



УДК 625.712.32

DOI: 10.35803/1694-5298.2019.2. 275-279

**АБДУЖАБАРОВ А.Х.**, КГУСТА им. Н. Исанова, Бишкек, Кыргызская Республика,  
e-mail: [alai.68@mail.ru](mailto:alai.68@mail.ru)

**ABDUJABAROV A.H.**, KGUSTA them. N. Isanova, Bishkek, Kyrgyz Republic.

**КУРБАНБАЕВ А.Б.**, КГУСТА им. Н.Исанова, Бишкек, Кыргызская Республика,  
e-mail: [alai.68@mail.ru](mailto:alai.68@mail.ru)

**KURBANBAYEV A.B.**, KGUSTA them.N.Isanova, Bishkek, Kyrgyz Republic.

**ХАСАНОВ Н.М.**, Технический университет им. М.С. Осими, Душанбе, Таджикистан,  
e-mail: [alai.68@mail.ru](mailto:alai.68@mail.ru)

**KHASANOV N.M.**, Technical University. M.S. Oshimi, Tajikistan.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ТОННЕЛЕЙ ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННЫХ ВОДОЙ

## EXPERIMENTAL STUDIES OF SEISMIC RESISTANCE OF HYDROTECHNICAL TUNNELS PARTIALLY FILLED WITH WATER

*Суу катмарынын жана анын агуу кылдамдыгынын гидротехникалык туннельдин кабыгынын чыңалуу чондугуна тийгизген таасирин борборлоштурулган моделдөө машинасы менен эксперименттик изилдөөлөрдүн натыйжасы баяндалды.*

**Өзөк сөздөр:** туннель, топурак, суу, ылдамдык, чыңалуу, амплитуда-жыштык мүнөздөмөсү, бетон каптамасы.

*Получены результаты экспериментальных исследований на машине центробежного моделирования влияния слоя воды и скорости ее движения на величину напряжения в оболочке гидротехнического тоннеля.*

**Ключевые слова:** тоннель, грунты, вода, скорость, напряжение, амплитудно-частотные характеристики, бетонная облицовка.

*The results of experimental studies on the machine centrifugal modeling of the influence of the water layer and the speed of its movement on the magnitude of the voltage in the shell of a hydraulic tunnel.*

**Key words:** tunnel, soil, water, speed, voltage, amplitude-frequency characteristics, concrete lining.

В предыдущих научных исследованиях получены теоретические решения горизонтальных и боковых колебаний воды в гидротехнической тоннели при совпадении с сейсмическими воздействиями [1]. В результате было установлено, что горизонтальные поперечные воздействия воды в гидротехническом тоннеле создают значительные колебания, зависящие от скорости движения воды и толщины ее слоя, которые нужно уточнить экспериментальными исследованиями. Эти эксперименты проведены с использованием метода центробежного моделирования с использованием результатов изложенных в работе [2,4,5]. Натурные эксперименты исследования динамических параметров подземных сооружений с окружающим грунтом требуют больших капитальных затрат и длительного времени [3].

Известно, что центробежное моделирование является на современном этапе развития наиболее прогрессивным экспериментальным методом.

Для уточнения теоретических результатов по выявлению сейсмостойкости гидротехнического тоннеля, частично заполненного водой, была использована центрифуга Института механики и сейсмостойкости сооружений академии наук Узбекистана, которая была сконструирована, изготовлена и построена сотрудниками этого института [3].

Центробежная установка с эффективным радиусом вращения  $R = 1,75$  м, состоит из: центробежной камеры, вертикального вала с опорой, коромысла, двух идентичных кареток, токосъемных устройств, шкива и электродвигателя [3]. Управление центробежной установкой размещено в специальном помещении, оснащенной различными приборами и устройствами, обеспечивающими центральное управление и контроль над всеми механизмами и измерительными приборами – рис. 1[1].

