

УДК 532.542

Р. М. РАФАЭЛЯН, Э. П. АЦИЯНЦ, А. С. МЕЛИКЯН

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ ПРИ ЗАПОЛНЕНИИ И ОПОРОЖНЕНИИ ТРУБОПРОВОДА

Получены аналитические зависимости для определения неустоявшегося процесса заполнения и опорожнения трубопровода.

Предлагаются простые формулы для определения времени заполнения и опорожнения трубопровода с учетом гидравлических сопротивлений.

Ил. 3. Библиогр.: 6 назв.

Գիտարկվող խնդրին առաջինում է հնչումային խողովակների շահագործման ժամանակ, որոնց միջոցով կատարվում է որոշակի հեռավորության վրա տեղադրված ավտոմատ ուսրբերի կառավարումը:

Ստացված բաժանները հեռավորություն ևն տալիս հաշվելու խողովակի լցման և դատարկման տեղությունը՝ կախված խողովակի սկզբում և վերջում եղած հնչման մեծությունից, խողովակի երկարությունից և հիդրավլիկական առ մեծություններից:

Рассматриваемая задача возникает при эксплуатации напорных автоматизированных оросительных систем, включающих гидравлические линии, по которым осуществляется дистанционное управление элементов гидроавтоматики. Вопрос заполнения и опорожнения трубопровода исследован многими авторами [1—5]. Анализ этих работ показывает, что в них недостаточно выявлена динамика процесса с учетом гидравлических сопротивлений, а в некоторых случаях полученные решения неудобны для практических расчетов и не удовлетворяют граничным условиям.

Целью настоящей работы является уточнение метода расчета заполнения и опорожнения трубопровода, выявление качественных закономерностей движения.

На рис. 1 приведена расчетная схема для рассматриваемых случаев.



Рис. 1. Расчетная схема трубопровода.

Для описания процесса заполнения, исходя из характера движения, принимается модель несжимаемой жидкости. Дифференциальное

равнение, описывающее неустановившийся процесс заполнения трубы, имеет вид

$$x \frac{d^2 x}{dt^2} = gH - \frac{(\xi + 1)}{2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 - \frac{\lambda x}{2D} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 - xg \sin \alpha. \quad (1)$$

После преобразований уравнение (1) сводится к линейному дифференциальному уравнению

$$\frac{du}{dx} + f(x)u = \varphi(x), \quad (2)$$

общее решение которого равно

$$U = \frac{1}{x^B e^{kx}} \left[e^{kx} x_0 U_0 + \int_{x_0}^x \left(\frac{A}{x} - m \right) x^B e^{kx} dx \right], \quad (3)$$

где t — текущее время, x — координата перемещения переднего фронта воды, H — напор, ξ — коэффициент местного гидравлического сопротивления, λ — коэффициент гидравлического сопротивления по длине, D — диаметр трубопровода, α — угол наклона трубопровода, g — ускорение силы тяжести, $f(x) = \frac{B}{x} + k$, $U = \left(\frac{dx}{dt} \right)^2$, $m = 2g \sin \alpha$, $\varphi(x) = \frac{A}{x} - m$, $A = 2gH$, $B = \xi + 1$, $k = \frac{\lambda}{D}$.

После интегрирования при условии $x = x_0$, $u = u_0$ (3) и пренебрежении гидравлическими сопротивлениями ($\xi = 0$, $\lambda = 0$) получается зависимость, описывающая изменение скорости движения воды в процессе заполнения трубопровода

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{\frac{-mx^2 + 2Ax + 2x_0u_0 - 2Ax_0 + mx_0^2}{2x}}. \quad (4)$$

а после интегрирования выражения (4) при $\xi = 0$, $\lambda = 0$ — закон движения переднего фронта воды в процессе заполнения трубопровода

$$x = \sqrt{2gH} t - \frac{g \sin \alpha}{4} t^2. \quad (5)$$

При учете гидравлических сопротивлений $\xi = \xi_{\text{ак}} + \frac{l_0}{2D}$:

$$x = \sqrt{\frac{2gH}{\xi + 1}} t - \frac{g \sin \alpha}{2(\xi + 2)} t^2. \quad (6)$$

где $\xi_{\text{ак}}$ — коэффициент местного гидравлического сопротивления, l_0 — длина трубопровода.

