

УДК 621.64/69

Р. М. РАФАЭЛЯН, Г. К. АКОПЯН

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЗА ЗАТВОРОМ ПРИ НАПОРНОМ И БЕЗНАПОРНОМ ДВИЖЕНИИ ВОДЫ

Приведены результаты экспериментального и теоретического исследований напорного и безнапорного движения воды за затвором. При напорном режиме определены частоты пульсации давления и траектория движения паровоздушных пузырьков, образующих «жгут».

В случае безнапорного движения экспериментальным путем на модели туннеля Арпа-Севан определены длина прыжка за затвором в зависимости от числа Фруда. Полученные результаты позволяют выбрать протяженность переходного участка, а также длину крепления зоны прыжка за затвором, обеспечивающие нормальный режим эксплуатации системы.

Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

*Քննարկված են փակակնից հետո ճնշումային և անճնշում շարժման փորձնական և տեսական ուսումնասիրությունների արդյունքները: Ճնշումային սեփերի համար որոշված է ճնշման բարձրման հանախաղանջությունը և օդադուրրչիների հետագիծը, որոշված է տևորով:*

*Անճնշում սեփերի դեպքում Արփա-Սևան թունելի մոդելի վրա փորձնական ճանապարհով որոշված է թռչչի երկարությունը փակակնից հետո կտրված Ֆաուխրի թվից: Ստացված արդյունքները ճնարկություն են տալիս ընտրելու անճնշումային մասը, քերպես նաև փակակնից հետո ամրացման դրսև երկարությունը, որը կապահովի համակարգի շահագործման նորմալ սեփեր:*

При установке запорно-регулирующих устройств на напорных трубопроводах и для обеспечения точности их функционирования необходимо иметь сведения о характере движения воды в области возмущенного потока за затвором, пульсации скорости и давления. При безнапорном движении воды эти данные необходимы для разработки мероприятий по дополнительному креплению зоны гидравлического прыжка. Вопросу изучения механизма движения воды в сужающе-расширяющихся участках напорных и безнапорных систем посвящены работы [1—4]. Однако их обзор показал, что возникающая при обтекании затвора явление «концевой» кавитации мало исследовано.

Целью данной работы является экспериментальное и теоретическое исследование гидравлики этого явления, в частности, определение частот пульсаций и длины гидравлического прыжка.

Экспериментальная установка, на которой проведены исследования напорного движения, состоит из трубопровода с двумя затворами, установленными в его начале и конце. Для визуальных наблюдений начальный участок за затвором выполнен из стеклянной трубы диаметром  $d = 106$  мм и длиной 1,8 м. Вода в трубопровод подавалась под давлением 0,01—1 МПа при расходах 2... 22 л/с. Пульсации

давления в опытах измерялась с помощью тензометрического датчика с выходом сигнала на усилитель и осциллограф.

На рис. 1 приведен снимок «концевой» кавитации в случае обтекания потоком диска затвора при давлениях до и после затвора, соответственно равных  $p_1 = 0,6$  и  $p_2 = 0,005$  МПа. Эксперименты показали, что с увеличением величины  $p_2$  паровоздушный «жгут» появляется при более больших значениях  $p_1$ . Например, при  $p_2 = 0,1$  МПа давление на выходе, при котором возникает «жгут», равно 0,9 МПа. Затухание «жгута» по длине трубопровода происходит на расстоянии примерно 2 м от затвора. С увеличением степени открытия затвора паровоздушный «жгут» становится неустойчивым и в стеклянной трубе непосредственно за затвором наблюдается область, состоящая из мельчайших паровоздушных пузырьков протяженностью  $l_p$ .

