

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ФИЛЬТРУЮЩЕЙСЯ ВОДЫ НА ПЬЕЗОМЕТРИЧЕСКИЕ НАПОРЫ

**С.В.Дмитриев, к.т.н., доцент, Д.И.Великий, ассистент,
А.С.Бондаренко, ассистент**

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

При наблюдениях за фильтрационным режимом грунтовых гидротехнических сооружений часто обнаруживается, что фильтрационный режим этих сооружений не соответствует прогнозируемому [1, 2]. Изменения могут быть вызваны сезонными колебаниями температуры окружающей среды [3, 4, 5]. Наблюдения за температурным режимом в теле грунтовых плотин используются для поиска фильтрационных аномалий [6, 7], но не применяются для оценки влияния периодически изменяющейся температуры фильтрующейся воды на изменения напоров в пьезометрической сети сооружения [3].

Цели исследования определены следующим образом:

- получить температурную волну в рабочей камере экспериментальной лабораторной установки, которая заполнена специально подготовленным грунтом (промытый и просеянный песок), при фильтрации через рабочую камеру воды с температурой, периодически изменяющейся, на входе в установку;
- оценить влияние затухающей температурной волны, которая формируется в рабочей камере экспериментальной установки, в результате воздействия специально созданных температурных колебаний в начале пути фильтрации, моделирующих сезонные температурные изменения окружающей среды, на положение напорной линии.

Запроектирована и сконструирована экспериментальная лабораторная установка (Рис. 1В), предназначенная для доказательства связи температуры фильтрующейся воды и величин пьезометрических напоров в рабочей камере установки.

Рабочая камера изготовлена из пластиковой трубы длиной 4,2 м, диаметром 150мм (Рис. 1Б). Через каждые 20см по длине рабочей камеры установлены пьезометры и температурные датчики (Рис. 1А).

Микрокомпьютерные температурные датчики DS18B20, установленные в середине рабочей камеры, управляются по однопроводному 1-Wire интерфейсу (Рис. 1Г).

