	Ризаев А.А. д.т.н., проф. (Ташкент)
Ахмедов А.Б. д.ф.-м.н., проф. (Ташкент)	Сагдиев Х.С. к.т.н. (Ташкент)
Бахадиров Г.А. д.т.н., проф. (Ташкент)	Сирожиддинов З. д.т.н., проф. (Самарканд)
Быковцев А.С. д.ф.-м.н., проф. (США)	Старовойтов Э.И. д.ф.-м.н. (Гомель, Беларусь)
Ватин Н.И. д.т.н., проф. (Санкт-Петербург)	Тохилов Ш.М. к.ф.-м.н. (США)
Дусматов О.М. д.ф.-м.н., проф. (Самарканд)	Тухтакузиев А.Т. д.т.н., проф. (Ташкент)
Зубарев А.Ю. д.ф.-м.н., проф. (Екатеринбург)	Юлдашев Ш.С. д.т.н., проф. (Наманган)
Исмоилова С.И. д.т.н., проф. (Ташкент)	Худайкулиев Р.Р. к.т.н. (Ташкент)
Казанцев С.П. д.т.н., проф. (Москва)	Хужаев И.К. д.т.н., проф. (Ташкент)
Кузнецов С.В. д.ф.-м.н., проф. (Москва)	Хужаёров Б.Х. д.ф.-м.н., проф. (Самарканд)
Маликов З.М. д.т.н., проф. (Ташкент)	Хусанов Б.Э. д.т.н. (Ташкент)
Мамасаидов М.Т. д.т.н., проф., академик НАН КР (Ош)	Шардаков И.Н. д.ф.-м.н., проф. (Пермь)
Мардонов Б.М. д.ф.-м.н., проф. (Ташкент)	Эргашов М. д.т.н., проф. (Ташкент)
Матвеев В.П. д.т.н., проф., академик РАН (Пермь)	Ювмитов А.С. д.т.н., с.н.с. (Ташкент)

Адрес редакции:

*100125, Ташкент, Академгородок, Дурмон йули, 40.
Институт механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т. Уразбаева АН РУз*

*Телефон: +99855 520-02-45
+99855 520-04-46*

E-mail: instmechofficial@gmail.com

Технический редактор: Михайлова В.В.

Журнал зарегистрирован Агентством по печати и информации Республики Узбекистан 22.12.2006 г.
Регистрационный номер 0050.

Номер одобрен на заседании редакционной коллегии журнала 25.12.2025

Сдано в набор 15.12.2025. Подписано в печать 29.12.2025.

Формат 60×84 1/8. Гарнитура Times New Roman. Ризография.

Усл.- печ. л. 6.5. Уч.-изд. л. 6.82. Тираж 130.

Цена договорная.

Отпечатано в типографии ООО "Munis design group":

100170, г. Ташкент, ул. Буз-2, презд, дом 17-А.

НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КЫЗЫЛСАЙСКОЙ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СТАТИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

²Султанов К.С., ^{1,2}Мирсаидов М.М., ²Нуъмонов А., ²Уразмухамедова З.

¹Национальный исследовательский университет "Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства"

²Институт механики и сейсмостойкости сооружений имени М.Т.Уразбаева Академии наук Республики Узбекистан.

E-mail: a.t.nurmonov@gmail.com

Аннотация. В данной работе приведены математическая постановка, методы решения и алгоритмы для оценки напряженного состояния грунтовых плотин под действием различных статических нагрузок. Результаты исследования сопоставлены с результатами, полученными с помощью лицензионного программного пакета. Оценено напряженное состояние проектируемой Кызылсайской грунтовой плотины с центральным ядром. Установлено, что под действием массовых сил в самой нижней части верхового откоса (на небольшом участке) плотины возникает напряжение σ_x с положительным знаком. При совместном учете массовых сил и гидростатического давления воды в нижней части верхового откоса плотины горизонтальное нормальное напряжение становится сжимающим.

Ключевые слова: грунтовая плотина, напряженное состояние, метод конечных элементов (МКЭ), массовые силы, гидростатическое давление воды, конструктивная неоднородность.

Введение. В Узбекистане эксплуатируется более 60 грунтовых плотин, которые полностью обеспечивают водохозяйственные нужды страны. Практически все они расположены в районах повышенной сейсмичности, что в сочетании с природной изменчивостью грунтовых свойств существенно осложняет эксплуатационный контроль и инженерный анализ состояния сооружений. Грунты, применяемые при строительстве подобных объектов, демонстрируют зависимость механических характеристик от влажности, плотности и продолжительности нагружения, вследствие чего точная оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) плотины требует использования современных численных подходов и комплексных методик.

Обширный круг исследований [1–8] направлен на совершенствование методов анализа НДС грунтовых плотин посредством использования двумерных и пространственных моделей. Авторы демонстрируют, что учет нелинейного деформирования грунта и конструктивных особенностей сооружения позволяет значительно повысить точность прогноза поведения плотины как в статическом, так и в динамическом режиме нагружения. В этих работах выявлена существенная роль распределения порового давления в теле плотины и его влияние на формирование критических зон напряжений, изменение формы откосов и локализацию возможных поверхностей скольжения.

В отдельной группе исследований [12–14] приводятся результаты моделирования деформаций уплотнённых насыпных дамб и оценка устойчивости откосов на основе PLAXIS, TOCHNOG и других программных комплексов. Сравнение двумерных и трёхмерных моделей показывает, что упрощённые расчёты нередко недооценивают реальные деформации, особенно при сложном строении основания и неоднородности грунтовых слоёв.

Ряд работ [9–11] посвящён определению факторов риска разрушений и прорыва плотин, анализу причин аварий и разработке методических основ для профилактики подобных явлений. Исследователи приходят к выводу, что сочетание инженерно-геологических факторов, эксплуатационных погрешностей и неучтенных динамических воздействий может формировать комплексные сценарии разрушений, требующие непрерывного мониторинга.

Публикации [15, 19] рассматривают современные подходы к оценке устойчивости сооружений на основе пространственного анализа геометрии долины, свойств грунтовых слоёв и мониторинга деформаций. Представленные методики демонстрируют важность применения интеллектуальных систем мониторинга для раннего выявления опасных тенденций в поведении плотины.

Полезные данные о реальном поведении плотин приводятся также в [16], где на основе многолетних наблюдений за смещениями контрольных точек показано, что деформации развиваются неравномерно и чувствительны к сезонным изменениям уровня водохранилища.

