

Э.П. АЩИЯНЦ

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ОПОРОЖНЕНИЯ ДЮКЕРА**

В гидравлической лаборатории Института водных проблем и гидротехники им. акад. И.В. Егiazарова смонтирована экспериментальная установка дюкера, одна из веток которого вертикальна, а другая имеет небольшой уклон к горизонту. Ветки дюкера изготовлены из прозрачного силиконового шланга малого диаметра, что позволило визуальным путем выявить физику протекания процесса опорожнения дюкера и определить продолжительность его опорожнения. Проведено сопоставление полученных экспериментальных данных с результатами расчетов по существующим формулам.

Ключевые слова: дюкер, участки различного уклона, эксперимент, продолжительность опорожнения.

Введение. Одной из составных частей напорной системы водоснабжения является дюкер, который представляет собой трубопровод, прокладываемый по склонам и дну оврагов. В соответствии с рельефом местности нисходящая и восходящая ветки дюкера могут иметь участки различного уклона.

В процессе эксплуатации дюкера возникает необходимость его опорожнения. С этой целью на дюкере у отметки местности, обеспечивающей его полное опорожнение, монтируется водовыпуск с задвижкой.

Нестационарное движение жидкости, возникающее в ветках дюкера при его опорожнении, изучено недостаточно для надежного проектирования напорных систем водоснабжения. Анализ существующих исследований [1-4] показывает, что в них недостаточно изучена динамика движения колонн жидкости в ветках дюкера при его опорожнении, а рекомендуемые зависимости, определяющие параметры движения этих колонн, не обеспечивают необходимую точность расчета и нуждаются в усовершенствовании.

Отсутствие современного опытного материала в существующей технической литературе не позволяет оценить корректность рекомендуемых в работах [1,2,4] формул.

Постановка задачи и методы исследования. Целью настоящей работы является экспериментальное исследование процесса опорожнения дюкера, одна из веток которого вертикальна, а другая имеет небольшой уклон к горизонту.

Для проведения исследований в гидравлической лаборатории Института водных проблем и гидротехники им. акад. И.В. Егiazарова смонтирована установка, схема которой показана на рис.1. Дюкер состоит из наклонной ветки 1, представляющей собой прозрачный силиконовый шланг диаметром $d=0,014$ м, общей длиной $AC=4,3$ м. Участок АВ этой ветки прямолинейный. Угол наклона его к горизонту $\alpha_1 = 18^\circ$.

Конец ветки AC подсоединен к прямоугольному тройнику 2 с водовыпуском 3, диаметр которого $d_6 = 0,015$ м.

Концевой участок ветки AC криволинейен и имеет длину $BC=0,28$ м.