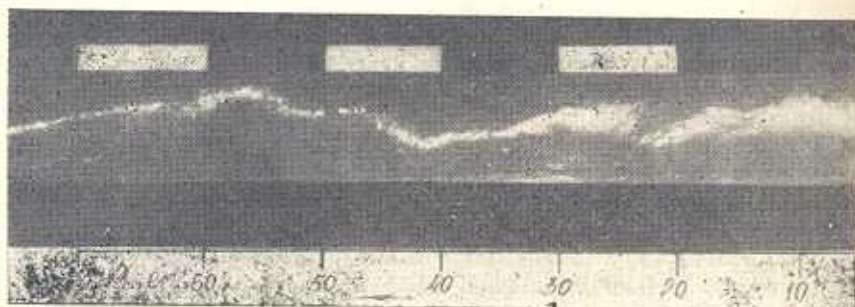


Рис. 1. Вид «концевой» кавитации за задвижкой в напорном трубопроводе.

Зависимость  $ln/d$  от числа Фруда  $Fr_R$ , рассчитанного по гидравлическому радиусу сечения, приведена на рис. 2. Измерение пульсации давления показало, что на этих режимах частота пульсации в зависимости от скорости движения изменяется в пределах 20...80 Гц, при этом нижнее значение частоты преобладает в случае «концевой» кавитации. Расчет траектории движения пузырьков, образующих «жгут», выполнен путем совместного решения уравнения движения

$$\frac{d^2\eta}{dz^2} = Ar - B \left| \frac{d\eta}{dz} \right| \frac{d\eta}{dz} + Ke^{-Nz} \sin 2\pi z - M\eta \quad (1)$$

и соотношения, выражающего закон распределения осредненных скоростей по сечению трубы [5]

$$\frac{d\xi}{dz} = V(1 - |\eta|)^{1/m} \quad (2)$$

Здесь  $\eta = y/R$ ;  $\xi = x/l$ ;  $\tau = t/T$ ;  $Ar = \frac{(\rho_v - \rho_0)gT^2}{\rho_0 R}$ ;  $B = \frac{3c_f \rho_v AK}{8\pi r^3 \rho_0}$ ;

$K = \frac{3a_1 T^2}{4\pi r^3 \rho_0 R}$ ;  $M = \frac{3a_2 T^2}{4\pi r^3 \rho_0}$ ;  $V = \frac{U_0 T}{l} = \frac{1}{sh}$ ;  $T = 2\pi/\omega$ ;  $\rho_v$ ,  $\rho_0$  —

плотность воды и воздуха;  $g$  — ускорение силы тяжести;  $T$  — период



вынужденных колебаний пузырька,  $R, l$  — радиус и длина трубы;  $c_f$  — коэффициент сопротивления при движении пузырька;  $A$  — характерная площадь;  $r$  — радиус пузырька;  $a_{1,2}, N$  — расчетные полуэмпирические коэффициенты;  $m$  — коэффициент, зависящий от числа Рейнольдса;  $U_0$  — скорость воды на оси трубы;  $sh$  — число Струхала;  $t$  — текущее время;  $y, x$  — координаты, направленные перпендикулярно и вдоль оси трубы; ( $r = 0,002$  м,  $R = 0,053$  м;  $m = 9$ ,  $N = 0,5 \dots 2,5$ ,  $l = 2$  м,  $a_1 = 10^{-4}$ ,  $a_2 = 5 \cdot 10^{-3}$ ,  $U_0 = 0,6$  м/с,  $c_f = 1,2$ ,  $\omega = 40$  Гц).