Значительный пласт литературы посвящён вопросам динамики и сейсмостойкости плотин. В ряде исследований [17, 21–23] рассмотрены методы расчёта отклика бетонных и арочных плотин на динамические воздействия. Используя ANSYS и методы конечных элементов, авторы выявили связь между геометрией сооружения, параметрами материала и характеристиками собственных колебаний.

Работы [20, 25–27] акцентируют внимание на взаимодействии системы «плотина – основание». Авторы подчёркивают, что правильный учёт наполненности водохранилища и параметров грунтового основания оказывает критическое влияние на частоты собственных колебаний и динамическое поведение сооружения. Особенно важно, что даже небольшие изменения уровня воды способны смещать спектральные характеристики плотины, что необходимо учитывать при сейсмическом моделировании.

Ряд экспериментальных исследований [28–32] демонстрирует применение вибрационных методов для определения собственных частот грунтовых и бетонных плотин. Проведение испытаний на вибростендах, анализ отклика при взрывных воздействиях и сопоставление экспериментальных данных с результатами численного моделирования позволяют уточнять модели и совершенствовать прогнозирование динамического поведения сооружений.

Систематизация приведённых источников показывает, что современная практика проектирования и эксплуатации грунтовых плотин требует постоянного развития математического аппарата оценки напряженно-деформированного состояния и прочностного анализа. Высокая сейсмичность региона, изменчивость свойств грунта, влияние фильтрационных потоков и необходимость учёта порового давления создают потребность в разработке более точных алгоритмов численного моделирования. В совокупности это подтверждает актуальность исследований, направленных на повышение надёжности и безопасности грунтовых плотин.

Обзор выше приведенных работ показывает необходимость разработки математических моделей, методики, алгоритмов для оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) грунтовых плотин и анализа прочностного состояния плотин является актуальной проблемой.

Математическая модель, методы решения и алгоритмы. Рассматривается модель проектируемой Кызылсайской грунтовой плотины под действием массовых сил и гидростатического давления воды.

При строительстве плотины установлено, что физико-механические характеристики грунта в опорных призмах и ядре, согласно проекту, должны быть следующими:

- высота плотины 83 м, ширина гребня плотины 10 м, уклон верхнего бьефа $m_1=2.5$ м, уклон нижнего бьефа $m_2=2.1$ м.

- модуль упругости грунта в опорных призмах $E=3100$ кгс/см², удельный вес $\gamma=2.0$ т/м³, коэффициент Пуассона $\nu=0.30$, коэффициент сцепления грунта $C=0.5$, угол внутреннего трения $\varphi=36^\circ$.

- модуль упругости грунта в ядре $E=2780$ кгс/см², удельный вес $\gamma=1.8$ т/м³, коэффициент Пуассона $\nu=0.37$, коэффициент сцепления грунта $C=0.5$, угол внутреннего трения $\varphi=16^\circ$.

Для построения математической модели неоднородной Кызылсайской грунтовой плотины в состоянии плоской деформации рассмотрим деформируемое твердое тело (рис. 1), занимающее объем $S=S_1+S_2+S_3$, взаимодействующее с водной средой в водохранилище.

Эта неоднородная система, занимающая объем S , представляет собой модель Кызылсайской грунтовой плотины. Здесь S_1 , S_3 - опорные призмы плотины, а S_2 - ядро плотины. Нижняя часть Σ_u грунтовой плотины (рис. 1) рассматривается как абсолютно жестко закрепленная к основанию. На плотину (рис.1) действуют массовые силы \vec{f} и гидростатическое давление воды. Для обеспечения непрерывности деформаций и напряжений на границах областей S_1 , S_2 , S_3 используем "условия непрерывности".

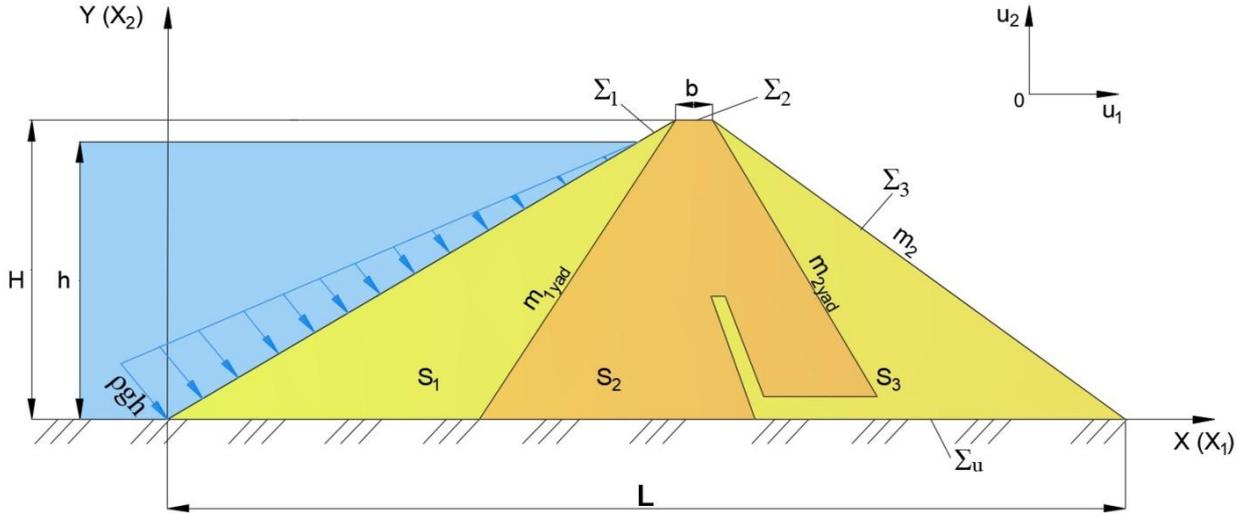


Рис. 1. Плоская модель грунтовой плотины Кызылсайского водохранилища

Требуется определить поля перемещений, деформаций и напряжений, возникающих в неоднородной плоско-деформируемой системе S (рис. 1), находящейся под воздействием сил \vec{p} и \vec{f} . Здесь L - длина основания плотины по поперечному сечению; b - ширина гребня плотины; m_1 - уклон верхнего бьефа; m_2 - уклон нижнего бьефа; $m_{1яд}$, $m_{2яд}$ - представляют уклоны ядра плотины.