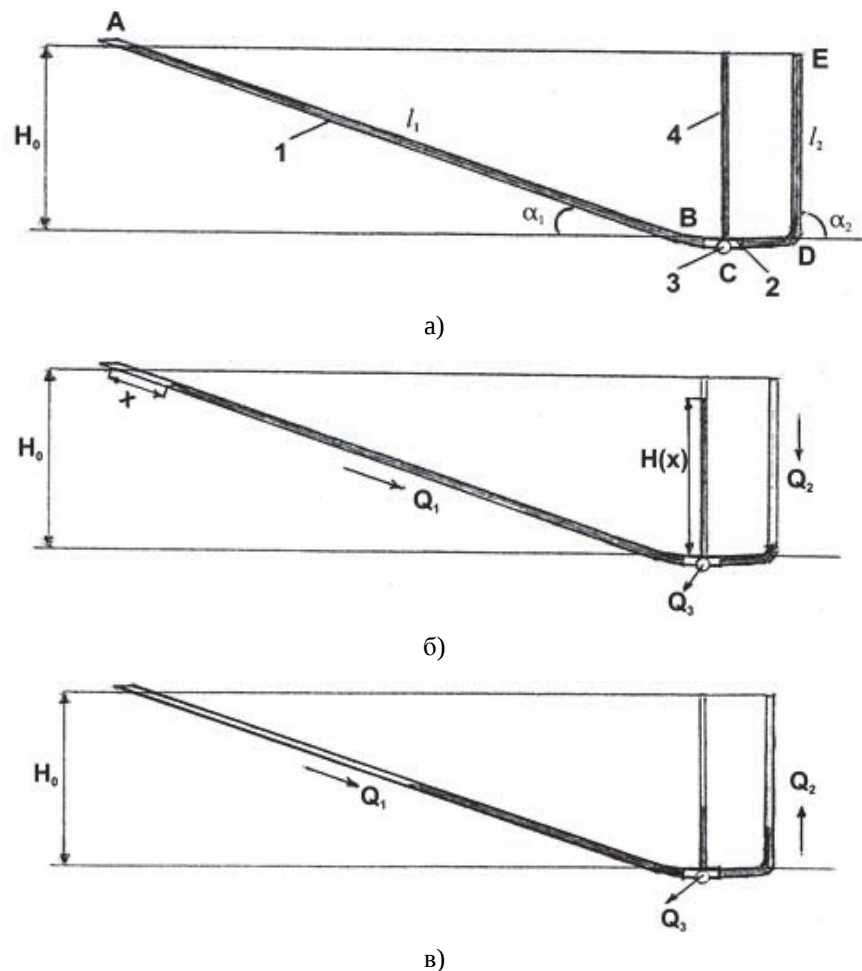


Рис. 1. Схема лабораторной установки (а); положение свободной поверхности воды в ветках дюкера спустя 0,6 с после открытия водовыпуска (б); переток воды из левой ветки дюкера в правую с одновременным опорожнением воды через водовыпуск (в)

Правая ветка дюкера ЕС длиной 1,5 м имеет вертикальный участок ED длиной $l_2 = 1,23$ м. Она так же, как и левая ветка AC, изготовлена из прозрачного силиконового шланга диаметром $d=0,014$ м. Криволинейный участок этой ветки $CD=0,27$ м. Конец этой ветки также подсоединен к тройнику 2 (рис.1 а). В начале водовыпуска тройника 2 установлен пьезометр 4 диаметром 3 мм.

Превышение свободной поверхности воды H_0 в ветках дюкера при его полном заполнении над осью водовыпуска 3 составляло 1,27 м.

Для проведения экспериментов при помощи резиновой пробки вначале закрывалось отверстие водовыпуска 3, и дюкер полностью заполнялся водой (рис.1 а). После его заполнения пробка быстро удалялась, и осуществлялось визуальное наблюдение за изменением уровней свободных поверхностей воды в ветках дюкера и в пьезометре 4. На рис.1 б показано положение уровней свободной поверхности воды в ветках дюкера спустя примерно 0,6 с после открытия водовыпуска 3. Как видно из рисунка, за указанный промежуток времени вертикальный участок ED правой ветки дюкера полностью опорожнялся, а в левой ветке уровень свободной поверхности воды, так же, как и в пьезометре 4, опускался незначительно. Затем начинался переток воды из левой ветки дюкера в правую с одновременным удалением ее через водовыпуск 3 в атмосферу (рис.1 в). В результате направление движения воды в правой ветке менялось на противоположное, и уровень свободной поверхности воды в вертикальном участке ED повышался на 26...28 см.

После вторичной остановки движения колонны воды в правой ветке направление ее движения менялось на противоположное, в результате чего имело место одновременное опорожнение воды из левой и правой веток дюкера через тройник 2 и водовыпуск 3.

Опорожнение сопровождалось выравниванием уровней свободной поверхности воды в левой и правой ветках дюкера.

Завершающий этап опорожнения происходил при одинаковых уровнях воды в ветках дюкера.

Следует отметить, что выравнивание уровней воды в ветках дюкера возможно при условии, если скорость опорожнения колонны воды в левой ветке превышает скорость опорожнения колонны воды в правой ветке [2,3]. Такое увеличение скорости опорожнения колонны жидкости в левой ветке дюкера лабораторной установки (рис.1 а) можно объяснить следующими обстоятельствами:

1. Первоначальное быстрое полное опорожнение вертикального участка ED правой ветки (рис.1б) создало перепад давления воды в ветках дюкера, что способствовало перетоку воды из левой ветки в правую через тройник 2 с одновременным удалением ее через водовыпуск 3 в атмосферу.

