

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ  
ОЛИЙ ВА ЎРТА МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

**ТОШКЕНТ ИРРИГАЦИЯ ВА ҚИШЛОҚ ХЎЖАЛИГИНИ  
МЕХАНИЗАЦИЯЛАШ МУХАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ**

---

**“ДЕФОРМАЦИЯЛАНУВЧАН ҚАТТИҚ ЖИСМЛАР  
МЕХАНИКАСИ”**

**МАВЗУСИДАГИ РЕСПУБЛИКА ИЛМИЙ-АМАЛИЙ АНЖУМАН**

**МАЪРУЗАЛАР Тўплами**

**I -ЖИЛД**

**СБОРНИК ДОКЛАДОВ**

**РЕСПУБЛИКАНСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**“МЕХАНИКА ДЕФОРМИРУЕМОГО  
ТВЕРДОГО ТЕЛА”**

**ТОМ-I**

**Тошкент шаҳри. 2018 йил 25 октябрь**

УДК 531:624.042.7:626.8:699.841:627.8.042.7

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН ПРИ МНОГОКОМПОНЕНТНОМ КИНЕМАТИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ОСНОВЕ ПЛОСКОЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛЕЙ

*Мирсаидов Мирзиёд Мирсаидович, д.т.н., профессор; Султанов Тохиржон Закирович, д.т.н., доцент; Юлдошев Бахтиёр Шодмонович, PhD, доцент.  
Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства*

**Аннотация.** Приводятся результаты исследований динамики грунтовых плотин с использованием плоской и пространственной моделей сооружений с учетом вязкоупругих свойств грунта при многокомпонентном кинематическом воздействии. Проанализировано динамическое поведение плотины при многокомпонентном кинематическом воздействии с использованием плоской и пространственной моделей. Достаточно хорошее совпадение результатов по динамическому поведению сооружения, полученных по плоской и пространственной моделям для Гиссаракской плотины, объясняется её протяженной геометрией, отвечающей требованиям плоско - деформированного состояния. Геометрические размеры Сохской плотины, указанным требованиям не отвечают, поэтому и наблюдается отличие в результатах, полученных по плоской и пространственной моделям. Поэтому для оценки динамического поведения непротяженных плотин при многокомпонентных кинематических воздействиях желательно использовать пространственную модель сооружения.

**Ключевые слова:** грунтовая плотина, многокомпонентное кинематическое воздействие, динамическое поведение, колебание, резонанс, вязкоупругие свойства грунта, протяженное сооружение, плоская и пространственная модели.

## STUDY OF THE DYNAMICS OF EARTH DAMS UNDER MULTICOMPONENT KINEMATIC EFFECT ON THE BASIS OF PLANE AND SPATIAL MODELS

*Mirsaidov Mirziyod Mirsaidovich, Doctor of Technical Sciences, Professor;  
Sultanov Tohirjon Zakirovich, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor; Yuldoshev Bakhtiyor Shodmonovich, PhD, Associate Professor.  
Tashkent Institute of Engineers of Irrigation and Mechanization in Agriculture*

**Abstract.** Results of studies of the dynamics of earth dams using plane and spatial models of structures are given, taking into account the viscoelastic properties of soil under multicomponent kinematic effect. Dynamic behavior of the dam under multicomponent kinematic effect is analyzed with the use of plane and spatial models. A fairly good agreement of results on dynamic behavior of structure, obtained with plane and spatial models for the Gissarak dam, is explained by its extended geometry, which meets the requirements of a plane-deformed state. Geometric dimensions of the Sokh dam do not meet these requirements, and therefore a difference is observed in the results obtained with plane and spatial models. Therefore, to evaluate the dynamic behavior of unextended dams under multicomponent kinematic effect, it is advisable to use the spatial model of the structure.

**Keywords:** earth dam, multicomponent kinematic effect, dynamic behavior, oscillation, resonance, viscoelastic properties of soil, extended structure, plane and spatial models.