Для моделирования процесса деформирования использован принцип возможных перемещений с соответствующими кинематическими условиями, т.е.:

$$\delta A = -\int_{S_1} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dS_1 - \int_{S_2} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dS_2 - \int_{S_3} \sigma_{ij} \delta \varepsilon_{ij} dS_3 + \int_{S_1} \vec{f} \delta \vec{u} dS_1 +$$

$$+ \int_{S_2} \vec{f} \delta \vec{u} dS_2 + \int_{S_3} \vec{f} \delta \vec{u} dS_3 + \int_{S_p} \vec{p} \delta \vec{u} dS = 0, \quad i, j = 1, 2$$

$$\vec{x} \in \Sigma_u: \vec{u} = 0; \delta \vec{u} = 0, \quad (2)$$

где \vec{u} , ε_{ij} , σ_{ij} - соответственно компоненты векторов перемещений, тензоров деформаций и напряжений; $\delta \vec{u}$, $\delta \varepsilon_{ij}$ - изохронная вариация перемещений и деформаций; \vec{f} - вектор массовых сил; \vec{p} - гидростатическое давление воды, действующее на поверхность S_p ; $(h-x_2)$ обозначает глубину точки напорной поверхности плотины от уровня воды; $\vec{u} = \{u_1, u_2\} = \{u, v\}$ - компоненты вектора перемещения точек плотины; $\vec{x} = \{x_1, x_2\} = \{x, y\}$ - координаты точек плотины; при решении плоской задачи индексы i, j принимают значения $i, j = 1, 2$.

В вариационном уравнении (1) для взаимного выражения тензоров напряжений и деформаций, отражающих физико-механические свойства материала в каждой части системы, используется следующий обобщенный закон Гука [7,33]:

$$\sigma_x = \lambda(\varepsilon_x + \varepsilon_y) + 2\mu\varepsilon_x; \sigma_y = \lambda(\varepsilon_y + \varepsilon_x) + 2\mu\varepsilon_y; \tau_{xy} = \mu\gamma_{xy} \quad (3)$$

Здесь σ_x , σ_y и τ_{xy} - нормальные и касательные напряжения, μ , λ - константы Ламе:

$$2\mu = \frac{E}{(1+\nu)}; \lambda = \frac{E\nu}{(1-2\nu)(1+\nu)}.$$

Связь между тензорами деформации и векторами перемещений выражается следующими соотношениями Коши:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}. \quad (4)$$

Здесь ε_x , ε_y и γ_{xy} - относительная линейная и угловая деформация.

С помощью математической модели (1)-(4) требуется определить вектор перемещений $\vec{u}(\vec{x})$, тензоры деформаций $\varepsilon_{ij}(\vec{x})$, и напряжений $\sigma_{ij}(\vec{x})$, возникающие в произвольных точках грунтовой плотины, удовлетворяющие вариационному уравнению (1) и соотношениям (3), (4) при любых возможных перемещениях, с учетом кинематических условий (2) и находящихся под действием массовых сил \vec{f} и гидростатического давления воды \vec{p} .

Для решения данной задачи с использованием метода конечных элементов разработана методика, алгоритм и программа на ЭВМ, которые подробно изложены в работе [18].

Результаты и выводы. При оценке напряженно-деформированного состояния рассмотрена конструкция плотины с ядром, расположенным в центре плотины (рис.1). При этом определены компоненты напряжений (σ_x , σ_y , τ_{xy}), возникающие под действием собственного веса плотины. Далее, при определении НДС (т.е: σ_x , σ_y , τ_{xy}) плотины наряду с собственным весом грунтовой плотины, учтено гидростатическое давление воды в результате различного заполнения водохранилища. По найденным значениям (σ_x , σ_y , τ_{xy}) были построены изолинии и изополя равномерного распределения компонентов напряжений по телу грунтовой плотины.

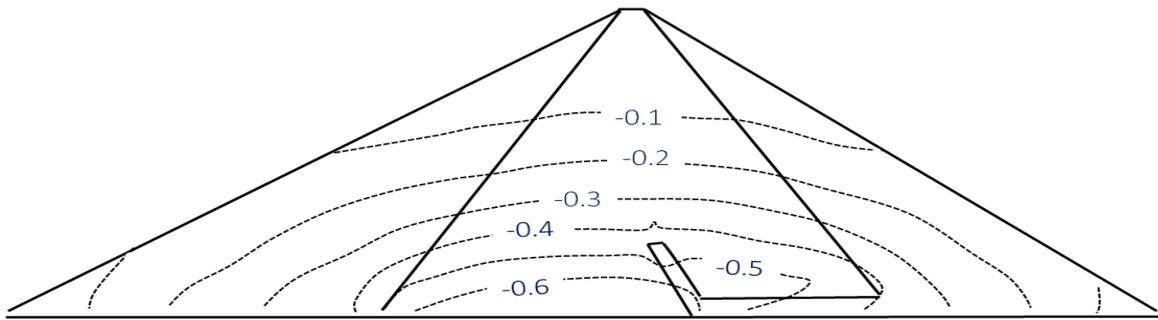
Результаты, полученные под действием только массовых сил. На рис.2 показаны изолинии распределения компонентов напряжений в теле плотины под действием массовых сил. Полученные результаты (рис. 2а), показывают, что максимальное значение σ_x приходится на нижнюю часть плотины с центральным ядром (рис. 2а), его значение составляет - 0.65 МПа. В нижней части верховой призмы плотины, которая соединена с основанием, это напряжение σ_x имеет небольшое положительное значение и создает условия для выпирания. Это связано с тем, что плотина под действием массовых сил стремится вытеснить грунт, расположенный в нижней части верхового откоса плотины. Поскольку в верхней призме уклон больше, чем в нижней, то в этой призме участок, склонный к вытеснению, занимает значительно большую площадь, чем в нижней призме (рис. 2а).

Если проанализировать изолинии распределения значений нормального сжимающего напряжения σ_y в вертикальном направлении (рис. 2б), то в центральном ядре плотины значение этого напряжения равно -1.2 МПа и это напряжение возникает в самой нижней части плотины. Наименьшее значение σ_y распределено по контуру плотины. В то же время, небольшие значения этого напряжения возникают в нижней части ядра.

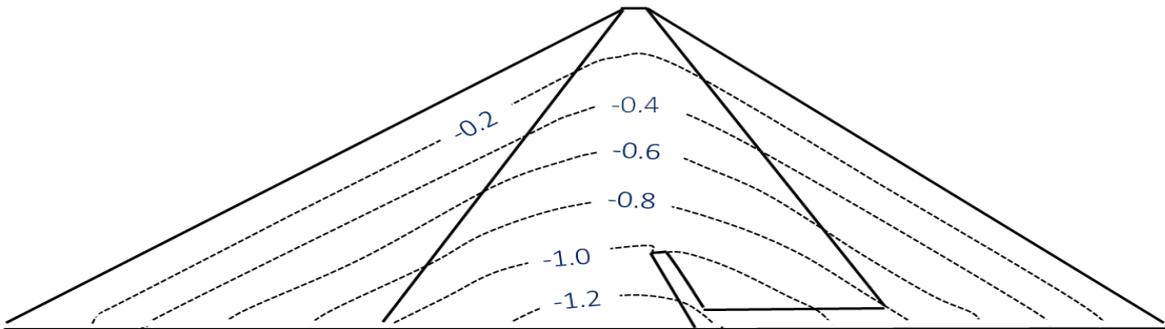
Результаты касательного напряжения τ_{xy} , приведенные на рис. 2в, показывают, что распределение этого напряжения существенно отличается от двух вышеописанных случаев.