Как видно из выражения (6), движение жидкости в процессе заполнения трубы с точностью до постоянной совпадает с характером

движения твердого тела, брошенного вверх с начальной скоростью. Из уравнения (4) также следует, что максимальная высота подъема воды при мгновенном открытии сечения в начале трубопровода равна

$$x_{\max} = 2H. \quad (7)$$

Анализ уравнения (3) показывает, что в зависимости от параметров системы движение в трубопроводе может совершаться как апериодическим, так и колебательным образом, последний, в частности, подтверждается расчетным путем на ЭВМ (рис 2). Время полного заполнения трубопровода равно

$$T_{\text{пол}} = \frac{l_0}{g \sin \alpha} \times \left(\sqrt{1 + \frac{2gl}{il_0}} - \sqrt{1 + \frac{2gl}{i_{\text{вх}} + \frac{il_0}{2D}}} - \frac{2l_0 \sin \alpha}{i_{\text{вх}} + \frac{il_0}{2D} + 2} \right) \quad (8)$$

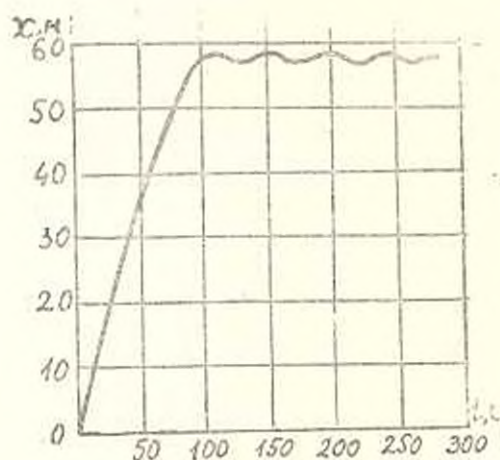


Рис 2. Координата движения переднего фронта воды в процессе заполнения трубопровода

При описании процесса опорожнения (рис. 1) предполагается, что первоначально трубопровод находится под давлением воды. На конце трубопровода напор равен h_0 , а в начале трубопровода ($x=0$) — $(H_0 + h_0)$, где H_0 — геодезическая высота подъема воды. Опорожнение трубопровода начинается при открытии затвора в начале трубопровода за промежуток времени $T_1 = l_0/a$, где a — скорость распространения упругих колебаний в трубопроводе.

Для определения изменения напора и скорости течения жидкости используются волновое уравнение для напора [6].

$$\frac{\partial^2 H}{\partial t^2} = u^2 \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} \quad (9)$$

и уравнение движения вида

$$\frac{\partial (H+z)}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} = 0, \quad (10)$$

где $\frac{\partial z}{\partial x} = \sin \alpha = \frac{H_0}{l_0}$.

Изменение напора в трубопроводе после открытия затвора описывается зависимостью

$$H(x, t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left(C_n \cos \frac{n\pi a t}{l} + D_n \sin \frac{n\pi a t}{l} \right) \sin \frac{n\pi x}{l}, \quad (11)$$

где

$$C_n = \frac{l}{l_0} \left(a_n \cos \frac{n\pi a T_2}{l_0} + b_n \sin \frac{n\pi a T_2}{l_0} \right),$$

$$D_n = \frac{2h_0 l^2 \cos n\pi}{a l_0 l^2 \pi^2} + \frac{l}{l_0} \left(b_n \cos \frac{n\pi a T_2}{l_0} - a_n \sin \frac{n\pi a T_2}{l_0} \right),$$

$$a_n = \frac{2A l_0}{T_1 a \pi^2} \sin \frac{n\pi a T_1}{l_0},$$

$$b_n = -\frac{2h_0 l_0 \cos n\pi}{T_2 a \pi^2} + \frac{2A l_0}{T_1 a \pi^2} \left(\cos \frac{n\pi a T_2}{l_0} - 1 \right),$$

$$A = H_0 + h_0, \quad T_1 = \frac{l_0}{a}, \quad T_2 = \frac{h_0 T_1}{H_0 + h_0}.$$