**Введение:** Сейсмические колебания грунта в зависимости от геологических условий местности, расстояния от эпицентра носят сложный характер. Опыт последних разрушительных землетрясений и теоретические исследования позволили многим специалистам сделать вывод о том, что причиной многих разрушений явился весьма приближенный расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) без учета реального характера работы сооружений [1,2], вклад высших форм колебаний [3-5], а также многокомпонентности сейсмического воздействия [1-3].

При расчете сооружений в действующих нормативных документах часто принимается во внимание только одна компонента сейсмического воздействия. Считается, что вертикальные ускорения значительно меньше горизонтальных. Однако инженерный анализ последствий различных землетрясений показал наличие некоторых разрушений, характер которых трудно объяснить действием только одной горизонтальной составляющей сейсмического воздействия [6-8].

По данным сейсмометрических наблюдений установлено, что во время Ташкентского (1966г.) землетрясения и его повторных толчках, даже на расстоянии 12-15 км от эпицентра, расположенного в центре города, преобладали именно вертикальные колебания почвы [8]. При землетрясении в районе Газли (1976г.) была зарегистрирована вертикальная компонента ускорений, максимум которой достигал величины около 1,3g- наибольшего зарегистрированного когда-либо ускорения. В то же время максимум горизонтальной компоненты ускорения составил 0,6g [9].

Выполненные в последнее время исследования динамики грунтовых плотин в основном рассматривали с использованием плоской модели сооружения при однокомпонентных воздействиях, а в редких случаях двухкомпонентных кинематических воздействий [10-17].

В связи с изложенными фактами представляется целесообразным исследование динамического поведения различных грунтовых плотин с использованием плоской и пространственной моделей сооружения, с учетом вязкоупругих свойств грунта и неоднородных особенностей конструкции при действии многокомпонентного ускорения землетрясения.

Целью данного исследования является ответ на вопрос насколько адекватно, использование различных моделей сооружения при многокомпонентном воздействии.

**Методика исследований:** Постановка задачи, математические модели для плоских и пространственных задач, а также методы и алгоритмы решения рассматриваемых задач подробно изложены в работах [4,5,13,14,15,16,18,19].

Далее рассмотрена динамическая задача об определении перемещений различных точек плотины при многокомпонентном динамическом воздействии с использованием плоской и пространственной моделей сооружения.

В обоих случаях, в результате конечно-элементной дискретизации сооружения получается разрешающая система интегро-дифференциальных уравнений с соответствующими начальными условиями, решение которых осуществлялось методом Ньюмарка [18,19].

При конкретных расчетах для описания вязкоупругих свойств грунта с использованием наследственной теории Больцмана-Вольтера [20,21]. с ядром А.Р.Ржаницына [21], и приведенными в [22] вязкоупругими параметрами грунта.

В качестве внешнего воздействия использовано кинематическое воздействие в основании сооружения в виде

$$\text{горизонтальное} \quad \{u_o(t)\} = \begin{cases} a \sin(pt), & 0 < t \leq t^* \\ 0, & t^* > t \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{вертикальное} \quad \{v_o(t)\} = \begin{cases} b \sin(pt), & 0 < t \leq t^* \\ 0, & t^* > t \end{cases} \quad (2)$$

продольное (перпендикулярно плоскости центрального сечения)