В грунтовой плотине с центральным ядром возникающие касательные напряжения составляют $\tau_{\max} = -0.2$ и $+ 0.15$ МПа. Эти напряжения по верху и низу плотины незначительно отличаются из-за небольшой разницы коэффициентов откосов (рис.2в).

а) σ_x , МПа



б) σ_y , МПа



в) τ_{xy} , МПа

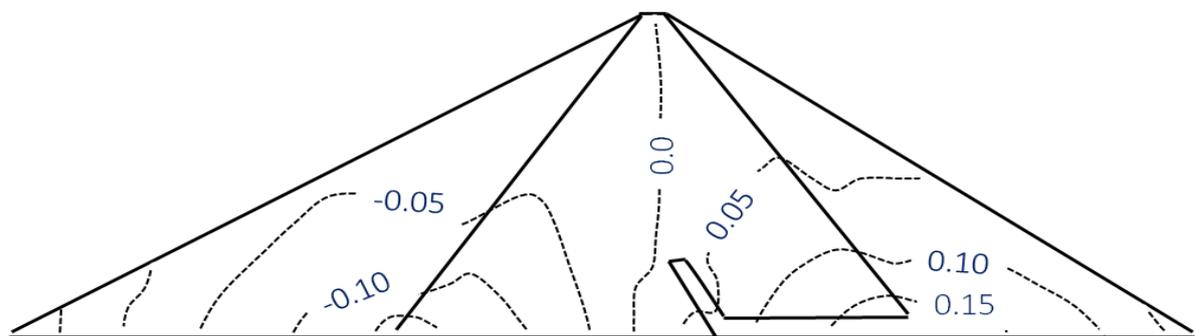
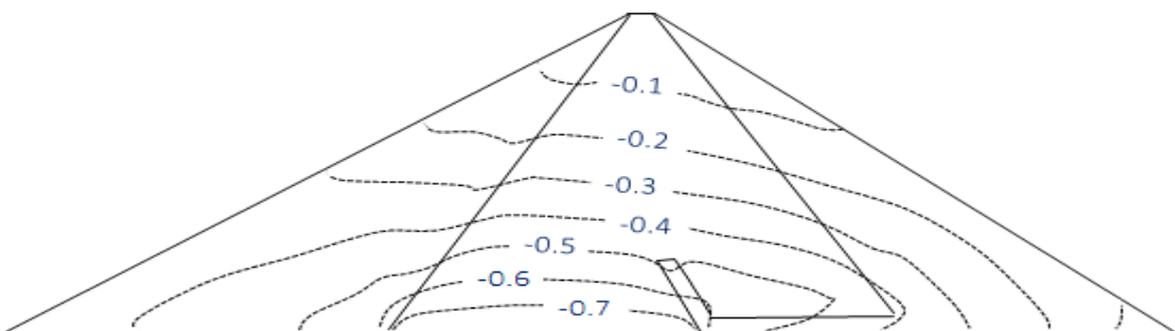


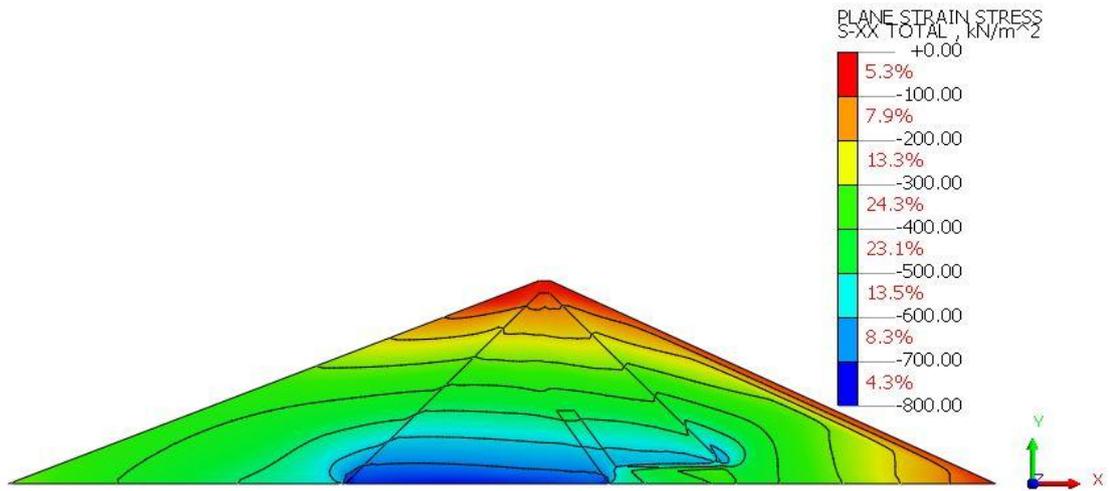
Рис. 2. Изолинии распределения напряжений в теле неоднородной Кызылсайской грунтовой плотины под действием массовых сил

Результаты, полученные под действием массовых сил и гидростатического давления воды. На рис. 3 представлены результаты распределения изолиний компонентов напряжений (σ_x , σ_y , τ_{xy}) в теле Кызылсайской грунтовой плотины, полученные с помощью разработанной авторами программы и сертифицированного пакета программ, под действием массовых сил и гидростатического давления воды, когда водохранилище полностью заполнено.

