

ГИДРАВЛИКА

В. О. ТОКМАДЖЯН

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР В ТРУБАХ ПРИ ДВИЖЕНИИ
 ТРЕХФАЗНОЙ ЖИДКОСТИ

1. Рассмотрим трехфазный поток с расходами жидкости $Q_{ж.}$ твердой фазы $Q_{т.}$ газа q_0 (приведенный к нормальным условиям). Для определения повышения давления при прямом гидравлическом ударе исходим из теоремы количеств движения.

Пусть в момент t ударная волна достигла до сечения 1 (рис. 1). Тогда за время Δt она охватит отсек, длиною $\Delta x = a\Delta t$.

Изменение количеств движения за время Δt будет равно изменению количества движения в отрезке 1-2 и количества движения поступающей массы в этот отсек за время Δt . Однако, последние сравнительно малы [1] и ими можно пренебречь. В рассмотренном случае получим:

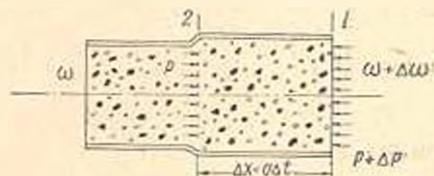


Рис. 1.

$$\{s_t \rho_t v_t + (1 - s_t) [s v_t \rho_t + (1 - s) v_{ж} \rho_{ж}]\} (\omega + \Delta\omega) a \Delta t = (\omega + \Delta\omega) \Delta p \Delta t, \quad (1)$$

где v_t , $v_{ж.}$, v_t — средние скорости газа, жидкости и твердой фазы;

ρ_t , $\rho_{ж.}$, ρ_t — плотности газа, жидкости и твердой фазы;

ω , $\Delta\omega$ — площадь и приращение площади сечения трубы;

Δp — повышение давления гидравлического удара;

a — скорость распространения волны удара трехфазной жидкости;

s_t — объемная концентрация газа в потоке;

s — объемная концентрация твердой фазы в твердо-жидкостной смеси.

Количество движения газа сравнительно с количеством движения твердо-жидкой фазы незначительно и поэтому им можно пренебречь.

Таким образом, получим:

$$a (1 - s_t) [s v_t \rho_t + (1 - s) v_{ж} \rho_{ж}] = \Delta p. \quad (2)$$

Принимая для v_t и $v_{ж.}$ выражения

$$v_{ж} = \frac{Q_{ж}}{\omega_{ж}} = \frac{Q_{ж}}{(1-s_r)(1-s)\omega}; \quad (3)$$

$$v_r = \frac{Q_r}{\omega_r} = \frac{Q_r}{(1-s_r)s\omega} \quad (4)$$

и подставляя (3) и (4) в (2) получим:

$$\frac{\Delta p}{\gamma_{ж}} = \frac{a Q_{ж}}{\omega g} \left(\frac{Q_r}{Q_{ж}} \frac{\gamma_r}{\gamma_{ж}} + 1 \right) = \frac{a v'}{g}. \quad (5)$$

Формула (5) удобна тем, что в ней не участвуют средние скорости жидкости и твердой фазы, определение которых является одной из сложных задач гидравлики двухфазной жидкости. Отметим, что скорость жидкости не должна быть меньше той критической скорости, при которой не исключается оседание твердой фазы, т. е. имеет место полное взвешивание твердой фазы.

2. В [1] для определения скорости распространения удара в двухфазной смеси (жидкость, твердая фаза) получено следующее выражение:

$$a_{гж} = \frac{\sqrt{\frac{E_{ж} g}{\gamma_{ж}}}}{\sqrt{1 + \frac{D}{\delta} \frac{E_{ж}}{E_m} + s \left[\frac{\gamma_r}{\gamma_{ж}} \frac{E_{ж}}{E_r} - 1 + \frac{D}{\delta} \frac{E_{ж}}{E_m} \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_{ж}} - 1 \right) \right]}}. \quad (6)$$

При деформации трубы, несжимаемой жидкости выражение (6) примет вид:

$$a_{гж} = \frac{\sqrt{\frac{g}{\gamma_{ж}}}}{\sqrt{\frac{D}{\delta} \frac{1}{E_m} + s \left[\frac{\gamma_r}{\gamma_{ж}} \frac{1}{E_r} - 1 + \frac{D}{\delta} \frac{1}{E_m} \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_{ж}} - 1 \right) \right]}}. \quad (7)$$