В силовом поле, подобного гравитационной, используется поле центробежных сил, которое создается центробежной машиной и имеет в  $-n$  линейный масштаб моделирования:

$$n = \sqrt{\frac{\omega^2 R_{\text{эф}}}{g} + 1}; \quad (1)$$

где  $R_{\text{эф}}$  – эффективный радиус вращения;  $\omega$  – угловая скорость центрифуги;  $g$  – ускорение свободного падения.

Масштабные соотношения при центробежном моделировании равны:

$$L_H = nL_M; S_H = n^2S_M; V_H = n^3V_M; P_H = n^2P_M; \sigma_H = \sigma_M;$$

$$\gamma_H = \frac{\gamma_M}{n}; T_H = T_M; t_H = nt_M;$$

где  $L$  – длина;  $S$  – площадь;  $V$  – объем;  $P$  – сила;  $\sigma$  – напряжение;  $\gamma$  – объем вес;  $T$  – температура;  $t$  – время;  $H; M$  – индексы, соответствующие натуре и модели.

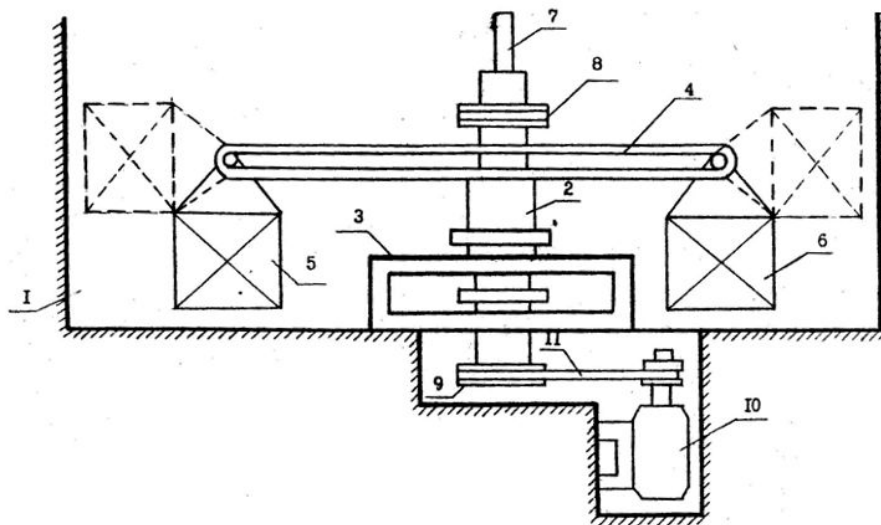


Рис. 1. Общий вид центробежной машины:

1 – центробежная камера; 2 – вал центрифуги; 3 – опора; 4 – коромысло; 5-6 – каретки; 7-8 – токосъемники; 9 – шкив; 10 – электродвигатель; 11 – ремень.

При моделировании движения механической системы, время  $-t$  при центробежном моделировании будет в  $-n$  раз меньше чем в натуре. Из уравнения (1) меняя скорости вращения центрифуги подбирается необходимый масштаб моделирования.

В измерительной части экспериментов на центрифуге осциллографы для регистрации показания тензометрических данных, заменены персональные компьютером и создана специальная программа данных результатов экспериментов. Создана возможность наблюдать на мониторе компьютера за ходом эксперимента в виде графиков. Результаты эксперимента в числовом и графическом виде получают после окончания эксперимента. Эти данные сохраняются в виде файлов и могут быть многократно

использованы. Разработан четырехканальный измерительный комплекс. тензометрические каналы служат для записи сигналов датчиков, которые установлены на исследуемом объекте и один канал для фиксации числа оборотов центрифуги с помощью оптического датчика.