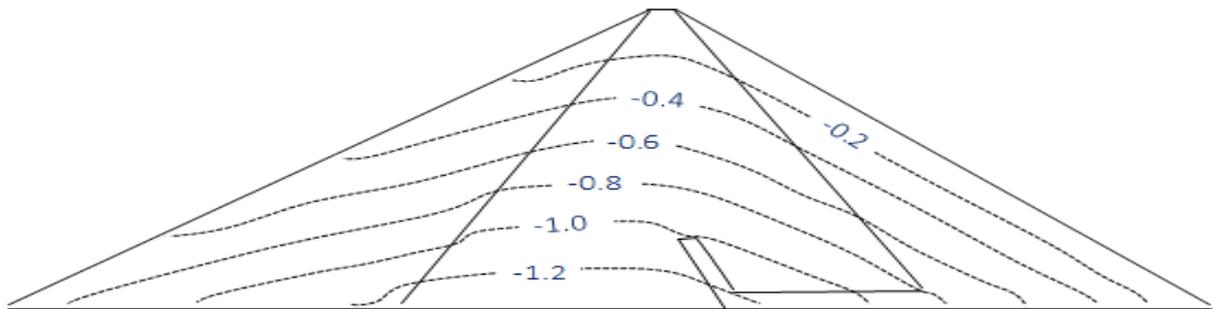
а) σ_x , МПа



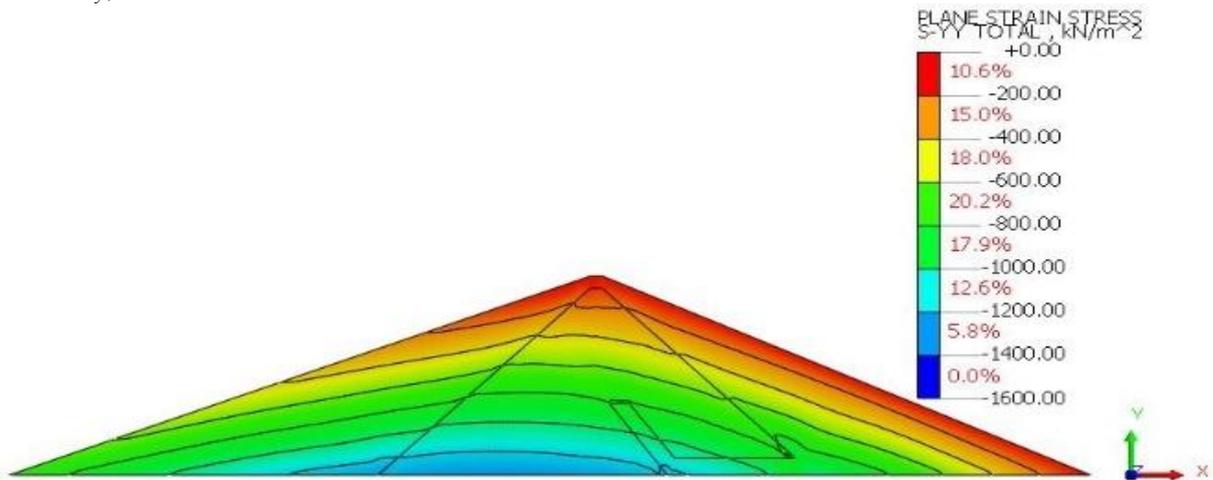
σ_x , МПа



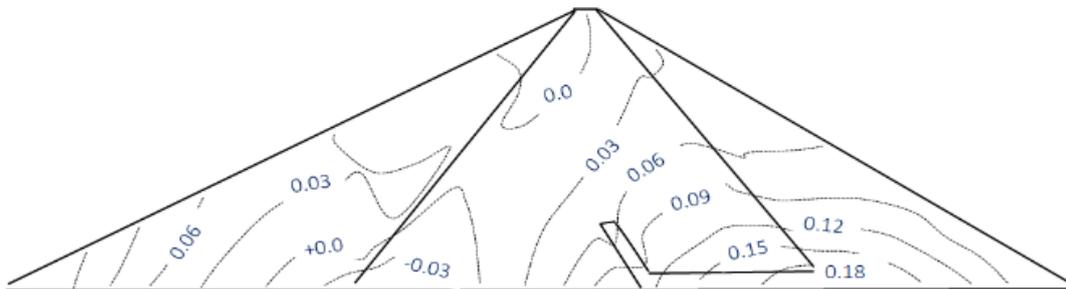
б) σ_y , МПа



σ_y , МПа



в) τ_{xy} , МПа



τ_{xy} , МПа

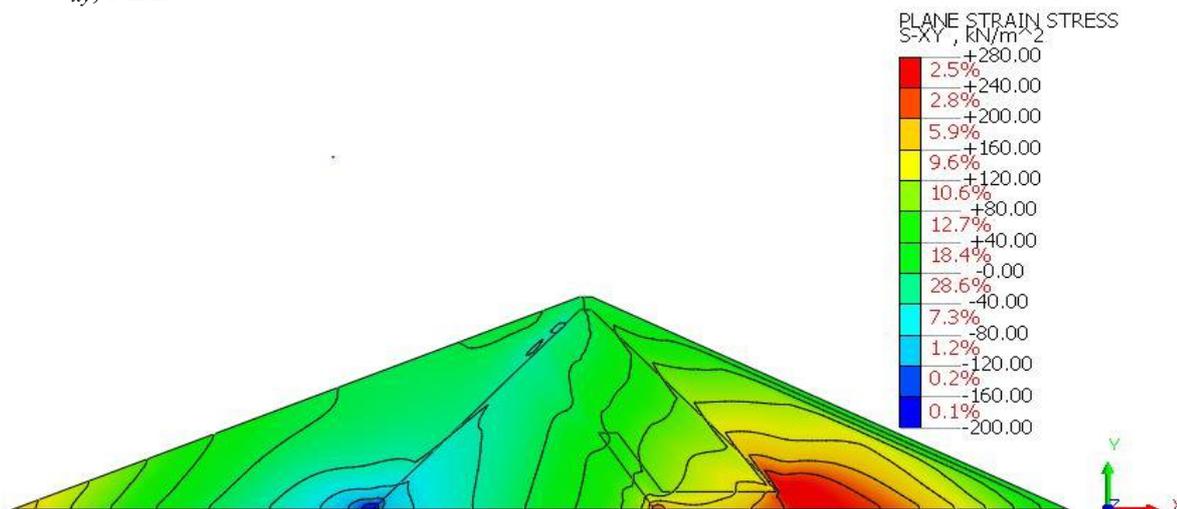


Рис. 3. Изолинии распределения напряжений в теле Кызылсайской грунтовой плотины, возникающие под действием массовых сил и гидростатического давления воды: слева представлены результаты, полученные с помощью разработанной программы; справа, результаты, полученные с помощью сертифицированного пакета программ.

Обсуждение. Результаты (рис.3а) показывают, что величина горизонтального максимального нормального напряжения σ_x в грунтовой плотине Кызылсай с центральным ядром достигает -0.8 МПа. При этом (рис. 3), в нижней части верховой призмы плотины, которая соединена с основанием, положительное значение напряжения σ_x исчезает, так как гидростатическое давление создает противоположное напряжение.