2. В течение всего процесса опорожнения дюкера направление движения скорости колонны воды в левой ветке AC (рис.1 а) не изменялось, в отличие от направления движения колонны воды в правой ветке, где имели место ее остановки и последующие изменения направления движения.

В работах [1-4] возможность перетока воды из одной ветки дюкера в другую в процессе его опорожнения не рассматривалась. В [1,2] отмечается, что если выпуск воды обслуживает одновременно два прилегающих к нему участка с разными длинами l_1 и l_2 , но с одинаковой высотой наполнения $H_1 = H_2 = H_0$ и одинаковым диаметром, то при условии сохранения в них в процессе опорожнения одинакового уровня жидкости имеют место соотношения

$$Q_3 = Q_1 + Q_2, \quad Q_2 = \frac{l_2}{l_1} Q_1 \quad \text{и} \quad Q_3 = Q_1 \left(1 + \frac{l_2}{l_1}\right), \quad (1)$$

где Q_3 - расход жидкости, вытекающей из водовыпуска; Q_1 и Q_2 - соответственно расход жидкости в левой и правой ветках дюкера (рис.1 а); l_1 и l_2 - соответственно длина левой и правой веток.

Из рис. 1б видно, что в процессе опорожнения вертикального участка ED правой ветки дюкера равенство $Q_3 = Q_1 + Q_2$ выполняется, а два других условия, указанные в (1), не выполняются.

После опорожнения вертикального участка ED и возникновения перетока воды из левой ветки дюкера в правую расход составляет $Q_3 = Q_1 - Q_2$ (рис.1в).

На завершающей стадии опорожнения дюкера справедливы равенства (1).

При проведении экспериментов время опорожнения участков дюкера определялось с некоторой погрешностью с помощью секундомера. Согласно полученным данным, спустя примерно 1,3с с момента опорожнения дюкера переток воды в правую ветку дюкера прекращался. В результате повышение горизонта свободной поверхности воды в ветке ED составляло 0,25...0,27 м. Затем имело место совместное опорожнение веток дюкера, которое продолжалось до полного его опорожнения.

Продолжительность опорожнения прямолинейного участка АВ левой ветки дюкера составляла примерно 4,5 с, а время полного опорожнения дюкера изменялось в пределах 5,2...5,4 с.

Сопоставим полученную экспериментальным путем продолжительность опорожнения дюкера экспериментальной установки (рис.1 а) со временем, полученным по рекомендуемой в работе [4] формуле, которая корректна при условии выполнения всех равенств (1). Формула имеет вид

$$T = 2 \frac{W_1 + W_2}{q_0}, \quad (2)$$

где W_1 и W_2 - объёмы воды в левой и правой ветках дюкера:

$$q_0 = \mu A_g \sqrt{2gH_0} \quad (3)$$

где μ - коэффициент расхода, вытекающего через водовыпуск; A_g - площадь отверстия водовыпуска; H_0 - высота наполнения дюкера.

Коэффициент расхода для μ определяется по формуле [5]

$$\mu = 1 / \sqrt{(1 + \zeta_0) \left(\frac{A_1}{A_g} \right)^2 + \lambda \frac{l_1}{d}}, \quad (4)$$

где ζ_0 - коэффициент гидравлического сопротивления прямоугольного тройника при слиянии потоков воды из двух веток дюкера: $\zeta_0 = 2,5$; A_1 - площадь живого сечения трубопровода левой ветки: $A_1 = 154 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$; $A_g = 176,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$; λ - коэффициент гидравлического трения трубопровода левой ветки дюкера: $\lambda = 0,028$; d - диаметр трубы левой ветки: $d = 0,014 \text{ м}$; $H_0 = 1,27 \text{ м}$.

Подставляя вышеуказанные численные значения расчетных параметров в (3), получим $q_0 = 264,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$.

Объём воды в дюкере при его полном наполнении равен

$$W_1 + W_2 = 5,88 \cdot 154 \cdot 10^{-6} = 0,0009 \text{ м}^3.$$

Подставляя численные значения $W_1 + W_2$ и q_0 в (2), получим $T_{on}^p = 6,81 \text{ с}$.

Таким образом, как и следовало ожидать, расчетное время опорожнения дюкера получается больше экспериментального.

