Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова, 1983, т. 97

УДК 621.226

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ВОЛНЫ ДАВЛЕНИЯ В МАГИСТРАЛЯХ ГИДРОПРИВОДА

Г.Д.СЛАБОЖАНИН, В.Д.СЛАБОЖАНИН

В справочной литературе по гидроприводам скорость распространения ударной волны в металлических трубах с рабочей жидкостью рекомендуется ориентировочно принимать равной c = 1000–1330 м/с [1, с.49; 5, с.31], что соответствует скорости c = 1320 м/с в дегазированных минеральных маслах [6, с.54]. Обычно же в минеральных маслах содержится около 6 % нерастворенного воздуха, а в зависимости от конструкции и эксплуатации гидросистемы его количество может повыситься до 18 % общего объема жидкости [5, с.85]. Наличие нерастворенного газа в жидкости приводит при низких давлениях в гидромагистрали к снижению в несколько раз скорости распространения упругой волны по сравнению с указанными. Не дают однозначных результатов при низких давлениях и существующие формулы для определения скорости волны в магистралях с газожидкостной смесью, в частности формула Н.Е.Жуковского [3],

$$c_c = 1/\sqrt{\rho_c\left(\frac{1}{E_c} + \frac{D}{E_м \delta}\right)},$$

где ρ_c – плотность газожидкостной смеси; E_c и $E_м$ – модуль упругости смеси и материала трубопровода; D и δ – диаметр трубопровода и толщина его стенки.

Эксперимент по определению скорости распространения импульса давления в трубопроводах с потоком масла АМГ-10 при температуре 40±2 °С проводился на установке с замкнутой гидравлической системой (рис.1). Масляная смесь из бака под требуемым давлением, устанавливаемым дросселем, подавалась насосом в испытуемый стальной напорный трубопровод длиной 8 м и в рукав длиной 6 м.

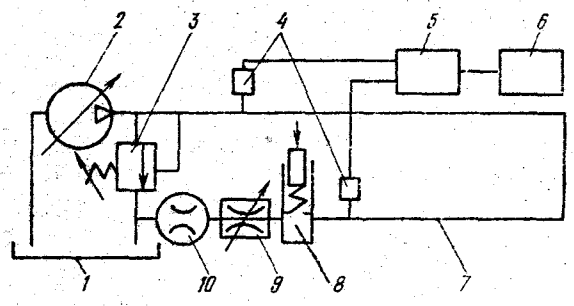


Рис.1. Стенд для определения скорости распространения волны давления в гидромагистралях
1 – бак; 2 – насос; 3 – предохранительный клапан; 4 – датчики давления; 5 – усилительная аппаратура ВИ6-5МА; 6 – шлейфовый осциллограф К12-22; 7 – испытуемый напорный трубопровод; 8 – задающее устройство; 9 – дроссель; 10 – расходомер

Скорость потока жидкости в трубопроводе контро-

ровалась расходомером, волна давления генерировалась ударом по плунжеру задающего устройства. При определении скорости волны при давлении ниже атмосферного трубопровод с задающим устройством и дросселем включался во всасывающую линию насоса.

Для получения осциллограммы изменения давления на концах экспериментального трубопровода использовались датчики давления ДД-6, усилительная аппаратура и шлейфовый осциллограф. Скорость волны определялась делением длины экспериментального участка трубопровода на время прохождения сигнала в нем (погрешность ~3 %).

Результаты опытов, полученные при абсолютных давлениях p = = 0,4÷2,0 МПа и скорости потока жидкости в магистрали v = 0,5 м/с, сопоставлены с расчетными данными.

Скорость распространения волн в газожидкостной смеси по формуле С.Г.Роганова и А.А.Дамера [7, с.109]

$$c_c = c_ж\left[\frac{\varphi_0}{p}(\rho_ж - \rho_г)c_ж^2 + \varphi_0\left(\frac{c_ж^2}{c_г^2} - 1\right) - 1\right]^{-\frac{1}{2}}, \qquad (1)$$

и по уравнению Вуда, преобразованному В.С.Башкировым [2, с.13],

$$c_c^2 = \rho_c\left[\frac{S}{(\varphi+S)E_ж} + \frac{\varphi}{(\varphi+S)kp}\right]^{-1}, \qquad (2)$$

где $c_ж$ и $c_г$ – скорость распространения волн давления в жидкости и газе; φ_0 – фактическое объемное газосодержание,

$$\varphi_0 = \left[1 + \frac{p}{p_a}\left(\frac{1-\varphi}{\varphi}\right)\right]^{-1};$$

p и p_a – абсолютное и атмосферное давление; φ – содержание газов при атмосферном давлении; $\rho_ж$, $\rho_г$ и ρ_c – плотность жидкости, газа и смеси соответственно при атмосферном давлении,

$$\rho_c = \frac{\rho_ж\left[S\left(1 + \frac{p-p_a}{E_ж}\right) + \varphi\frac{\rho_г}{\rho_ж}\left(1 + \frac{p-p_a}{kp}\right)\right]}{\varphi + S},$$

S – эмпирический параметр,

$$S = \left(\frac{p}{p_a}\right)^{\frac{1}{k}}\left(\frac{B}{E_ж}\right)^{\frac{1}{A}};$$

k – показатель адиабаты; $E_ж$ – модуль упругости жидкости; $E_ж = A(p-p_0)+B$; A и B – постоянные для данной жидкости и температуры коэффициенты.