В [2] было получено выражение скорости распространения звука в газо-жидкостной среде, с учетом сжимаемости газа и жидкости в следующем виде:

$$a_{гжг} = \frac{\sqrt{\frac{E_{ж} g}{\gamma_{ж}}}}{\sqrt{1 + \frac{E_{ж} q_0 v_{ж}}{k p Q_{ж} v_r} \left(\frac{p_{ат}}{p} \right)^{1/k}} \cdot \left[1 + \frac{q_0 v_{ж}}{Q_{ж} v_r} \left(\frac{p_{ат}}{p} \right)^{1/k} \right]^2}}. \quad (8)$$

Пользуясь выражениями (7) и (8) и известной формулой Кортвеги

$$a = \frac{a_{гжг}}{\sqrt{1 + \left(\frac{a_{гжг}}{a_{гж}} \right)^2}} \quad (9)$$

получим следующее выражение для скорости распространения удара трехфазной жидкости в трубах:

$$\alpha = \frac{\sqrt{\frac{E_{ж} g}{\gamma_{ж}}}}{\sqrt{A + \frac{D}{\delta} \frac{E_{ж}}{E_{м}} + s \left[\frac{\gamma_{т}}{\gamma_{ж}} \frac{E_{ж}}{E_{т}} - 1 + \frac{D}{\delta} \frac{E_{ж}}{E_{м}} \left(\frac{\gamma_{т}}{\gamma_{ж}} - 1 \right) \right]}} \quad (10)$$

где

$$A = \frac{1 + \frac{1}{k} \frac{E_{ж}}{\rho} \frac{q_0}{Q_{ж}} \frac{v_{ж}}{v_{т}} \left(\frac{p_{ат}}{\rho} \right)^{1/\gamma}}{\left[1 + \frac{q_0}{Q_{ж}} \frac{v_{ж}}{v_{т}} \left(\frac{p_{ат}}{\rho} \right)^{1/\gamma} \right]^2}$$

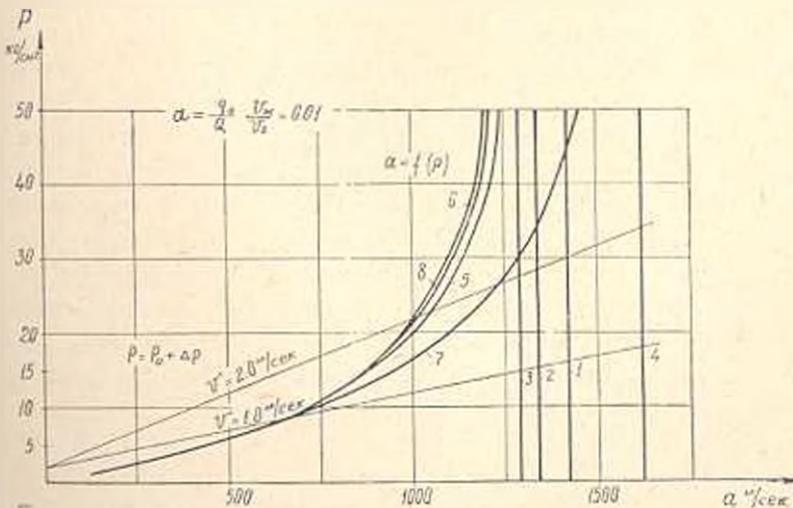
- $E_{ж}, E_{м}, E_{т}$ — модули упругости, материала трубы и твердых частиц;
- $\gamma_{ж}, \gamma_{т}$ — объемные веса жидкости и твердых частиц;
- D, δ — диаметр и толщина стенки трубы;
- k — коэффициент адиабаты;
- $\rho, p_{ат}$ — абсолютное давление удара и атмосферное давление.

Метод совместного решения уравнений (5) и (10) тот же, что и [2].

Пример. Определить численные значения α и Δp при исходных данных представленные в табл. 1 и следующих расчетных параметрах.