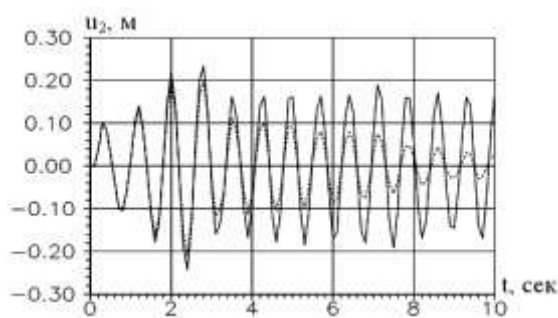
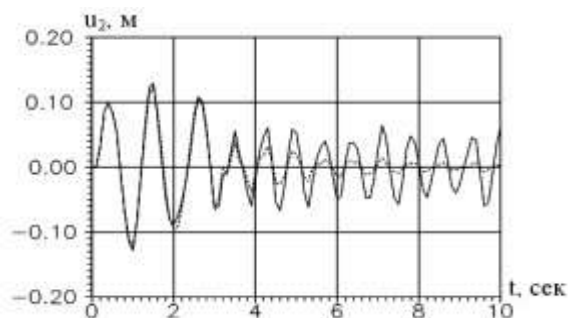
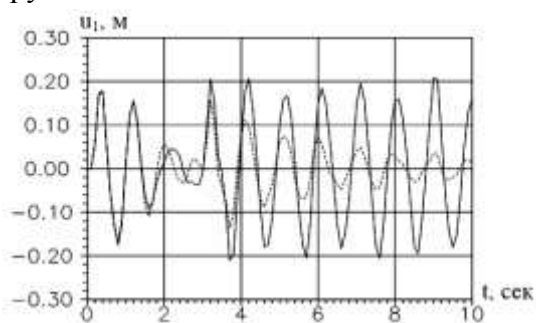
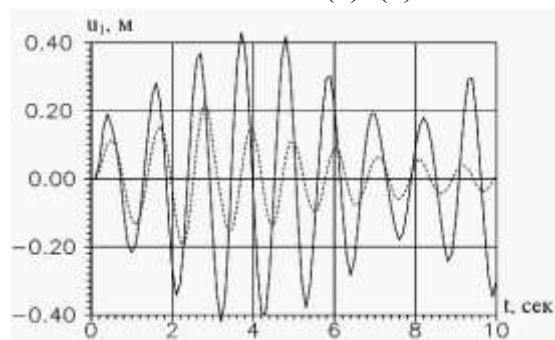
$$\{w(t)\} = \begin{cases} c \sin(pt), & 0 < t \leq t^* \\ 0, & t^* > t \end{cases} \quad (3)$$

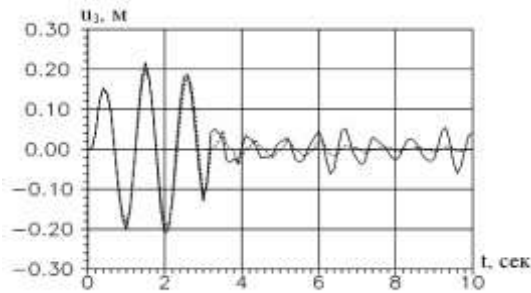
Здесь:  $p$ -частота;  $a, b, c$ - амплитуды;  $t^*$ -время воздействия;  $t$ -рассматриваемое время процесса.

Частота воздействия « $p$ » выбиралась в трех вариантах, соответствующих до-резонансному, резонансному и пост резонансному режимам.

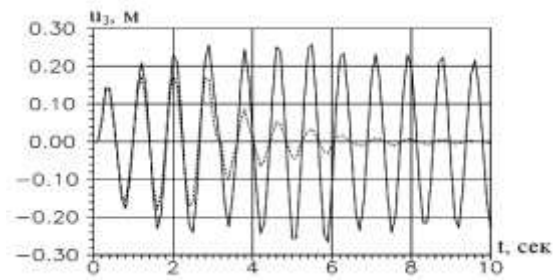
При расчетах параметры кинематического воздействия (1)–(3) были приняты:  $a=0.01$  м,  $b=0.01$  м,  $c=0.01$  м;  $t^*=3, 5, 10$  сек. Частота воздействия принималась: для Гиссаракской плотины:  $p=5.70$  рад/сек (до резонансный режим),  $p=7.70$  рад/сек (пострезонансный режим); для Сохской:  $p=16.30$  рад/сек (дорезонансный режим),  $p=22.00$  рад/сек (пострезонансный режим).

**Результаты исследований:** В результате исследований получены перемещения различных точек плотины, с использованием пространственной модели, которая далее сравнивались с результатами перемещений тех же точек плоской модели при совместном кинематическом воздействии (1)–(3) в основании сооружения.