Имея $H(x, t)$, из уравнения (10) определяется соответствующее изменение скорости

$$\begin{aligned} V(x, t) &= \frac{g}{l_0} \left[T_2 \left(\frac{h_0}{2} - A \right) - \frac{A T_1}{2} \right] - g \sin \alpha t + \\ &- \frac{2a g l_0}{T_1 n^2 \pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \left(\cos \frac{n\pi a T_1}{l_0} - 1 \right) \cos \frac{n\pi x}{l_0} - \\ &- \frac{g}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \sin \frac{n\pi a T_1}{l_0} - b_n \left(\cos \frac{n\pi a T_2}{l_0} - 1 \right) \right] \cos \frac{n\pi x}{l_0} - \\ &- \frac{g}{a} \sum_{n=1}^{\infty} \left[C_n \sin \frac{n\pi a t}{l} + D_n \left(\cos \frac{n\pi a t}{l} - 1 \right) \right] \cos \frac{n\pi x}{l}. \end{aligned} \quad (12)$$

Входящая в выражения (11) и (12) длина колонны жидкости l в процессе опорожнения уменьшается. Если пренебречь влиянием упругости стенок трубопровода, то изменение по времени длины колонны определяется зависимостью

$$l = l_0 - \frac{K \sin \alpha}{2(1 + \xi)} \quad (13)$$

откуда время полного опорожнения трубопровода будет равно

$$T_{\text{оп}} = \frac{1}{V} \sqrt{\frac{2(1 + \xi) l_0}{g \sin \alpha}} \quad (14)$$

На рис. 3 показан характер изменения скорости в процессе опорожнения, описываемый зависимостью (12) при следующих расчетных параметрах:

$$T_1 = l_0/a, \quad T_2 = l_0/2a, \quad h_0 = H_0, \quad A = 2H_0, \quad V_0 = Ag/a, \quad \tau = l/a, \quad x = 0.$$

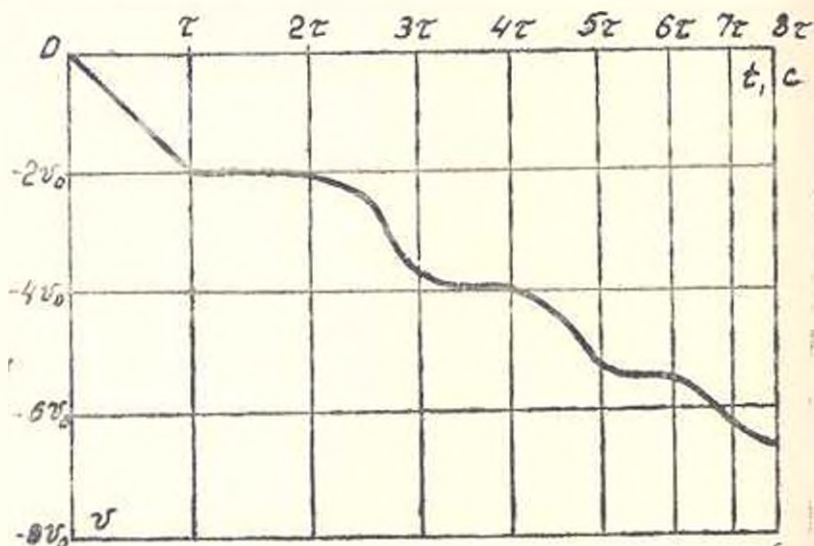


Рис. 3. Расчетная кривая изменения скорости в процессе опорожнения трубопровода.