При этом анализ распределения σ_y по телу плотины показывает, что максимальное значение нормального вертикального напряжения σ_y приходится на нижнюю часть в центре плотины, преимущественно на стороне верхней упорной призмы, а его значение составляет $\sigma_y = -1.4$ МПа (рис. 3б). Наименьшее значение этого напряжения приходится на верхнюю часть нижней упорной призмы - в зоне от основания до 1/3 высоты плотины и до самой верхней части плотины.

Анализ распределения касательных напряжений τ_{xy} по телу плотины показывает, что его максимальное значение достигает 0.20 МПа (рис. 3в). При этом почти симметричное распределение этого напряжения исчезает за счет действия гидростатического давления.

Из полученных результатов видно, что разработанная авторами программа для ЭВМ показывает примерно такой же результат, как и лицензионный пакет программ. Это еще раз подтверждает корректность результатов, которые можно получить с помощью разработанной математической модели, вычислительного алгоритма и программы ЭВМ. Это можно объяснить горизонтальным напряжением, создаваемым гидростатическим давлением против горизонтального нормального напряжения, возникающего в теле плотины под действием собственного веса.

Заключение.

1. Определено напряженное состояние (σ_x , σ_y , τ_{xy}) в теле проектируемой Кызылсайской грунтовой плотины, возникающее под действием массовых сил и гидростатического давления воды.

2. Установлено, что максимальное значение нормального горизонтального напряжения σ_x , возникающего в теле плотины с центральным ядром под действием массовых сил, составляет приблизительно $\sigma_x = -0.65$ МПа (или -650000 Па) и при этом установлено, что при данном значении уклона верхового откоса в самой нижней его части на небольшом участке возникает положительное напряжение σ_x .

3. Установлено, что под действием массовых сил и при полностью заполненном водохранилище максимальное значение горизонтальных нормальных напряжений σ_x в Кызылсайской грунтовой плотине достигает -0.8 МПа. Под действием гидростатического давления воды возникающее положительное значение σ_x в нижней части верхового откоса исчезает.

4. Установлено, что в Кызылсайской грунтовой плотине с центральным ядром значение максимального касательного напряжения при совместном действии массовых сил и гидростатического давления составляет приблизительно $\tau_{\max} = 0.20$ МПа, и, в основном, эта величина возникает в частях плотины, соединенных с основанием, а также в местах соединения призмы с ядром.

Статья выполнена за счет бюджетного финансирования Института механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т.Уразбаева Академии наук Республики Узбекистан.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Mirsaidov M., Juraev D., Matkarimov P.* Assessment of Stress-Strain State of Earth Dams Considering the Spatial Operation of Structures // AIP Conference Proceedings. 2025, Vol. 3265, No. 1, P. 050020
- [2] *Pinyol N.M., Alonso E.E.* Earth dam, spatial model, stress-strain state, dynamic characteristic, natural frequency, modes of oscillations // International Journal of Civil Engineering. 2019, Vol. 17, No. 4, pp. 501–513.
- [3] *Lo E., Pelecanos L.* Building dams on rock or soft soil – frequency-domain analysis of dynamic dam-foundation interaction // Smart dams and reservoirs: papers from the 20th Biennial Conference of the British Dam Society, Swansea, United Kingdom, 2018 / British Dam Society. London: ICE Publishing, 2018, pp. 113–122.
- [4] *Fu Z., Chen S., Li G.* Hydrodynamic pressure on concrete face rockfill dams subjected to earthquakes // Journal of Hydrodynamics. 2019, Vol. 31, No. 1, pp. 152–168.
- [5] *Wang M., Chen J., Xiao W.* Experimental and numerical comparative study on gravity dam-reservoir coupling system // KSCE Journal of Civil Engineering. 2018, Vol. 22, No. 10, pp. 3980–3987.
- [6] *Mirsaidov M.* Strength of earth dams considering the elastic-plastic properties of soils // E3S Web of Conferences. 2023, Vol. 365, P. 03001.
- [7] *Мурсаидов М.М.* Теория и методы расчета грунтовых сооружений на прочность и сейсмостойкость. Ташкент: Фан, 2010, 312 с.
- [8] *M. M. Mirsaidov, T. Z. Sultanov, J. A. Yarashev.* Assessment of stress-strain state of earth dams considering elastoplastic properties of soils // AIP Conference Proceedings. 2025, Vol. 3286, No. 1, P. 040008
- [9] *Li Z., Wang T., Ge W., Wei D., Li H.* Risk Analysis of Earth-Rock Dam Breach Based on Dynamic Bayesian Network // Water. 2019, Vol. 11, No. 11, P. 2305
- [10] *Fu X., Gu C.-S., Su H.-Z., Qin X.-N.* Risk Analysis of Earth-Rock Dam Failures Based on Fuzzy Event Tree Method // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2018, Vol. 15, No. 5, P. 886.
- [11] *Zhong Q.* Earth-Rock Dams' Breach Modelling / Q. Zhong, Y. Shan, J. Liu // Dam Engineering / ed. H. Tosun. London: IntechOpen, 2020.
- [12] *Teixeira S. H. C., de Paiva P. R., de Souza Junior T. F., Conte E.* Deformations on a Tailings Dam Embankment Due to Its Heightening and Reservoir Filling // Research Square. 2021. – Препринт.
- [13] *Саинов М.П., Ганеев Д.С., Кудрявцев Г.М.* Влияние напряжённого состояния каменно-земляной плотины на устойчивость её откосов // Интернет-журнал «Науковедение». 2017, Т. 9, №6.
- [14] *Guo X., Dias D., Carvajal C., Peyras L., Breul P.* Three-dimensional probabilistic stability analysis of an earth dam using an active learning metamodeling approach // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2022, Vol. 81, No. 40.
- [15] *Dong K., Li Z., Lu X., Chen C., Sheng J., Chen J., Wu Z.* Analysis of Dam Overtopping Failure Risks Caused by Landslide-Induced Surges Considering Spatial Variability of Material Parameters // Frontiers in Earth Science. 2021, Vol. 9, P. 675900.
- [16] *Ehiorobo J., Ehigioro-Irughe R.* 3-D Spatial Analysis of Deformation at Ikpoba Dam from GPS Data // Journal of the Nigerian Association of Mathematical Physics. 2011, Vol. 19, pp 493 – 498.
- [17] *Sohrabi Bidar A., Isari M., Tarinejad R., Maghami S.* Topography Effects In Pacoima Dam Site Using Time-Domain Three-Dimensional Bem // Bulletin Of Earthquake Science And Engineering. 2019, Vol. 6, No. 1, pp. 23-34.
- [18] *Konstantinov I., Kuzmin S., Savchenko A., Boychenko P., Nagornya D.* Allowance for Sequence of Mass Concrete Dam Erection on Soils During its Stress-strain Analysis // MATEC Web of Conferences. 2016, Vol. 73, P. 01005.
- [19] *Zheng F., Yaqi L.* Deformation characteristics and a safety monitoring model of high arch dam affected by valley narrowing deformation // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021, Vol. 861, P. 042040.
- [20] *Nariman N.A., Lahmer T., Karampour P.* Uncertainty quantification of stability and damage detection parameters of coupled hydrodynamic-ground motion in concrete gravity dams // Frontiers of Structural and Civil Engineering. 2019, Vol. 13, No. 2, pp. 303–323.
- [21] *Arbain A., Mazlan A.Z., Zawawi M.H., Mohd Radzi M.R.* Vibration analysis of Kenyir dam power station structure using a real scale 3d model // Civil and environmental engineering reports. 2019, Vol. 29, No. 3, pp.048-059.
- [22] *Jafari M. K., Davoodi M.* Dynamic characteristics evaluation of Masjed Soleiman Dam using in situ dynamic tests // Canadian Geotechnical Journal. 2006, Vol. 43, No. 10, pp. 997–1014.