Колебание точки плотины в дорезонансном режиме ( $\omega_1 > p$ )



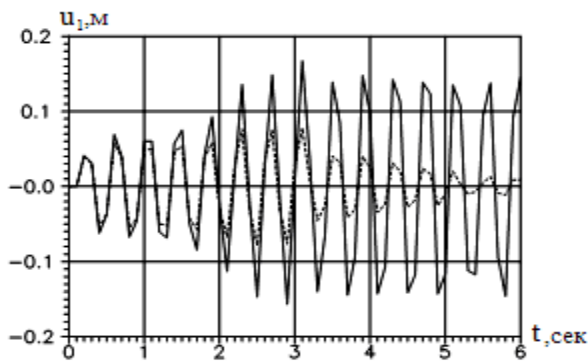
Колебание точки плотины в пост-резонансном режиме ( $\omega_1 < p$ )

Рис.1. Перемещения ( $u_1, u_2, u_3$ ) точки ( $x_1=8.0$  м,  $x_2=138,5$  м,  $x_3=330.0$  м) Гиссаракской плотины при многокомпонентном кинематическом воздействии по пространственной модели (при  $t^*=3$ сек.)

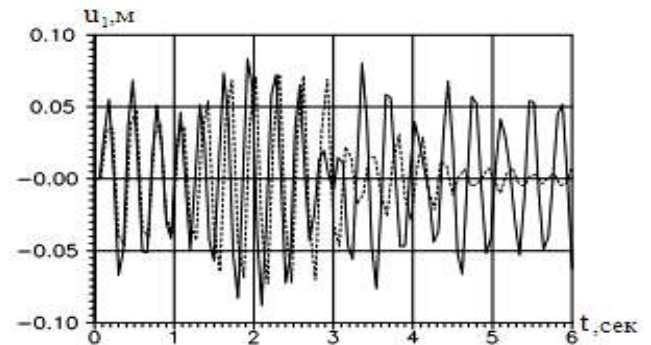
На рис. 1,2,3 показано изменение по времени компонентов вектора перемещений ( $u_1, u_2, u_3$ ), полученные для точки ( $x_1=8.0$  м,  $x_2=138.5$  м,  $x_3=330.0$  м) Гиссаракской и для точки ( $x_1=5.0$  м,  $x_2=87.0$  м,  $x_3=24.5$  м) Сохской плотины с использованием пространственной модели при различных частотах « $p$ » многокомпонентного кинематического воздействия (1)–(3). Сплошная линия (—) соответствует упругому расчету, пунктирная (-----) - результат вязкоупругого расчета.

а)

б)

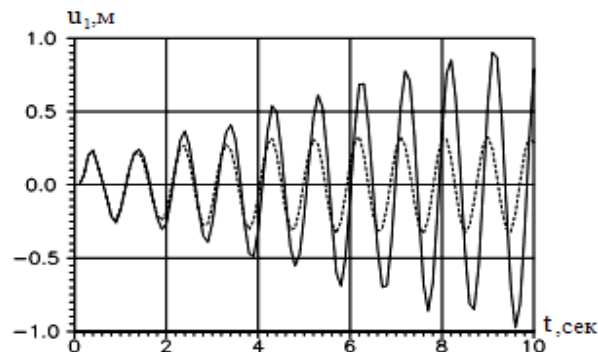


Колебания точки плотины в дорезонансном режиме ( $\omega_1 > p$ )



Колебаний точки плотины в пострезонансном режиме ( $\omega_1 < p$ )

Рис.2 . Горизонтальные перемещения ( $u_1$ ) точки ( $x_1=5.0$  м,  $x_2=87.0$  м,  $x_3=24,5$  м) Сохской плотины при многокомпонентном кинематическом воздействии по пространственной модели (при  $t^*=3$ сек.)



Колебание точки плотины в резонансном режиме ( $\omega_1 = p$ )

Рис.3. Горизонтальные перемещения ( $u_1$ ) точки ( $x_1=8.0$  м,  $x_2=138,5$  м,  $x_3=330.0$  м) Гиссаракской плотины при многокомпонентном кинематическом воздействии по пространственной модели (при  $t^*=10.0$ сек.)