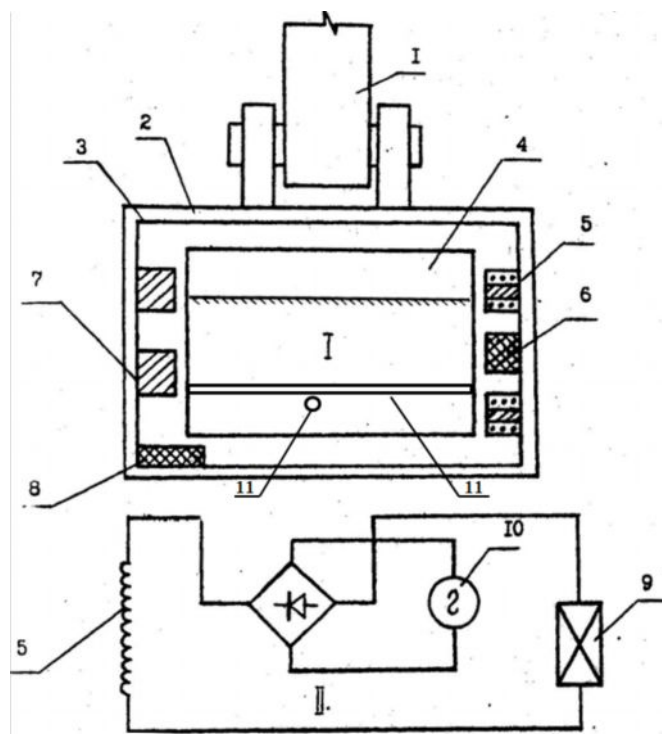


Рис. 2. Устройства по воспроизведению динамических воздействий: I и II – его электрическая схема:

- 1 - коромысло; 2 - каретка; 3 - контейнер; 4 - платформа; 5 - электромагниты;  
6 - упругие элементы; 7 - упругие элементы; 8 - регулятор амплитуды;  
9 - прерыватель; 10 - источник тока; 11 - модель тоннели.

Эксперименты проведены на центрифуге при рабочем масштабе моделирования  $n = 40$ . Использована каретка с размерами: длина – 35,2 см; ширина – 23,8 см; высота рабочего участка – 30,0 см. Испытываемый образец – металлическая труба с геометрическими размерами в модели: наружный диаметр  $-d_m = 1,5$  см, длина трубы  $-L_m = 29,0$  см, толщина трубы  $-\Delta_m = 0,1$  см.

При проведении экспериментов по исследованию динамических нагрузок на модель тоннели частично заполненную водой, металлическая оболочка моделирует железобетонную конструкцию реального сооружения, использовано устройство по созданию динамических воздействий в поле центробежных сил (рис. 2). Для грунта засыпки использован суглинок, как наиболее слабый грунт при землетрясении. Принцип работы устройства заключается в подаче переменного тока в электрическую схему, ток проходит через один полупроводниковый диод и срабатывает электромагнит, расположенный с одной стороны контейнера, при изменении полярности ток проходит через второй полупроводниковый диод и подается напряжение в другой электромагнит, который расположен с другой стороны. Так получают стабильные гармонические колебания платформы с моделью.

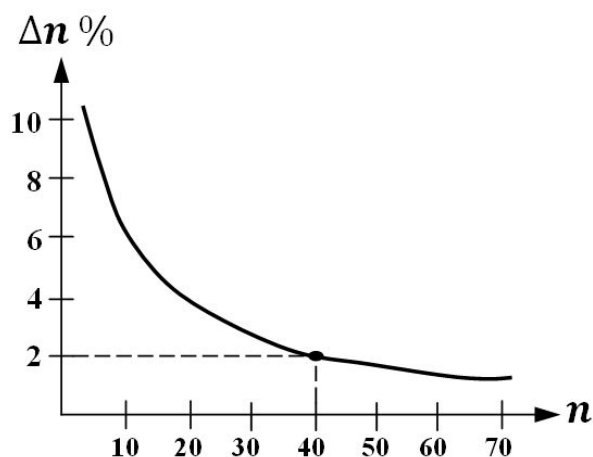


Рис. 3. Зависимость относительной ошибки от масштаба моделирования

На Рис. 3 дана зависимость относительной ошибки от масштаба моделирования. Нами принят масштаб моделирования  $n = 40$ . Относительная ошибка в экспериментах равна  $\Delta n = 2,6 \%$ .

