

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 тушеля 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.

Բերված են փակակից հետո ճնշումային և անճնշում շարժման փորձնական և տեօրետիկ անունհասիրութիւնները արդյունքները՝ ճնշումային սեծիմի համար որոշված է ճնշման բարձրման անահասկանելիունը և օղակոտրչիները ճնտագիծը «բոլոյ»-ի տեսքով:

Անճնշում սեծիմի դեպքում Արփա-Սեան թունելի մողկի վրա փորձնական հանապարտով որոշված է Թոիչի երկարութիւնը փակակից ճնտ՝ կախված Տոսիցի թվից: Ստացված արդյունքները հնարահորութիւն են տալիս ընտրելու անցումային մասի, ինչպես նաև փակակից ճնտ ամրացման դասը, երկարութիւնը, որը կուսուտի համակարգի շահագործման հարմայ սեծիմ:

При установке зашорно-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. Вопросы изучения механизма движения воды в сужающе-расширяющихся участках напорных и безнапорных систем посвящены работы [1—4]. Однако их обзор показал, что возникающая при обтечении 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. Пульсация

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_n .

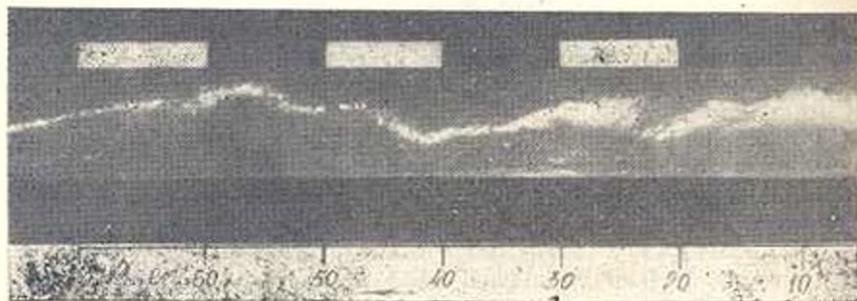


Рис. 1 Вид «концевой» кавитации за задвижкой в напорном трубопроводе

Зависимость $\ln d$ от числа Фруда Fr_p , 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

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

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

$$\frac{d\tau_i}{dt} = V(1 - |\tau_i|)^{1/m} \quad (2)$$

Здесь $\tau_i = y/R$; $\xi = x/l$; $\tau = t/T$; $A = \frac{(\rho_0 - \rho_1)gT^2}{\rho_0 R}$; $B = \frac{3c_f \rho_1 AK}{8-r^2 \rho_0}$;

$K = \frac{3a_1 T^2}{4-r^2 \rho_0 R}$; $M = \frac{3a_2 T^2}{4-r^2 \rho_0}$; $V = \frac{U_0 T}{l} = \frac{1}{sh}$; $T = 2\pi/\omega$; ρ_0 , ρ_1 —

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

нужденных 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; sa — число Струхали; t — текущее время; y, x — координаты, направленные перпендикулярно и вдоль оси трубы; ($r = 0,002$ м, $U_0 = 0,053$ м/с; $m = 9$, $N = 0,5 \dots 2,5$, $l = 2$ м, $a_1 = 10^{-4}$, $a_2 = 5 \cdot 10^{-3}$, $U_{01} = 0,6$ м/с, $c_f = 1,2$, $\omega = 40$ Гц).

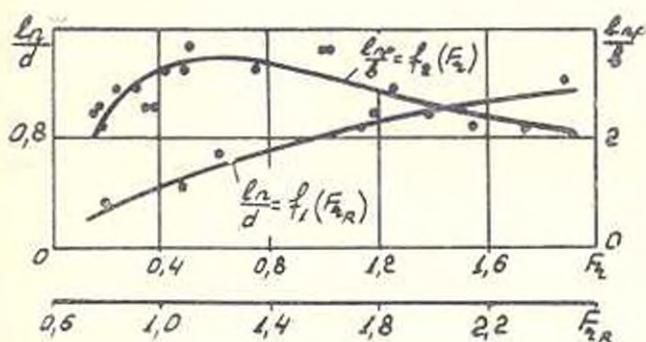


Рис. 2. Зависимость относительных длин прыжка от числа Фруда

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

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

из (1) получим

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

Уравнения (2) и (3) описывают траекторию движения пузырьков, образующих «жгут». При этом начальными условиями являются: $\tau = 0$, $\dot{\tau} = 0$, $\tau = \tau_0$. Расчеты по этим уравнениям выполнены на ЭРМ СМ-3 по программе ФОРТРАН-IV.

В процессе численного эксперимента исследовалось влияние начальной скорости движения воды в напорном трубопроводе и величины коэффициента N , характеризующее 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.

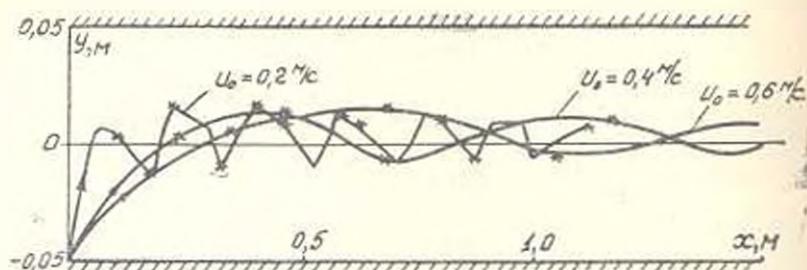


Рис. 3. Расчетные зависимости траектории водовоздушных пузырьков по длине трубы.

В лаборатории были приведены также исследования безнапорного режима на модели головного сооружения туннеля Арпа—Севаи. Экспериментальная установка, на которой проведены исследования безнапорного движения, представляет собой неискаженную физическую модель головного участка туннеля Арпа—Севаи, построенная в геометрическом масштабе 26 по критерию Фруда. На модели расходы изменялись от 0,00232 до 0,00522 м³/с, что на натуре составляет 8...18 м³/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 натуре составляет примерно 13 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кноп 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.

АрмНИИВГиГ

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.

*Սիստեմ գրված է չեղմանը հարկա չափման և կարգապահման համարող ջերմակա-
լիտանիայի հերմիտ 10 լիտր ծավալի, տաքացուցիչ 100 Վտ հարմարման 3 լրոսպի խտանելու
արագության դեպքում համակարգը ապահովում է չեղմանսիմանի պահպանման հերմիտան
0,05°C-ի և տեղաշարժ — 0,01°C-ի սահմաններում, 0,5 աստիճանայ տաքացման արագությամբ
30—70°C ջերմակալին տիրույթում:*

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 фактической 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 прямого запрещенного $p-n$ 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-