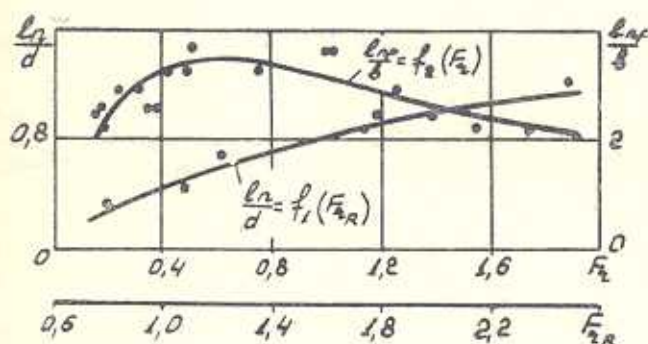


Рис. 2. Зависимость относительных длин прыжка от числа Фруда

Оценка величин в уравнении (1) показывает, что силой инерции при движении пузырька по сравнению с подъемной силой и силой сопротивления можно пренебречь, т. к. при значении коэффициента перед силой инерции, равной единице, коэффициенты:  $A_r = 4023$ ,  $B = 10136$ ,  $K = 12018$ ,  $M = 31847$ . При этом допущении и после линеаризации нелинейного члена сопротивления при условии

$$\left| \frac{d\eta}{d\tau} \right| = \frac{T}{R} \left| \frac{dy}{dt} \right| = \frac{TU_0}{R}$$

из (1) получим

$$\frac{d\eta}{d\tau} = \frac{ArR}{BTU_0} + \frac{KR}{BTU_0} e^{-N\tau} \sin 2\pi\tau - \frac{MR}{BTU_0} \eta. \quad (3)$$

Уравнения (2) и (3) описывают траекторию движения пузырьков, образующих „жгут“. При этом начальными условиями являются  $\tau = 0$ ,  $\xi = 0$ ,  $\eta = \eta_0$ . Расчеты по этим уравнениям выполнены на ЭВМ СМ-3 по программе ФОРТРАН-IV.

В процессе численного эксперимента исследовалось влияние начальной скорости движения воды в напорном трубопроводе и величины коэффициента  $N$ , характеризующее затухание амплитуды пульсации давления на траекторию движения пузырьков. При этом рассматривались случаи, когда при постоянном значении коэффициента  $N$  начальная скорость движения меняется от 0,2 до 0,6 м/с, а также,

когда при постоянной скорости коэффициент  $N$  меняется от 0,5 до 2,5.

Результаты вычислений при  $N = 0,5$  и  $U_0 = 0,2, 0,4, 0,6$  м/с приведены на рис. 3. Сопоставление полученных расчетных траекторий с экспериментальными (рис. 1) показало на их качественное соответствие. С увеличением начальной скорости от 0,2 до 0,6 м/с (рис. 3) длина переходного участка увеличивается, а частота пульсации уменьшается. При этом длина переходного участка за затвором составляет 2...3 м. Расчеты позволяют также судить о величине силы сопротивления и амплитуде силы давления при движении пузырьков, которые соответственно оцениваются величинами  $10^{-3}$  и  $5 \cdot 10^{-3}$  Н.

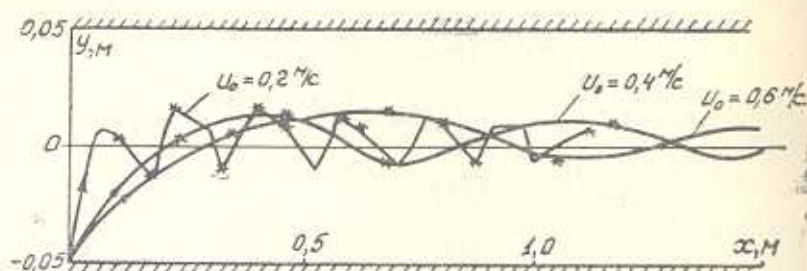


Рис. 3. Расчетные зависимости траекторий водовоздушных пузырьков по длине трубы.

В лаборатории были приведены также исследования безнапорного режима на модели головного сооружения туннеля Арпа—Севан. Экспериментальная установка, на которой проведены исследования безнапорного движения, представляет собой неискаженную физическую модель головного участка туннеля Арпа—Севан, построенная в геометрическом масштабе 26 по критерию Фруда. На модели расходы изменялись от 0,00232 до 0,00522 м<sup>3</sup>/с, что на натуре составляет 8...18 м<sup>3</sup>/с при напорах 3,25...6 м. При этом величина открытия затвора в натуре изменялась в пределах 0,5...1,75 м при ширине входной части туннеля  $b = 3,5$  м. В экспериментах была измерена длина затопленного прыжка  $l_{пр}$  при разных напорах и открытиях затвора. Зависимость  $l_{пр}/b$  от числа Фруда  $Fr$  для случая безнапорного режима приведена на рис. 2.