Расположение модели трубы с водой в продольном и поперечном направлении относительно воздействия сейсмической волны. При поперечном воздействии сейсмической волны действие воды увеличивает амплитуду колебания и напряжение в стенках гидравлической тоннели возрастает, а при продольном воздействии увеличивается скорость движения воды, так как трение воды о стенки резко сокращается, а напряжение в оболочке тоннеля уменьшается, что показано на рис. 3,4.

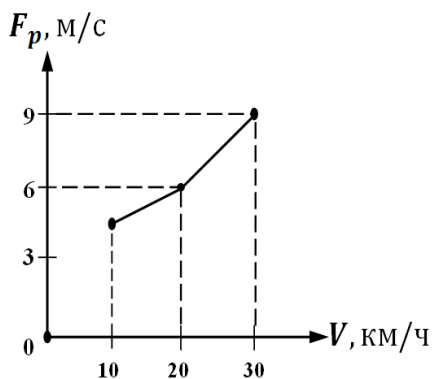


Рис. 4. Зависимость усилия  $F_p$  от скорости движения воды в тоннели.

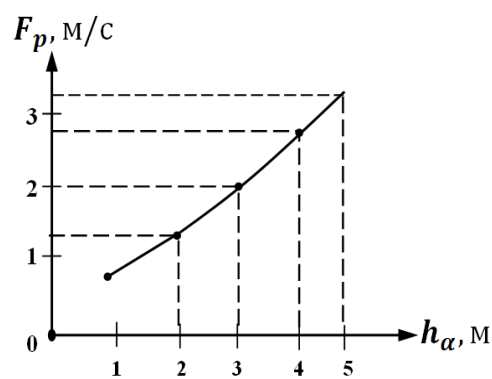


Рис. 5. Горизонтальное воздействие воды от ее веса (толщины слоя)  $-h_\alpha$

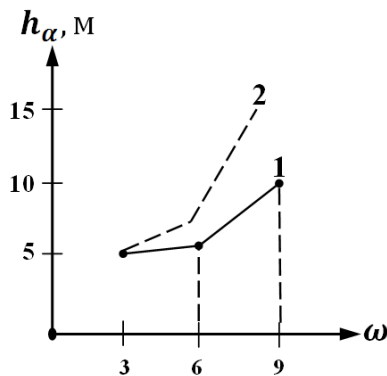


Рис. 6. Частота колебания тоннеля с изменением глубины  $-h_\alpha$ .

- 1 – частота собственных колебаний тоннели;
- 2 – частота собственных колебаний основания.

Из Рис. 6. видно, что с глубиной заложения тоннеля частоты основания и тела



тоннеля имеют незначительную разницу, т.е. с увеличением глубины тоннеля сейсмостойкость ее увеличивается.

### Список литературы

1. Хасанов Н.М. Сейсмостойкость гидротехнических тоннелей частично заполненных водой [Текст] / Н.М. Хасанов, А.Х. Абдужабаров // Известия КГТУ имени Р. Разакова. - 2018. - № 1(45) - с. 291-295.
2. Абдужабаров А.Х. Сейсмостойкость автомобильных и железных дорог [Текст] / А.Х. Абдужабаров. - Бишкек: КГУСТА, 1996. – 226с.
3. Тешибаев З.Р. Экспериментальные исследования подземных трубопроводов со стыковыми соединениями при действии динамических нагрузок [Текст] / З.Р. Тешибаев // Проблемы механики. – 2003. - №4. - с. 16-18.
4. Апсеметов М.Ч. Анализ повреждения дорожных сооружений при сильных землетрясениях [Текст] / М.Ч. Апсеметов, А.Б. Курбанбаев, Д.К. Мурзакматов, Турдубай уулу С. // Вестник КГУСТА - 2016. - №1 (51). - с. 17-23.
5. Курманбек уулу Н. Землетрясение и его воздействия на транспортные сооружения [Текст] / Курманбек уулу Н. // Вестник КГУСТА – 2009. - №1 (23). - том 2. - с. 140-145.