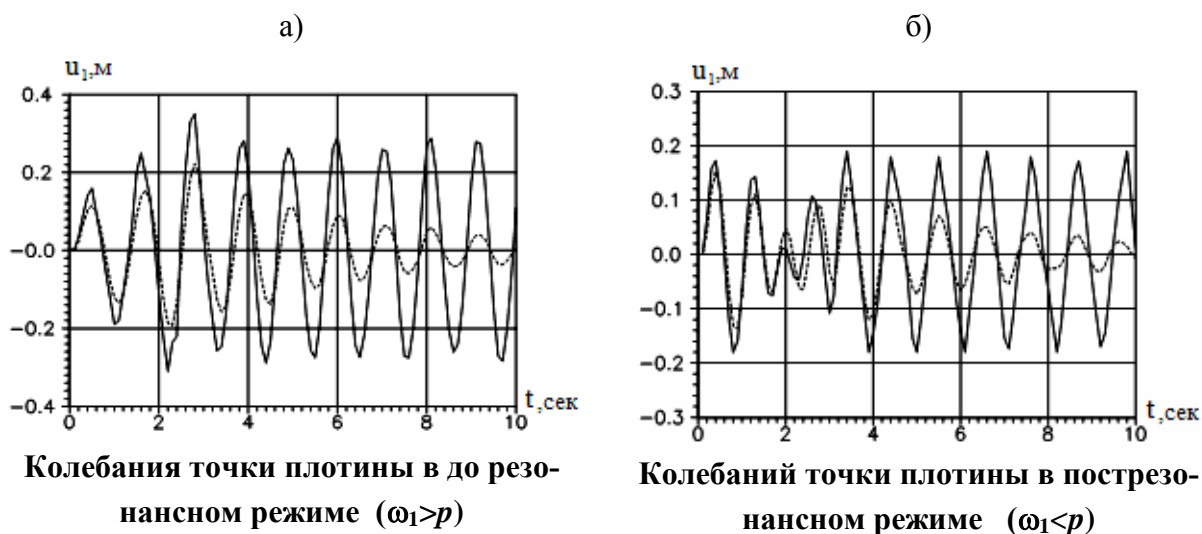
Анализ полученных перемещений на (рис.1,2,3) точек плотин при многокомпонентном кинематическом воздействии в дорезонансном режиме (с частотой  $p < \omega_0$ ) показывает, что горизонтальные колебания разных точек плотины происходят с наибольшей амплитудой, превышающей почти в два раза амплитуду вертикальных и продольных колебаний. В пострезонансном режиме амплитуды колебаний упругого сооружения имеют почти одинаковую величину для всех компонентов перемещений (рис. 1).

Учет вязкоупругих свойств грунта сильно гасит горизонтальные колебания, как в процессе воздействия, так и после него. При этом амплитуда горизонтальных вязкоупругих колебаний (в дорезонансном режиме) почти в два раза меньше амплитуды упругих колебаний. Гашение колебаний других компонентов перемещений точки, в основном, происходит после окончания воздействия как в дорезонансном, так и в пострезонансном режимах. При этом в пострезонансном режиме амплитуды колебаний точки по всем направлениям (как в упругом, так и в вязкоупругом случаях) уступают амплитудам горизонтальных колебаний в дорезонансном режиме. Такой характер колебаний наблюдается и для Сохской плотины (рис. 2), колебания которой являются высокочастотными.

Амплитуда колебаний точки плотины в резонансном режиме при упругом грунте бесконечно растет по времени (рис. 3). При учете вязкоупругих свойств грунта амплитуда колебаний плотины ограничена и с течением времени при продолжающемся воздействии остается на одном уровне (рис.3).