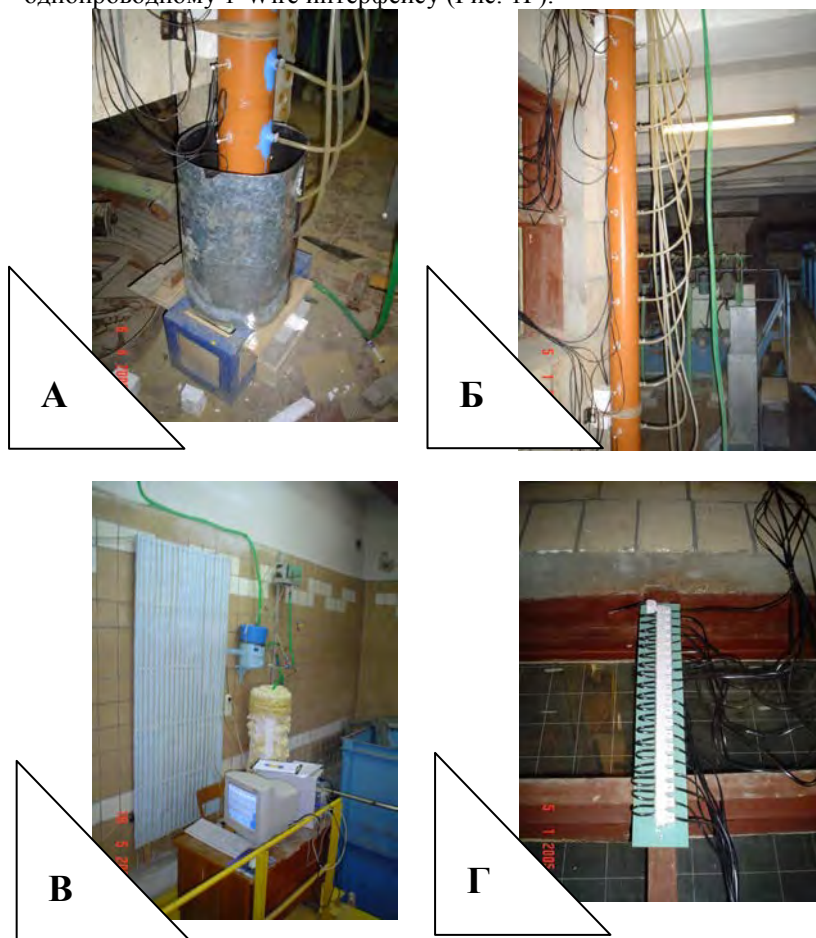


Рис. 1 Элементы экспериментальной лабораторной установки

На входе в рабочую камеру подавалась попеременно охлажденная и подогретая вода с температурами и интервалом, установленными программой эксперимента. Таким образом, моделировалась температурная волна на входе в сооружение. Рабочая камера установки была теплоизолирована. Материал и толщина теплоизоляционного слоя были определены расчетом. Необходимость теплоизоляции

обусловлена требованием исключить влияние окружающей среды на результаты эксперимента.

Переменными параметрами были напор на экспериментальную установку (диапазон изменения от 90см до 186см), минимальная и максимальная температуры воды, подаваемой в камеру (диапазон изменения от 8⁰С до 45⁰С), период изменения подогретой / охлажденной воды (диапазон изменения от 40 мин. до 60 мин.). Перед каждым экспериментом определялся коэффициент фильтрации и коэффициент температуропроводности грунта установки.

Обработка и анализ данных, полученных в результате экспериментов, проводились с помощью построения графиков измеряемых параметров для каждого эксперимента (интервал измерений составлял 5 минут, продолжительность каждого эксперимента - 8 ... 12 часов):

- колебаний температуры в каждом из 20 температурных датчиков во времени: $T = f(\tau)$;

- колебаний расхода воды, проходящего через экспериментальную установку в различные моменты времени: $Q = f(\tau)$;

- колебаний напоров в каждом из 20 пьезометров во времени: $H = f(\tau)$ (рис. 2);

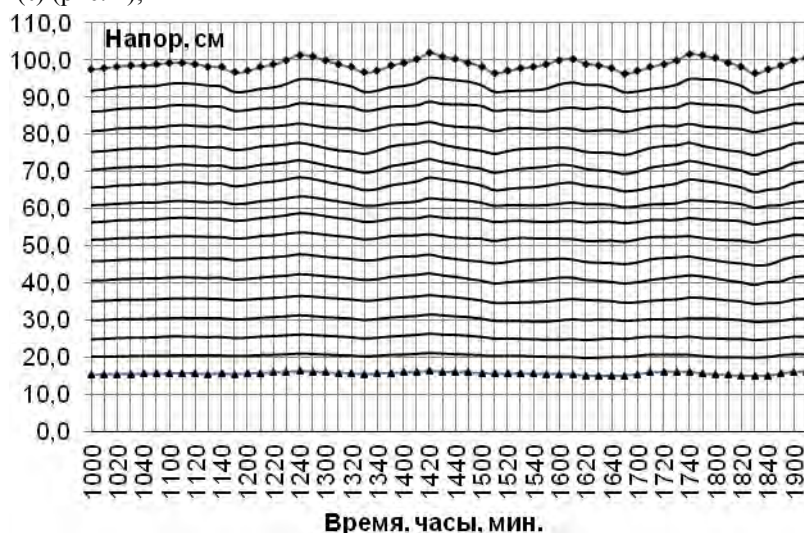


Рис. 2 График изменений напоров в пьезометрах № 4 - № 20 во времени под воздействием периодических изменений температуры фильтрующей воды (при напоре - 146,7см, периоде - 100мин., $T_{\max}=24,563^{\circ}\text{C}$, $T_{\min}=9,813^{\circ}\text{C}$).
Эксперимент №26

- графики колебаний температур $T = f(x, \tau)$ по длине рабочей камеры, полученные во все моменты времени, заданные через интервалы, определенные программой эксперимента (рис. 3);