В расчете использованы следующие параметры: гидромагистрали – труба стальная с $E_м = 2\cdot10^5$ МПа и D/δ = 14; жидкой фазы – масло АМГ-10 с A = 12,75, B = 1490 МПа, $\rho_ж$ = 850 кг/м^3, $c_ж$ = 1260 м/с; газовой фазы – воздух с $\rho_г$ = 1,21 кг/м^3, $c_г$ = 335 м/с и k = 1,41.

Анализ экспериментальных зависимостей показывает, что скорость распространения ударной волны только при давлении большем 1 МПа лежит в диапазоне, указываемом в справочной литературе по гидроприводам.

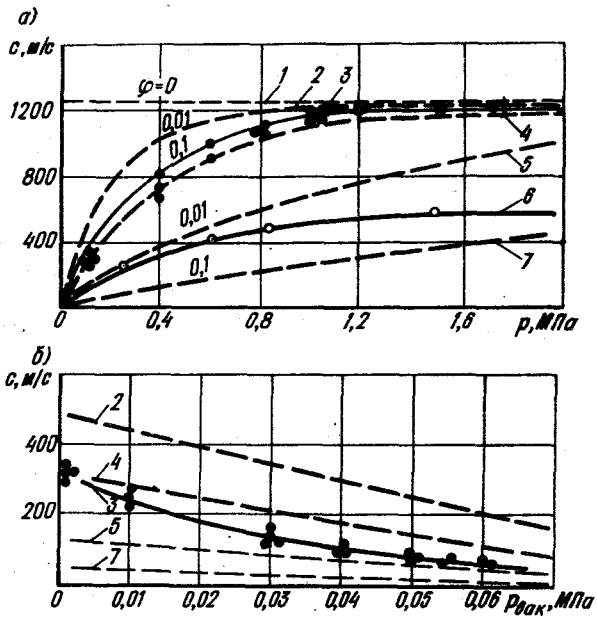


Рис.2. Экспериментальные (3 и 6) и расчетные зависимости (1, 2, 4, 5 и 7) для скорости ударной волны от абсолютного (а) и от вакуумметрического (б) давления

Наибольшее согласие с экспериментом дает кривая 4 при $\varphi = 0{,}1$ (рис.2, а), полученная также как и кривая 2 с использованием формулы (I). Отклонение кривой 4 от опытной зависимости 3 (рис.2, б) обусловлено наличием фазовых превращений и повышенным содержания нерастворенного в жидкости газа при понижении давления в магистрали.

Формула Вуда (2) приводит к занижению значений скорости волны давления (кривые 5 и 7). Аналогичные результаты дает использование формулы Н.Е.Жуковского.

О значительном занижении рассчитанных по модулю упругости скорость во всасывающей магистрали, где давление мало, свидетельствуют также результаты работы [4].

Сравнительным анализом зависимостей установлено, что скорость ударной волны в стальных гидромагистралях при давлении менее 2 МПа с достаточной для практических расчетов точностью может определяться без учета упругости стенок по упрощенной формуле С.Г.Роганова и А.А.Дамера

$$c = 1260\left[13{,}5\cdot 10^{6}\,\frac{\varphi_0}{p} + 13{,}15\,\varphi_0 + 1\right]^{-\frac{1}{2}}.$$

Выводы

I. Для определения скорости ударной волны в стальных гидромагистралях при низких давлениях предложена формула (3).

2. Скорости волны в резиновых рукавах по данным опытов примерно в 2 раза меньше, чем в стальных гидромагистралях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Е.Н., Колесниченко К.А., Маслов В.Г. Элементы гидропривода. Справочник. Киев, Техника, 1977.

2. Башкиров В.С. Исследование неустановившегося движения рабочей жидкости в линиях объемных гидроприводов дорожно-строительных машин. Автореф. канд.дис. Омск, изд. Сиб. автодор. ин-та, 1975.

3. Жуковский Н.Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах. М.-Л., Гостехиздат, 1949.

4. Изможеров В.А. Исследование упругих свойств рабочей жидкости во всасывающем и напорном трубопроводах объемного насоса. – В кн.: Гидравлические и прочностные характеристики машин и конструкций. Межвузовский сборник, вып. 183. Пермь, изд. Пермск. политехническ. ин-та, 1976.

5. Ковалевский В.Ф., Железняков Н.Г., Бейлин Ю.Е. Справочник по гидроприводам горных машин. М., Недра, 1973.

6. Коваль П.В. Гидропривод горных машин. М., Недра, 1967.

7. Роганов С.Г., Дамер А.А. Влияние газовых пузырьков в линии нагнетания на скорость распространения волны давления. – Изв. вузов, 1974, № 4.