На рис. 4 и рис. 5 приведено изменение горизонтальных перемещений ( $u_1$ ) по времени точек ( $x_1=8.0$  м,  $x_2=138.5$  м) Гиссаракской и точки ( $x_1=5.0$  м,  $x_2=87.0$  м) Сохской плотин по плоской модели при различных частотах « $p$ » двухкомпонентного кинематического воздействия (1) – (3).

Анализ результатов на рис. 4 и рис. 5, полученных по плоской модели при двухкомпонентном кинематическом воздействии, показывает на одинаковый характер этих колебаний с колебаниями, полученными по пространственной модели (рис.1 и рис.3). Близкими являются и амплитуды перемещений для пространственной и плоской моделей в дорезонансном и пострезонансном режимах, особенно, для точек Гиссаракской плотины (рис.1 и рис.4). Для Сохской – различие более заметно (рис. 2 и рис. 5).

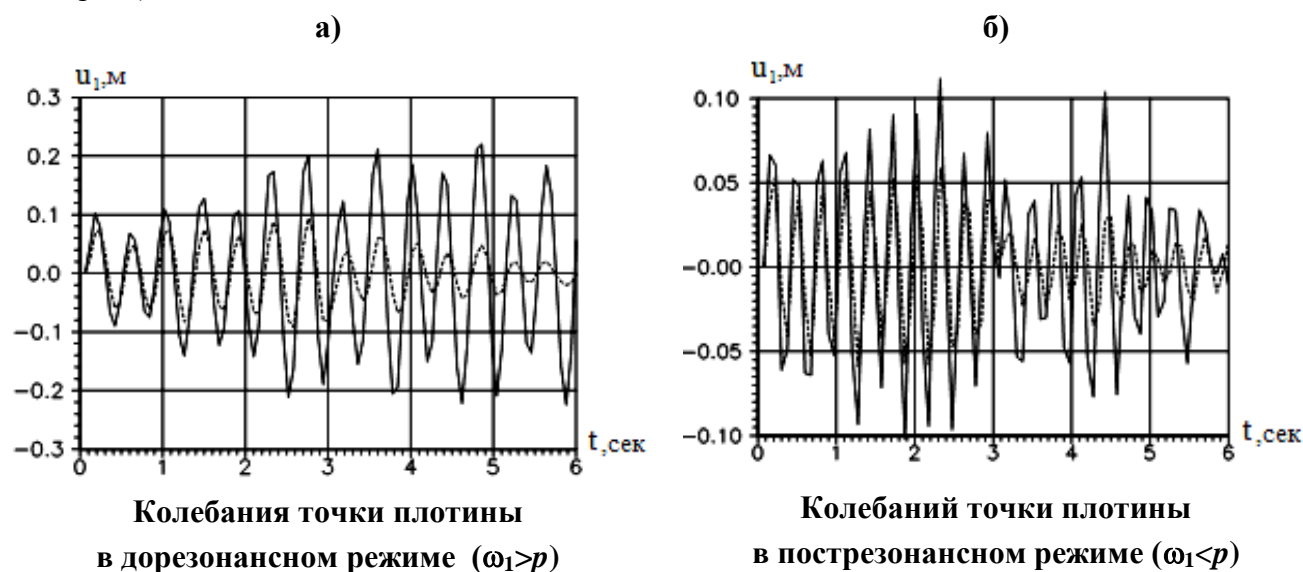


**Рис.4. Изменение горизонтальных перемещений ( $u_1$ ) точки ( $x_1 = 8.0$  м,  $x_2 = 138,5$  м) Гиссаракской плотины при двухкомпонентном воздействии по плоской модели ( $t^* = 3$ сек.)**

Вертикальные и продольные перемещения уступают по величине горизонтальным  $u_1$ . Объяснением этому является характер первой формы колебаний, представляющей сдвиг поперечного сечения в направлении оси  $x_1$ .

Из приведенных результатов (рис.1 и рис.4) видно, что учет вязкоупругих свойств грунта приводит к значительному затуханию колебаний даже во время действия нагрузки как для сооружения с низкочастотным спектром (рис.1), так и для высокочастотного (рис.3), что объясняется использованием вязкоупругой модели, при которой изменение диссипативных свойств материала слабо зависит от частоты колебаний.

