

Э. М. КАЛЕЦКАЯ

ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ДЛИННЫХ ВОЛН
В ТРУБОПРОВОДАХ

(Представлено академиком Л. С. Лейбензоном 5 II 1951)

Настоящая работа посвящена задаче исследования интерференции длинных продольных волн значительной амплитуды, распространяющихся в ограниченной среде (трубопроводных магистралях и т. п.).

Опытные исследования интерференции производились на специальном гидравлическом стенде с пульсационным возбуждением инерционных волн (см. рис. 1).

Ввиду чрезвычайной трудности создания совершенно идентичных условий возбуждения колебаний от двух различных источников, когерентность, необходимая для наблюдения явления интерференции, создавалась использованием основной (AD) и обводной ($ABCD$) магистралей, причем обеспечивалась разность их длин, соответствующая определенной разности хода волн.

Чтобы получить наиболее яркую картину интерференции, в качестве возбудителя монохроматических волн был использован быстроходный пульсатор (типа бесклапанного плунжерного насоса) со ступенчатым регулированием частоты (в пределах от 1200 до 2000 об/мин) и изменяемым радиусом кривошипа (регулирование амплитуды колебаний). Отношение длины шатуна к максимальному ходу плунжера 100 мм : 7,5 мм оказалось вполне достаточным для получения симметричной синусоиды давлений. Особое внимание было обращено на симметричность относительно коэффициентов прохождения* на входном и выходном пункте обводного трубопровода $ABCD$. Заметим, что формула Егера⁽⁴⁾ для коэффициентов прохождения волновых амплитуд в разветвлениях $S = \frac{2f/c}{\Sigma f/c}$, полученная им из элементарных соображений и приводящая при равных сечениях f и скоростях распространения волн c к одинаковым значениям этих коэффициентов, для многих несимметричных ответвлений не подтверждается экспериментальными измерениями.

Основная серия экспериментов производилась при числе пульсаций $n = 1640$ в минуту. При этом разность хода волн, соответствующая компенсации амплитуды, $ABCD - AD = \Delta L = \lambda / 2 = 30 c / n$, где λ — длина волны, $c = c_1 / \sqrt{1 + \frac{\epsilon}{E} \frac{D}{\delta}}$ — скорость распространения волн в жидкости с учетом деформации стенок трубопровода по Н. Е. Жуковскому. Для данных опытных магистралей: диаметра

* Коэффициентом прохождения названо отношение амплитуды колебания, прошедшего в данное ответвление, к полной амплитуде колебания, подведенного к точке разветвления.

трубопровода $D = 1\frac{1}{4}''$, модуля упругости $E = 2 \cdot 10^6$ кг/см² (сталь), модуля упругости воды $\epsilon = 2,1 \cdot 10^4$ кг/см² и скорости распространения продольных волн в неограниченной среде $c_1 = 1425$ м/сек (при температуре $t = 15^\circ$) $\Delta L = 24$ м.

Разность длин обводного и основного трубопроводов (см. рис. 1) $\Delta L = ABCD - AD = 41,5 - 17,5 = 24$ м соответствует именно этой разности хода волн.

Заметим, что отклонения в частоте пульсаций на 5—10%, как показали наши эксперименты, почти не влияют на результаты практически полной интерференции.

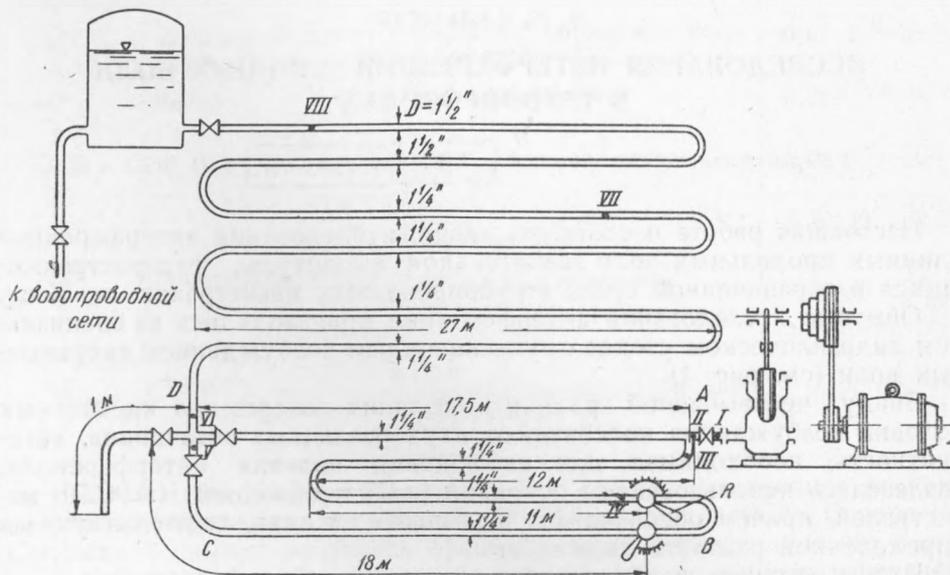


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Основные пункты измерений I, II, III, V и VI; VII и VIII — контрольные точки. Главным пунктом, определяющим все основные результаты опыта, служил пункт VI, расположенный непосредственно после соединения волновых лучей в точке, начиная с которой предполагалась интерференция. Исследования велись, главным образом, при распространении волн в покоящейся среде, так как в большинстве случаев практики скоростью воды по сравнению со скоростью распространения волны можно пренебречь⁽³⁾.