- [23] Белостоцкий А.М., Акимов П.А., Нгуен Тай Ханг Лонг. Методика численного моделирования трехмерной системы «основание – плотина – водохранилище» при статических нагрузках и сейсмических воздействиях // Вопросы прикладной математики и механики : сб. науч. тр. / Моск. гос. строит. ун-т. М.: АСВ. 2017, № 20, стр. 364–377.
- [24] Kozinetc G.L., Kozinetc P.V. The calculation of the dynamic characteristics of the spillway of the dam // Magazine of Civil Engineering. 2022, Vol. 113, No.), pp.1-8.
- [25] Galván J.C., et al. Boundary element model for the analysis of the dynamic response of the Soria arch dam and experimental validation from ambient vibration tests // Engineering Analysis with Boundary Elements. 2022, Vol. 144, pp.67-80.
- [26] Arbain A., et al. Vibration analysis of Chenderoh dam physical model spillway structure due to the effect of water spilling: Numerical and Experimental Validation // IOP Conf. Ser.:Mater. Sci. Eng. 2020, Vol. 815, P. 012020.
- [27] Vipparthy R. Static and free vibration analysis of a gravity dam under the influence of hydrostatic pressure using ANSYS finite element models // ResearchGate : препринт. 2022. – URL: <https://www.researchgate.net/publication> (дата обращения: 19.12.2025).
- [28] Altunışık A., Kalkan E., Okur F., Günaydın M., Genç A. F. Experimental Modal Analysis and Structural Health Monitoring of the Double Curvature Deriner Arch Dam // IDUNAS Natural and Applied Sciences Journal. 2021, Vol. 4, No. 1, pp. 22–29.
- [29] Chakraborty S., Das J. T., Puppala A. J., Banerjee A. Natural frequency of earthen dams at different induced strain levels // Engineering Geology. 2019, Vol. 248, pp. 330–345
- [30] Jafari S.R., Pasbani Khiavi M. Parametric Study of the Modal Behavior of Concrete Gravity Dam by Using Finite Element Method // Civil Engineering Journal. 2019, Vol. 5, No. 12, pp. 2614–2625.
- [31] Li Q., Ma G., Li P., Su Z. Dynamic characteristics of tailings dam with geotextile tubes under seismic load // Reviews on Advanced Materials Science. 2021, Vol. 60, No. 1, pp. 599–614.
- [32] Raja M., Maheshwari B. Behaviour of Earth Dam under Seismic Load Considering Nonlinearity of the Soil // Open Journal of Civil Engineering. 2016, Vol. 6, No. 2, pp. 75–83.
- [33] Колтунов М.А., Кравчук А.С., Майборода В.П. Прикладная механика деформируемого твердого тела. М.: Высшая школа, 1983, 349 с.

Дата поступления
18.10.2025

Sultanov K.S., Mirsaidov M.M., Nu'monov A., Urazmuhamedova Z. Qizilsoy gruntli to'g'onining statik kuchlar ta'sirida kuchlanishini baholash

Annotatsiya. Ushbu maqolada turli xil statik kuchlar ostida gruntli to'g'onlarning kuchlanish holatini baholash uchun matematik formulalar, yechim usullari va algoritmlari keltirilgan. Olingan natijalar litsenziyali dasturiy ta'minot yordamida olingan natijalar bilan taqqoslangan. Markaziy yadro bilan loyihalashtirilgan Qizilsoy gruntli to'g'onining kuchlanish holati baholanadi. Aniqlanishicha, tashqi kuchlar ta'sirida to'g'onning yuqori qismining eng past qismida (kichik kesimda) musbat belgi bilan σ_x paydo bo'ladi. To'g'onning yuqori qismi va pastki qismidagi kuchlar hamda gidrostatik suv bosimi birgalikda hisobga olinsa, gorizontal normal kuchlanish bosimga aylanadi.

Kalit so'zlar: grunt to'g'on, kuchlanish holati, chekli elementlar usuli (ChEU), kuchlanish holati, massa kuchlari, gidrostatik suv bosimi, konstruktiv bir jinsiz.

Sultanov K.S., Mirsaidov M.M., Numonov A., Urazmukhamedova Z. Stress state of the Kyzylsay earth dam under static loads

Abstract. This paper presents a mathematical formulation, solution methods, and algorithms for assessing the stress state of earth dams under various static loads. The results are compared with the results obtained using the licensed software package. The stress state of the designed Kyzylsay earth dam with a central core is estimated. It is established that under the action of mass forces in the lowest part of the upstream slope (in a small section) of the dam, stress σ_x with a positive sign occurs. When mass forces and hydrostatic water pressure in the lower part of the upstream slope of the dam are also taken into account, the horizontal normal stress becomes compressive.

Key words: earth dam, stress state, finite element method (FEM), mass forces, hydrostatic water pressure, structural heterogeneity.

УДК 539.3

ПРОДОЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ С ПРОСТРАНСТВЕННЫМ ФУНДАМЕНТОМ НА ОСНОВЕ КОНТИНУАЛЬНОЙ ПЛАСТИНЧАТОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛИ

Усаров М.К., Шамсиев Д.К., Усанов Ф.А.

*Институт механики и сейсмостойкости сооружений им.М.Т.Уразбаева АН РУз, Ташкент, Узбекистан.
E-mail: umakhamatali@mail.ru*

Аннотация. В статье приведено численное решение динамической задачи продольных колебаний многоэтажного здания с пространственным фундаментом на основе пространственной континуальной пластинчатой модели, разработанной с использованием бимоментной теории пластин. Приводятся основные уравнения продольных колебаний, граничные и контактные условия здания. Получены численные результаты расчетов перемещений при продольных колебаниях многоэтажных зданий для различных вариантов геометрических размеров.