По формулам (8) и (14) проведен расчет времени заполнения и опорожнения гидравлической линии связи в виде трубки, по которой осуществляется дистанционное управление запорным устройством. Расчетные параметры экспериментальной установки: общая длина трубки $l_0 = 113$ м, $l_0 = l_1 + l_2$, $l_1 = 18$ м, $l_2 = 95$ м, диаметры составных частей трубки $D_1 = 21$ мм, $D_2 = 9$ мм, напор в начале трубки $H = 89$ м. Коэффициенты местных гидравлических сопротивлений соответственно равны: $\xi_{\text{вх}} = 200$, $\xi_{\text{изг}} = 120$, $\lambda = 0,01$, а угол наклона трубки $\alpha = 9^\circ$. Согласно расчету время заполнения $T_3 = 45$ с, а сопротивления $T_{\text{оп}} = 206$ с.

Экспериментальным путем получено: $T_1 = (42-45)$ с, а время опорожнения $T_{\text{оп}} = (190-195)$ с.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Чумах Г. А., Шевченко Б. А., Логвиненко А. И. Влияние на величину гидроудара при заполнении трубопровода его параметров и некоторых других факторов. Кн. Математические модели рабочих процессов в гидрокневмосистемах.—Київ, 1961.—С. 32—36.
2. Приходько И. А., Пуртов Н. А., Филин Н. В. Расчет ударного давления при заполнении трубопровода с местным сопротивлением.//Химическое и нефтяное машиностроение.—1980.—№ 6.—С. 15—16.
3. Шульгин В. В. О гидравлическом ударе при заполнении трубы жидкостью.//Известия вузов. Машиностроение.—1979.—№ 10.—С. 88—91.
4. Костюков В. П. К теории неустановившегося течения жидкости при затоплении трубопроводов.//Сб. Гидродинамика лопастных машин и общая механика.—Воронеж.—1981.—Вып. 1.—С. 3—17.
5. Сборник задач по машиностроительной гидравлике.//Под ред. КукOLEвского И. И. и Подвиза Л. Г.—М.: Машиностроение, 1981.—464 с.
6. Чирный И. А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах.—М.: ГИИТЛ, 1951.—223 с.

АрмНИИВПНГ

18.IV, 1990

Изв. АН Армении (сер. ТН), т. XLV, № 1—2, 1992, с. 55—58

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.3

Ф. О. АВЕТИСЯН, Ю. М. ШАХИЗАРЯН

ФАЗОВРАЩАТЕЛЬ—КАК ИСТОЧНИК ТОКА

Фазовращатель наряду с изменением модуля и фазы выходного напряжения и тока, обладает свойством источника тока. Рассматривается фазовращатель, способный регулировать выходной ток с условием, что данное его значение не меняется при изменении нагрузки в широком диапазоне.

Илл. 3. Табл. 1. Библиогр.: 3 назв.

Փազաճառարը բացի նրա լարման և հասանելի լարմանի և փուլի փոփոխումից, անփոփոխ է նաև նախնի աղբյուրի հասանելիումը: Գրառման փոփոխումից կարող է կարգավորել նրա հասանելի ալիսը, որ բնոր լարի առնչակներում փոփոխվելիս հասանելի կարգավորված ալիսը արժեքը փոփոխ է անփոփոխ:

Ниже рассматривается возможность использования фазовращателя в качестве источника тока. Исследуется мостовой фазовращатель, электрическая схема которого приведена на рис. 1 а (активные сопротивления катушек и конденсаторов пренебрежены). Покажем, что при одновременном изменении значений сопротивлений R и R_n при соблюдении условия $\frac{R_n}{2R} = \text{const}$ величина тока в нагрузке остается

неизменной. Для простоты анализа нагрузка фазовращателя принята чисто активной. Используя метод эквивалентного генератора, схему рис. 1 а представим схемами рис. 1 б и рис. 1 в. При этом величины