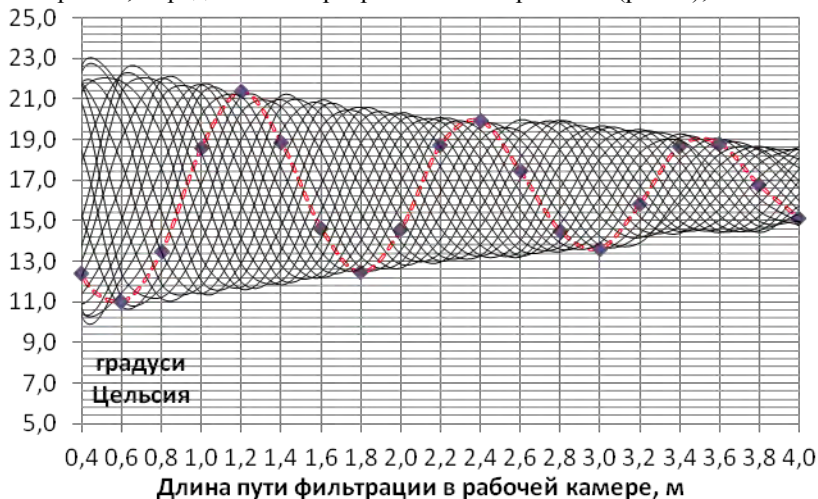


Рис. 3 График положения специально созданной температурной волны по длине пути фильтрации в различные моменты времени (при напоре - 146,7см, период -100мин., $T_{\max}=24,563^{\circ}\text{C}$, $T_{\min}=9,813^{\circ}\text{C}$). Эксп-нт №26

- графики колебаний напора в пьезометрах по длине пути фильтрации в экспериментальной лабораторной установке в различные моменты времени τ с заданным интервалом времени $H = f(x, \tau)$, вызванные создаваемыми периодическими изменениями температуры фильтрующейся воды, с определением возможного интервала колебаний напорной линии (Рис. 4).

Функция распространения температуры [4,5] в зависимости от времени и длины пути фильтрации представлена уравнением (1):

$$T(x, \tau) = A e^{-Kx} \cos(\sigma\tau - cx) + T_0, \quad (1)$$

где T_0 - среднегодовая температура воды в верхнем бьефе; σ , c - циклические частоты колебаний по времени и по продольной координате; A - амплитуда колебаний $^{\circ}\text{C}$; K - декремент затухания температурных колебаний.

$$K = \frac{1}{2a} \left[\sqrt{\frac{r + U_x^2}{2}} - U_x \right] \quad - \text{ декремент затухания } (K > 0),$$

$$c = \frac{1}{2a} \left[\sqrt{\frac{r - U_x^2}{2}} \right]$$

- циклическая частота колебаний по x ,

$$r = \sqrt{U_x^4 + 16a^2 \sigma^2}, \text{ а } a \text{ — коэффициент температуропроводности}$$

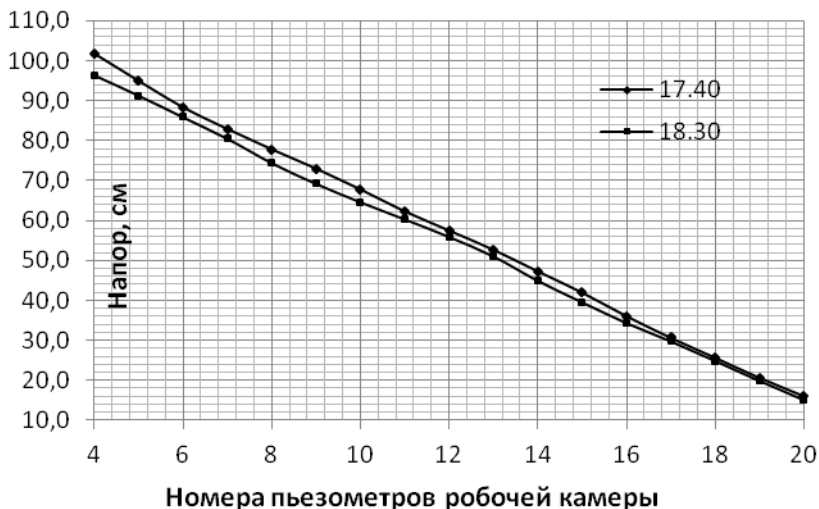


Рис. 4 График диапазона изменения положений напорной линии в рабочей камере экспериментальной установки (при напоре - 146,7см, период -100мин., $T_{\max}=24,563^{\circ}\text{C}$, $T_{\min}=9,813^{\circ}\text{C}$). Эксперимент №26