СОДЕРЖАНИЕ

К.С.Султанов, М.М.Мирсаидов, А.Нуьмонов, З.Уразмухамедова. Напряженное состояние Кызылсайской грунтовой плиты под действием статических нагрузок	3
М.К.Усаров, Д.К.Шамсиев, Ф.А.Усанов. Продольные колебания многоэтажного здания с пространственным фундаментом на основе континуальной пластинчатой пространственной модели	11
З.Сирожидинов, Х.А.Гуломова. Вероятностно-статистический анализ результатов испытаний прочности бетона.....	21
К.Мамасолиев, Э.А.Исмоилов. Математическое моделирование продольно-радиальных колебаний трансверсально-изотропных цилиндрических оболочек, нестационарно взаимодействующих с внутренней вязкой жидкостью.....	30
Ш.И.Норматов. Определение минимального коэффициента устойчивости откосов грунтовых плотин методом кругло-цилиндрической поверхности скольжения с применением автоматизированного алгоритма нахождения центра окружности.....	38
А.Э.Кудратов. Устойчивость упругого стержня с гасителями колебаний при поперечных колебаниях.....	47
Ф.А.Усанов. Оценка напряженно-деформированного состояния пластины под действием касательных нагрузок на основе бимоментной теории.....	54
Б.Х.Хужаёров, Ж.Р.Туйгунов. Задача аномальной фильтрации жидкости в кусочно-неоднородной пористой среде.....	60
С.Худайкулов, Ж.Каниев, А.Абдувахобов. многофазные волны при взаимодействии дисперсных смесей с турбулентными потоками и их применение.....	71
М.Е.Мадалиев. Численный анализ 3d крыла Onera M6 на основе моделей турбулентности SA и SST.....	76
Д.С. Яхшибаев. Динамика перемешивания стратифицированных потоков туямуянского водохранилища.....	82
Т.Р.Пулатов, Ж.А.Умрзоков. Математическое моделирование движения жидкости в гидроаккумуляторе гидрорекуперационной тормозной системы.....	86
Г.А.Юсупходжаева, Д.С.Бекчанова. Технология по производству смесовой пряжи из вторичных отходов натурального шелка.....	91
Ш.Т.Равутов. Обоснование параметров зубчатого привода хлопкоуборочного аппарата, оснащенного малогабаритными эллиптическими барабанами	96
О.С. Норкузиев. Расчетный анализ процесса съема хлопка со шпинделей хлопкоуборочных машин.....	103
Л.Э.Турсунбоев. Определение сил реакции опор прижимного устройства шлифовальной машины.....	110
Абдукаримов А., Рахмонов Х.Н. Синтез комбинированных зубчато-рычажных дифференциальных передаточных механизмов.....	117
Д.М.Мухаммадиев, Х.А.Ахмедов, Б.Х.Примов, О.Х.Абзоиров. Экспериментальное исследование привода пильного волоконотделителя с семяотводящим устройством.....	130

MUNDARIJA

K.S.Sultanov, M.M.Mirsaidov, A.Nu'monov, Z.Urazmuhamedova. Qizilsoy gruntli to'g'onining statik kuchlar ta'sirida kuchlanishini baholash.....	3
M.K.Usarov, F.A.Usanov, D.K.Shamsiyev. Kontinual plastinali fazoviy model asosida fazoviy poydevorga ega ko'p qavatli binoning bo'ylama tebranishlari	11
Z.Sirojiddinov, X.A.Gulomova. Beton mustahkamligi sinovlari natijalarining ehtimollik-statistik tahlili.....	21
K.Mamasoliyev, E.A.Ismoilov. Ichki qovushoq suyuqlik bilan o'zaro nostatsionar ta'sirlashuvchi transversal-izotrop silindrik qobiqning bo'ylama-radial tebranishlarini matematik modellashtirish	30
Sh.I. Normatov. Aylana markazini avtomatlashtirilgan aniqlash algoritmini qo'llab, gruntli to'g'on qiyaliklari ustuvorligini minimal ustuvorlik koeffitsiyentini doiraviy-silindrik siljish sirti usuli bilan aniqlash	38
A.E. Kudratov. Dinamik so'ndirgichlar o'rnatilgan elastik sterjenning ko'ndalang tebranishlari ustuvorligi.....	47
F.A. Usanov. Bimoment nazariyasi asosida urinma yuklar ta'siridagi plastinaning kuchlanganlik-deformatsiyalanganlik holatini baholash.....	54
B.Xujayorov, J.R.Tuyg'unov. Bo'lakli bir jinsli bo'lmagan g'ovak muhitda suyuqliklarning anomal sizish masalasi.....	60
S.Xudayqulov, J.Kaniev, A.Abdurahobov. Dispers aralashmalar turbulent oqimlar bilan o'zaro ta'sirlashganda ko'p fazali to'lqinlar va ularning qo'llanilishi.....	71
M.E. Madaliyev. SA va SST turbulent modeli asosida Onera M6 3D qanotining sonli tahlili	76
D.S. Yaxshiboyev Tuyamuyun suv omboridagi qatlamli oqimlar dinamika aralashishi.....	82
J.A.Umrzoqov, T.R. Pulatov. Hidroreperativ tormoz tizimidagi gidroakkumulyator ichidagi suyuqlik harakatini matematik modellashtirish	86
G.A.Yusupxodjayeva, D.S.Bekchanova. Tabiiy ipakning ikkilamchi chiqindilaridan aralash yigirilgan ip ishlab chiqarish texnologiyasi	91
Sh.T. Ravutov. Kichik gabaritli elliptik barabanlar bilan jihozlangan paxta terish apparati tishli yuritmasi parametrlarini asoslash ...	96
O.S.Norqo'ziyev. Paxta terim mashinalarining shpindel yuzasidagi paxta o'ramidan tozalash jarayonining hisobiy tahlili.....	103
L.E. Tursunboyev. Jilvirlash mashinasi uzatuvchi qurilmasining tayanchlaridagi reaksiya kuchlarini tadqiq qilish.....	110
A.Abdukarimov, X.N. Raxmonov. Kombinatsiyalangan tishli-richagli differensial uzatish mexanizmlarini sintez qilish.....	117
D.M.Muhammadiyev, H.A.Axmedov, B.X.Primov, O.X. Abzoirov. Chigiti chiqaruvchi qurilmali arrali tola ajratgich harakat uzatish tizimining eksperimental tadqiqoti.....	130