При многокомпонентном воздействии использование плоской модели и пространственной приводит, практически, к одинаковым результатам (сравнение рис. 1 и рис. 4 для Гиссарака).



**Рис.5. Изменение горизонтальных перемещений ( $u_1$ ) точки ( $x_1=5\text{м}, x_2=87\text{м}$ ) Сохской плотины при двухкомпонентном воздействии по плоской модели ( $t^*=3\text{сек.}$ )**

Таким образом, для протяженных сооружений при определении динамики плотины при многокомпонентном воздействии достаточно использовать плоскую расчетную модель, дающую результаты удовлетворительной точности. При этом горизонтальные перемещения  $u_1$  точек как плоской, так и пространственной моделей мало отличаются друг от друга (рис.1 и рис.4). Достаточно хорошее совпадение результатов (рис.1 и рис.4), полученных по плоской и пространственной моделям для Гиссаракской плотины, объясняется её геометрией, отвечающей требованиям плоско - деформированного состояния. Что касается Сохской плотины, то его геометрические размеры, указанным требованиям не отвечают, поэтому и наблюдается небольшое отличие в результатах (рис.2 и рис.5), полученных по плоской и пространственной моделям.

**Выводы:** 1. Приведены результаты исследований динамики грунтовых плотин с использованием плоской и пространственной моделей сооружений с учетом вязкоупругих свойств грунта при многокомпонентном кинематическом воздействии.

2. Проанализировано динамическое поведение протяженных и непротяженных плотин при многокомпонентном кинематическом воздействии с использованием плоской и пространственной моделей.

3. Установлено, что для оценки динамического поведения протяженных плотин при многокомпонентном кинематическом воздействии возможно использование плоской расчетной модели,

4. При многокомпонентном кинематическом воздействии, вязкоупругие свойства грунта приводят к значительному затуханию колебаний для (протяженного) сооружения с низкочастотным и для (непротяженного) сооружения с высокочастотным спектром, что объясняется использованием вязкоупругой модели, при которой изменение диссипативных свойств материала слабо зависит от частоты колебаний

#### Использованная литература:

1. Красников Н. Д. Сейсмостойкость гидротехнических сооружений из грунтовых материалов. М.: Энергоиздат, 1981. 240с.
2. Ляхтер В.М., Ивашенко И.Н. Сейсмостойкость грунтовых плотин. -М.: Наука, 1986. - 233 с.
3. Мирсаидов М.М., Трояновский Е.И. Динамика неоднородных систем с учетом внутренней диссипации и волнового уноса энергии. -Ташкент: Фан, 1990. -108 с.
4. Sultanov, T.Z., Khodzhaev, D.A., Mirsaidov, M.M., The assessment of dynamic behavior of heterogeneous systems taking into account non-linear viscoelastic properties of soil. . Magazine of Cive Engineering, 2014. No. 1. Pp.80-89. doi: 10.5862/MCE.45.9. doi: 10.5862/MCE.45.9.
5. .Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z., Abdikarimov R.A., Ishmatov A.N., Yuldoshev B.Sh., Toshmatov E.S., Jurayev D.P. 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.
6. Поляков С.В. Последствия сильных землетрясений. М.: Стройиздат, 1978. 311 с.
7. Поляков С.В. Сейсмостойкие конструкции зданий. М.: Высшая школа, 1983. 304 с.
8. Рассказовский В.Т., Рашидов Т.Р., Абдурашидов К.С. Последствия Ташкентского землетрясения. Ташкент: Фан. 1967, 144 с.
9. Штейнберг В.В., Плетнев К.Т., Грайзер В.М. Акселерограммы колебаний грунта при разрушительном Газлийском землетрясении 17 мая 1976 г.// Сейсмостойкое строительство. М., 1977. №1. С.45-61.
10. Султанов К.С., Хусанов Б.Э. Определение просадки нелинейно-деформируемого грунтового массива при увлажнении //Журн. Основания, фундаменты и механика грунтов.– Москва, 2002. -№3. - С.2-4.
11. Султанов К.С., Хусанов Б.Э., Салямова К.Д., Умарханов С.И. Влияние влажности грунта на напряженное состояние грунтовой плотины при сейсмическом воздействии //Журн. Проблемы развития транспортных и инженерных коммуникаций. –Москва, 2003. -№2-3.-С.22-26.
12. Султанов К.С., Салямова К.Д. – Напряженное состояние плотины с учетом упругопластических деформаций грунта // Повышение эффективности, надёжности и безопасности гидротехнических сооружений: Материалы Республиканской научно-практ. конф. 13-14 декабря 2012. – Ташкент, 2012. – С. 131-135.
13. 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>.
14. Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z. Assessment of stress-strain state of earth dams with allowance for non-linear strain of material and large strains. Magazine of Cive Engineering, 2014. No. 5. Pp.73-82. doi: 10.5862/MCE.49.8.