Из рассмотрения кривых (рис. 2) видно, что при напорном движении длина прыжка в исследуемом диапазоне изменения числа Фруда возрастает, а при безнапорном движении она сначала возрастает и при  $Fr > 0,6$  начинает убывать. С помощью кривой на рис. 2 можно определить протяженность прыжкового участка туннеля за затвором, которая для природы составляет примерно 13 м.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация.—М.: Мир, 1974.—687 с.
2. Пилипенко В. В., Задонцев В. А., Натанзон М. С. Кавитационные автоколебания и динамика гидросистем.—М.: Машиностроение, 1977.—351 с.



3. Пилипенко В. В., Задонцев В. А. Об одном механизме автоколебаний в гидравлической системе с кватирующей трубкой Вентури // Кавитационные автоколебания в насосных системах: Ч. 2.—Киев: Наукова Думка, 1976.—14 с.
4. Манько Н. К. Визуальные исследования кавитационных автоколебаний в гидравлической системе с прозрачной трубкой Вентури. // Там же.
5. Чугаев Р. Р. Гидравлика.—Л.: Энергия, 1971.—552 с.

АрмНИИВПнГ

24. II. 1989

Изв. АН Армении (сер. ТН), т. XLIII, № 6, 1990, с. 306—308.

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 536.587

М. М. МИРИДЖАНЫАН, Р. А. СИМОНЯН

### ПРЕЦИЗИОННЫЙ ТЕРМОРЕГУЛЯТОР

Описана прецизионная система для измерения и регулирования температуры жидкости. При объеме термостатируемой жидкости 10 л, скорости перемешивания 3 л/мин, мощности нагревателя 100 Вт устройство обеспечивает: диапазон регулирования 30—70°C, точность поддержания температуры 0,05°C, дрейф температуры  $\pm 0,01^\circ\text{C}$ , скорость нагрева до 0,5 град/мин.

Ил. 2, Библиограф: 2 назв.

Նկարագրված է ջերմության էլզրիա չափման և կայունացման համակարգ: Չերմակայունացվող հեղուկի 10 լիտր ծավալի, տարացույցի 100 Վտ հզորության, 3 Վ/րոպ խառնելու արագության դեպքում համակարգը ապահովում է ջերմաստիճանի պահպանման էջտոլիտն 0,05°C-ի և սեղաշարժ  $\pm 0,01^\circ\text{C}$ -ի սահմաններում, 0,5 անո/րոպ տարացման արագություն՝ 30—70°C ջերմաին օրոյում:

Как известно, при выращивании водорастворимых кристаллов необходимо иметь жесткий контроль за температурой раствора. Предлагаемое устройство предназначено для измерения и регулирования температуры раствора в пределах 30...70°C с точностью 0,05°C при объеме термостатируемой жидкости до 10 л. В основе функционирования лежит управление мощностью нагрева сигналом с ШИМ, сформированным в итоге сравнения уровня напряжения, пропорционального разности фактического и желаемого значений температуры, с пилообразным сигналом.

Устройство имеет следующую функциональную схему (рис. 1). В качестве измерителя температуры применяется электронный термометр (Т) с датчиком на основе прямосмещенного *p-n* перехода [1]. Термодатчик (ТД) и нагреватель (Н) расположены в термостате (ТС). Выходное аналоговое напряжение термометра, пропорциональное температуре термостатируемой жидкости, и напряжение датчика температуры (ЗТ) поступают на входы дифференциального усилителя (ДУ) через управляемые ключи К1 и К2 с целью выделения и усиления разности модулированных сигналов. Для обеспечения вы-