Если же иметь в виду, что, согласно экспериментальным данным, объём воды в вертикальном участке ED правой ветки дюкера опорожняется за время $\approx 0,6$ с и за это же время колонна воды в левой ветке дюкера проходит расстояние $\approx 0,4$ м, то оставшийся в дюкере объём воды $W = (5,88 - 1,23 - 0,4) \cdot 154 \cdot 10^{-6} = 654,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ опорожняется за время

$$T_1 = \frac{2 \cdot 654,5 \cdot 10^{-6}}{264,4 \cdot 10^{-6}} = 4,95 \text{ с},$$

а полное время опорожнения дюкера будет $T_{on}^p = 0,6 + 4,95 = 5,55$ с, что хорошо согласуется с экспериментом.

Заключение. Экспериментальные исследования, проведенные при определенных характеристиках опытной установки, показали, что продолжительность опорожнения дюкеров, углы наклона веток которых в несколько (3...5) раз отличаются друг от друга, значительно меньше, чем в дюкерах, уклон веток которых существенно не отличается друг от друга.

При определении времени опорожнения вышеуказанных дюкеров в расчетах необходимо учесть возможность первоначального существенного опорожнения одной из веток дюкера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сури́н А.А.** Гидравлический удар в водопроводах и борьба с ним.- М.: Трансжелдориздат, 1946. - 371с.
2. **Дикаревский В.С., Краснянский И.И.** Напорные водоводы железнодорожного водоснабжения.- М.: Транспорт, 1978.- 279 с.
3. **Ащиянц Э.П.** Исследование нестационарного течения жидкости в дюкере при его опорожнении // Известия Союза строителей Армении: Сборник научных трудов. - Т.1. - 2015. - С.23-29.
4. **Մարտիկանյան Ա.Ա., Միքայելյան Վ.Բ.** Հնչումայի ջրատարի շահագործման առանձնահատկությունները // Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարանի տեղեկագիր: - Եր., 2015. - N 3. - էջ 75-84:
5. Сборник задач по машиностроительной гидравлике / **Д.А. Бутаев, З.А. Калмыкова, Л.Г. Подвиз** и др.- М.: Машиностроение, 1981.- 464 с.

Институт водных проблем и гидротехники им. акад. И.В. Егiazарова. Материал поступил в редакцию 17.03.2019.

Է.Պ. ԱՇՉԻՅԱՆՑ

ԴՅՈՒԿԵՐԻ ԴՍԱՐԿՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՅԻ ՓՈՐՁԱՐԱՐԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ

Ակ. Ի.Վ. Եղիազարովի անվան ջրային հիմնահարցերի և հիդրոտեխնիկայի ինստիտուտի լաբորատորիայում մոնտաժված է ճնշումային ջրատարի դյուկերային հատվածի լաբորատոր սարք: Դյուկերի ճյուղերից մեկը ուղղահայաց է հորիզոնի նկատմամբ, իսկ մյուսն ունի թեքության փոքր անկյուն: Այդ հատվածները ներկայացնում են փոքր տրամագծով թափանցիկ սիլիկոնից պատրաստված խողովակներ, ինչը թույլ է տվել վիզուալ կերպով դիտարկել ջրի դատարկման գործընթացը դյուկերից և որոշել նրա դատարկման տևողությունը: Ներկայացվում է ստացված փորձնական տվյալների համեմատությունը տեխնիկական գրականության մեջ առաջարկվող բանաձևով հաշվարկված արդյունքի հետ:

Առանցքային բառեր. դյուկեր, տարբեր թեքությամբ հատվածներ, գիտափորձ, դատարկման ժամանակամիջոց:

E.P. ASHCHYANTS

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF EMPTYING THE SIPHON

In the hydraulic laboratory of the Institute of Water Problems and Hydraulic Engineering after Academician J.V. Eghiazarov, an experimental plant of siphon is installed one twig of which is vertical and the other has a small gradient to the horizon. The twigs of the siphon are made of a transparent silicon pipe permitting to observe the physics of emptying of the siphon, and to define the duration of emptying.

The comparison of the experimental data with the results of calculation by the given formula is carried out.

Keywords: siphon, section of different gradients, experiment, emptying time.