15. Mirsaidov M.M. Seismic stability of different earth dams.//6th International Conference on Dam Engineering. 15-17 February 2011.- LNEC. Lisbon, Portugal, 2011. - pp.787-798.
16. Sultanov T.Z., Mirsaidov M.M., Khodjaev D.A. Evaluation of Dynamic Behavior of Non-uniform Structures with Account of Non-linear and Viscous-elastic Characteristics of Material // Proc. of Australasian Structural Engineering Conference, 11-13 July 2012. ASEC, Perth, Australia, pp.63-70.URL: <http://www.asec2012.com>.
17. Барышева Н.Н., Селезнев Г.С. Колебания плотины Нурекской ГЭС при землетрясении 30 июля 1974 г. // Сейсмостойкость плотин. Вып. 4. Душанбе, 1978. С.126-134.
18. Мирсаидов М.М. Теория и методы расчета грунтовых сооружений на прочность и сейсмостойкость.- Ташкент: Фан, 2010.-312 с.
19. Mirsaidov M.M., Sultanov T.Z. Theory and Methods of Strength Assessment of Earth Dams. Lambert Academic Publishing. Saarbrücken/ Deutschland \ Germany\, 2015. 341 p.
20. Ильюшин А.А., Победра Б.Е. Основы математической теории термо-вязкоупругости. -М.: Наука, 1970. -280 с.
21. Колтунов М.А. Ползучесть и релаксация.-М.:Высшая школа, 1976.-277 с.
22. 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, Iss. 6, Pp. 250-256.

УДК 539.411.5:539

### ОБ ОДНОЙ МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИЛЫ, НА ПОВЕРХНОСТИ ОБОЛОЧЕЧНОЙ КОНСТРУКЦИИ

*Т.М.Мавланов- д.т.н., профессор, Э.С.Тошматов-ассистент, А.Т.Нуъмонов- ассистент  
Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства.*

**Аннотация.**Статья посвящена определению полного давления жидкости и давления над свободной поверхностью, которая определяется с использованием линеаризованного интеграла Лагранжа-Коши. Градиент поля массовых сил при этом считается перпендикулярным продольной оси оболочки.

Установлено, что положение места закрепления оболочки значительно влияет на низшую частоту колебаний, в то время как высшие частоты изменяются незначительно.

**Ключевые слова:** Оболочка, интеграл Лагранжа – Коши, сооружения, взаимодействия, деформируемость, грунт, жидкость.

### ON THE METHODS FOR DETERMINATION OF HYDRODYNAMIC FORCE ON THE SURFACE OF SHELL STRUCTURE

*T.M. Mavlanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, E.S. Toshmatov – Lecturer,  
A.T. Numonov – Lecturer  
Tashkent Institute of Engineers of Irrigation and Mechanization in Agriculture.*

**Abstract.**The paper is devoted to the determination of total fluid pressure and pressure over a free surface, determined using the linearized Lagrange-Cauchy integral. The gradient of mass forces field is assumed to be perpendicular to the longitudinal axis of the shell.