Функция построения напорной линии по длине пути фильтрации определяется зависимостью (2), с учетом условий (3) и (4):

$$h_x = h_1^2 - (h_1^2 - h_2^2) \frac{x}{L} \quad (2)$$

Виртуальная длина каждого отсека, на которые поделен путь фильтрации, должна быть рассчитана по формуле (3):

$$l_v = \frac{K_{\phi 0}}{K_{\phi}} l \quad (3)$$

где l - длина отсека, $K_{\phi 0}$ - коэффициент фильтрации, приведенный к температуре 10°C ; K_{ϕ} - истинное значение коэффициента фильтрации в выбранный момент времени, в сечении с продольной координатой X на длине пути фильтрации, при известной температуре T , определенной в отсеке по зависимости (1). Длина пути фильтрации L и

продольная координата X в формуле (2) должны быть получены из зависимостей (4):

$$L = \sum_{i=1}^n l_V^i, \quad x = \sum_{i=1}^m l_V^i, \quad (4)$$

Сопоставление теоретических решений с результатами лабораторного эксперимента показало хорошую сходимость.

Выводы

Полученные результаты позволяют утверждать, что:

- попеременная подача охлажденной / подогретой воды в рабочую камеру экспериментальной установки формирует температурную волну, которая перемещается во времени по длине рабочей камеры экспериментальной установки и постепенно затухает;

- температурная волна перемещается в рабочей камере экспериментальной установки, влияет на величины пьезометрических напоров (до 15%), которые фиксируются по всей длине пути фильтрации;

- периодические затухающие изменения температуры фильтрующейся воды, могут приводить к увеличению фильтрационных расходов в определенные промежутки времени полного периода температурной волны.

- предложенные расчетные зависимости (1-4) могут применяться в практике инженерных расчетов для определения пьезометрических напоров при учете сезонных температурных периодических изменений фильтрующейся воды.

Summary

Laboratory experiments have confirmed the relationship of periodic changes in temperature water filter caused by seasonal changes in the ambient temperature with changes in the hydraulic heads

Литература

1. Отчет о научно-исследовательской работе. Исследование работы конструкций и элементов сухого дока и проведение комплексных наблюдений в соответствии с инструкцией / [Шипилов А.В., Анисимов К.И., Беленькая Л.М. и др.] - Одесса: ОИСИ, ГС - 1990 - 50с.

2. Ермакова Н. Н. Температурные наблюдения за фильтрацией на Пироговском гидроузле / Н. Н. Ермакова, Люкманова Ф. И., инженеры (ФГУП «Канал имени Москвы») // Гидротехническое строительство .- №6 , 2002, сс. 23-27.

3. Дмитриев С.В. Необходимость учета влияния сезонных климатических воздействий при определении положения депрессионных кривых в грунтовых подпорных сооружениях / Дмитриев С.В. // Вестник ОГАСА .- №36 .- Одесса: ОГАСА, 2009 .- сс. 144-147.

4. Анисимов К.И. Аналитическое решение задачи о распространении температурной волны фильтрующимся потоком в теле земляной плотины и определение теоретической закономерности между температурой потока в данной точке и скоростью фильтрации / К.И. Анисимов, С.В. Дмитриев // Вестник ОГАСА .- №14 .- Одесса: ОГАСА, 2004 .- сс. 39-44.

5. [Зедгенидзе В.А. Решение задачи о распространении температурной волны фильтрационным потоком в теле земляной плотины / В.А. Зедгенидзе, С.В. Дмитриев // Меліорація і водне господарство .- №93-94, 2006 .- сс.178-183.

6. M.Aufleger. Distributed fiber optic temperature measurements in embankment dams with central core – new benchmark seepage monitoring / M. Goltz, J Dornstadter, O. Mangarovski // Dams and Reservoirs under Changing Challenges Taylor&Francis Group, London .- 2011 .- ISBN 978-0-415-68267-1 .- pp.107-114.

7. Ауфлегер М. 10-летний опыт применения распределенных оптоволоконных температурных датчиков в гидротехническом строительстве / [М. Ауфлегер, Ю. Домштедтер, Т. Штробль и др.] // Гидросоружения.- 2009.- №1.- сс. 31-34.