Ввиду тщательного предварительного устранения обстоятельств, препятствовавших надежности опытов и могущих исказить результаты, экспериментальная установка дала весьма наглядные результаты, иллюстрирующие интерференцию длинных волн в трубопроводах.

Была получена серия интерференционных диаграмм, снятых при помощи балочного индикатора, который был установлен в пункте VI магистрали. Здесь мы ограничимся лишь приведением результатов, относящихся к следующей схеме установки: при полностью закрытом шибере R, открывающем доступ волне в обвод, возбуждались пульсации от плунжера, которые таким образом передавались только по главной магистрали и регистрировались установленным в пункте VI индикатором (запись этих колебаний представлена на рис. 2); затем в одних опытах быстро, а в других постепенно открывался шибер R при продолжавшейся записи индикатора, который сразу же обнаруживал в соответствии с ходом шибера резкое или постепенное понижение амплитуды колебаний почти до нуля (рис. 2 а и б). Значитель-

ные сотрясения и стук, наблюдавшиеся в магистралях при работе без интерференции, также уменьшились сразу же после включения обводной магистрали.

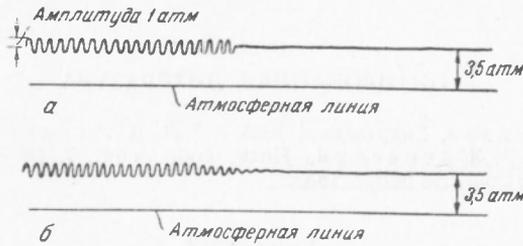


Рис. 2

Многочисленное повторение основной серии испытаний с интерференционной компенсацией продольных ударных волн в трубопроводах неизменно приводило к одним и тем же результатам почти полного гашения амплитуд, что позволяет нам, не повторяясь, ограничиться уже приведенными типичными данными.

Полученные экспериментальные результаты открывают также возможность применения интерференционного аппарата с регулируемой длиной обводной магистрали в качестве прибора, измеряющего скорость распространения волн гидравлического удара на любом заданном участке трубопровода; теоретическое определение этой скорости во многих случаях представляется весьма затруднительным, например в трубах анизотропного материала, при большом количестве упругих стыков и т. д., в частности, этот метод представляется полезным для мало изученных в этом отношении неметаллических трубопроводов. Ввиду относительно малой величины скорости распространения волн габариты интерференционного аппарата будут здесь сравнительно небольшими.

Измерительный аппарат (см. рис. 3) в качестве источника непрерывных пульсаций может иметь быстроходный бесклапанный насос (например типа, применявшегося нами при экспериментах), вращающуюся задвижку и т. п. К данной точке магистрали подключается обводный участок трубопровода регулируемой непрерывно (винтом и т. п.) или ступенчато (см., например, рис. 3 а) длины. Последняя устанавливается так, чтобы за точкой *D* индикаторная диаграмма дала практической прямою вместо синусоиды в точке *I*; таким образом, при определенной длине ΔL будет иметь место полная интерференция.

Соответственно установленной разности хода ΔL и измеренному числу пульсаций в минуту *n* источника колебаний скорость распространения волн определяется из очевидного соотношения $c = n\Delta L / 30$. Приведенный способ измерения имеет то преимущество, что позволяет определять скорость волны на заданном коротком участке или даже в точке трубопровода; другие методы давали лишь среднюю скорость по весьма длинному участку трубы.

Предложенный способ измерения скорости распространения низко-

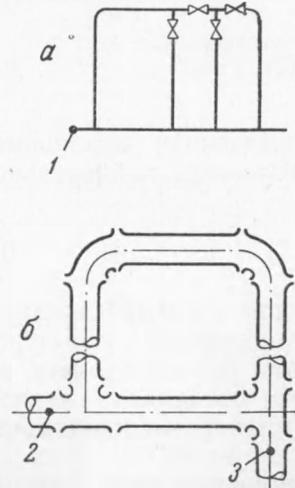


Рис. 3. 1 — источник пульсаций, 2 — источник пульсаций переменной частоты, 3 — индикатор давления

частотных колебаний в трубопроводах существенно упрощается, когда приводящий источник колебаний имеет непрерывно регулируемую их частоту, не требующую регулировки длины обвода (см. рис. 3 б).

Поступило
5 II 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Л. С. Лейбензон, Гидравлика, 1934. ² Л. Д. Ландау, Механика сплошной среды, 1940. ³ Н. Е. Жуковский, Полн. собр. соч., 7, 1937. ⁴ Ch. Yäeger, Théorie générale du coup de bélier, 1933.