Таблица 1

Наименование второй фазы	$\gamma_{т}$ кг/м ³	$E_{т}$ кг/м ²	s
Кварцовый песок	2650	$4 \cdot 10^9$	0,151
Стальные стружки	7850	$2,1 \cdot 10^{10}$	0,051
Сосновые стружки	800	$1 \cdot 10^9$	0,5



1. вода 2. вода-кварцовый песок 3. вода-стальные стружки 4. вода-сосновые стружки
5. вода-вода-кварцовый песок 6. вода-вода-стальные стружки 7. вода-вода-сосновые
стружки 8. вода-вода

Рис. 2.

$$\text{Коэффициент аэрации } \alpha = \frac{q_0 \cdot v_{ж}}{Q \cdot v_r} = 0,01;$$

$$\rho_0 = 2,0 \text{ кг/см}^3$$

$$a_{ж0} = 1,125 \text{ м/сек}$$

$$E_{ж} = 2,07 \cdot 10^9 \text{ кг/м}^3$$

$$E_m = 2,1 \cdot 10^{10} \text{ кг/м}^3$$

$$\frac{D}{\delta} \frac{E_{ж}}{E_m} = 0,21$$

Во всех трех случаях весовая концентрация второй фазы принята равной 0,4.

Пользуясь методом, изложенным в [2] построены кривые $a = f(p)$ для восьми указанных на рис. 2 случаев и кривые $p = p_0 + \Delta p$ для значений приведенной скорости $v' = \frac{Q_0}{Q_{ж}} \left(\frac{Q_0}{Q_{ж}} \frac{v_r}{v_{ж}} + 1 \right) = 1 \text{ м/сек}$ и $v' = 2 \text{ м/сек}$.

Точки пересечения этих кривых дают значения a и Δp , которые для приведенных данных собраны в табл. 2.

Таблица 2

Наименование второй фазы	$a_{тж}$	$v' = 1 \text{ м/сек}$			$v' = 2 \text{ м/сек}$		
		$\Delta p_{тж}$ кг/см ²	a м/сек	$\Delta p_{тж}$ кг/см ²	Δp кг/см ²	a м/сек	Δp кг/см ²
Кварцовый песок . . .	1340	13,0	630	6,0	26,5	1050	20,5
Стальные стружки . . .	1285	12,5	630	6,0	25,0	990	19,5
Сосновые стружки . . .	1620	16,0	640	6,0	32,0	1230	24,0
Без второй фазы . . .	1296	14,0	630	6,0	28,0	1010	20,0

На рис. 2 наглядно видно влияние приведенной скорости v' , давления p_0 , газосодержания α и наличия второй фазы на значение a и p .

В заключение следует отметить, что даже незначительное газосодержание в потоке (как в нашем примере) сильно смягчает гидравлический удар. С увеличением приведенной скорости смягчение гидравлического удара уменьшается. Увеличение приведенной скорости увеличивает Δp не только в прямой зависимости (5), но и через значение a , которое при этом увеличивается. При малых давлениях наличие твердой фазы (даже при больших концентрациях) незначительно влияет на параметры гидравлического удара, при этом основное влияние оказывает газосодержание, так что при заметных газосодержаниях и при не очень больших давлениях вместо гидравлического удара трехфазной жидкости, можно рассматривать гидравлический удар в газо-жидкостной среде. При расчете гидравлического удара трехфазной жидкости Δp и a получаются больше для той двухфазной смеси, которая имеет большее значение $a_{тж}$.

Վ. Հ. ՓՈՔՄԱԶՅԱՆ

ՉԻԴՐԱՎՈՐԱԿԱՆ ՀԱՐՎԱԾԸ ԽՈՂՈՎԱԿՆԵՐՈՒՄ ԵՌԱՅԱԶ ԶԵՂՈՒԿԻ
ՇԱՐՃՄԱՆ ԴԵՊՓՈՒՄ

II. մ փ ո փ ու մ

Օգտվելով շարժման քանակների և ուժի իմպուլսի թեորեմից և կատարելով թույլատրելի բնդունելություններ, ստացվում է հիդրավիկական հարվածի ճնշման բարձրացման համար չափադանց պարզ բանաձև (6) եռաֆազ (հեղուկ, պինդ, գազ) հեղուկի շարժման դեպքում:

Այս բանաձևը հարմար է նրանով, որ այնտեղ չեն մասնակցում առանձին խառնուրդների միջին արագությունները, այլ մասնակցում են միայն նրանց էլքերը:

Օգտվելով մեր նախորդ ուսումնասիրություններից [1], [2] որոշված է այիքի տարածման արագությունը (11) խողովակներում եռաֆազ հեղուկների շարժման դեպքում:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Тоқмаджян В. О. Гидравлический удар в трубах при движении двухфазной жидкости. Изв. АН АрмССР, серия ТН, т. XIII, № 2, 1960.
2. Тоқмаджян В. О. Гидравлический удар в трубах при движении газо-жидкостной смеси. Тр. Ереванского политехнического института (строительная серия), 1966.