

3.23. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

В современной технике применяются трубопроводы для перемещения разнообразных жидкостей, изготавливаемые из различных материалов. Наряду с трубопроводами самых незначительных размеров (капилляров) имеются магистральные трубопроводы протяженностью в сотни километров и диаметрами, измеряемыми в метрах.

При гидравлических расчетах трубопроводов в зависимости от их длины и гидравлических условий различают: а) **короткие трубопроводы** – они имеют сравнительно небольшую длину, а местные потери напора в них достаточно существенны (не менее 5...10 % от потерь напора по длине); б) **длинные трубопроводы** – имеют значительную протяженность, в них потери напора по длине являются основными, а местными потерями напора пренебрегают.

В зависимости от геометрической конфигурации и способов гидравлического расчета различают **простые и сложные трубопроводы**. Простым называют трубопровод, состоящий из одной линии труб, не имеющий боковых ответвлений, т.е. трубопровод с одинаковым расходом на всем пути движения жидкости от места забора А до пункта потребления В. Сложным называют трубопровод, состоящий из основной магистрали и ряда отходящих от нее ответвлений. Основные виды сложных трубопроводов: а) параллельные (кольцевые); б) разветвленные (тупиковые).

Различают **транзитный расход**, передаваемый по магистрали, и **путевой** (попутный), отбираемый из магистрали в ряде промежуточных точек по пути движения жидкости. **Расход сосредоточенный**, если точки отбора находятся на значительном расстоянии одна от другой, и **непрерывный**, если эти точки расположены очень близко одна от другой.

При гидравлическом расчете трубопроводов встречаются самые разнообразные задачи. Мы рассмотрим лишь гидравлический расчет коротких простых трубопроводов, в котором учитываются как потери по длине, так и местные потери напора. Вспомним уравнение Бернулли для реальной жидкости (см. (3.28), стр.44). Для распространенного случая, когда $p_1=p_2=p_{\text{атм}}$, выразим скорость движения жидкости

$$v = \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta}} \sqrt{2gH} ,$$

где H – располагаемый напор в начале трубопровода.

Обозначив через $\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta}}$, где μ – коэффициент расхода жид-

кости для трубопровода, получим $v = \mu \sqrt{2gH}$. Тогда расход жидкости в $Q = \mu S \sqrt{2gH}$, где S – живое сечение потока жидкости в трубопроводе. При гидравлическом расчете коротких простых трубопроводов постоянного диаметра могут встретиться следующие основные задачи, которые рассмотрены в примерах 3.7...3.9.

Пример 3.7. Известны (или заданы): расход Q , длина трубопровода L , его диаметр d , шероховатость стенок трубы Δ и наличие местных сопротивлений $\sum \zeta$. Задача сводится к определению потерь напора h . Используя известные обозначения, представим решение задачи в виде следующего алгоритма:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{4Q}{\pi d^2} \rightarrow Re = \frac{v d}{\nu} \rightarrow \lambda = f(Re, \Delta) \rightarrow h = \left(\lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta \right) \frac{v^2}{2g}$$

Пример 3.8. Даны: H , L , d . Найти Q .

Решается методом последовательных приближений. Задаемся квадратичной областью сопротивлений (см. рис. 3.15, стр. 59), т.е. $\lambda = f(\Delta)$ и не зависит от Re .

$$\lambda_1 = f(\Delta) \rightarrow \mu_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda_1 \frac{L}{d} + \sum \zeta}} \rightarrow Q_1 = \mu_1 S \sqrt{2gH} \rightarrow v_1 = \frac{Q_1}{S} \rightarrow Re_1 = \frac{v_1 d}{\nu} \rightarrow$$

$$\rightarrow \lambda_2 = f(Re, \Delta) \rightarrow \mu_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda_2 \frac{L}{d} + \sum \zeta}} \rightarrow Q_2 = \mu_2 S \sqrt{2gH} \leftrightarrow \text{сравнить с } Q_1.$$

Расчет продолжается до тех пор, пока Q_2 не уравнивается с Q_1 .

Пример 3.9. Даны: H , Q , L . Найти: d .

Задачу решают относительно произведения μS , которое изначально известно.

$$\begin{aligned} \text{Задаёмся } d_1 \rightarrow S_1 = \frac{\pi d^2}{4} \rightarrow v_1 = \frac{Q}{S_1} \rightarrow Re_1 = \frac{v_1 d_1}{\nu} \rightarrow \lambda_1 \rightarrow \\ \rightarrow \mu_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + \lambda_1 \frac{L}{d} + \sum \zeta}} \rightarrow \mu_1 S_1 \leftrightarrow \text{сравнить с } \mu S = \frac{Q}{\sqrt{2gH}}. \end{aligned}$$

Чаще пользуются расчетно-графическим методом: строят график $\mu S = f(d)$ и по графику определяют необходимый диаметр трубопровода.

3.24. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР В ТРУБАХ

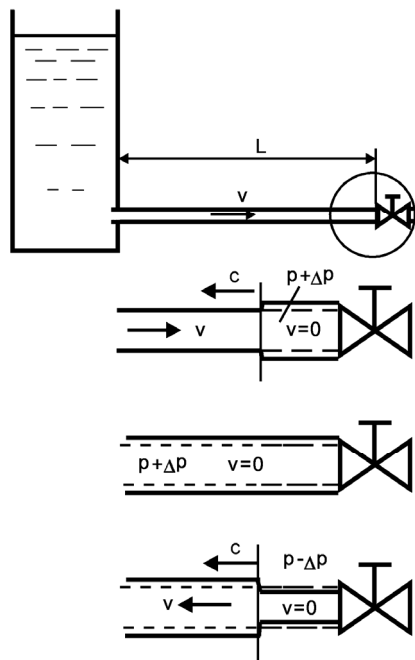


Рис. 3.20 Экспериментальная установка

Под гидравлическим ударом понимают резкое повышение давления в трубопроводах при внезапной остановке движущейся в них жидкости. Гидравлический удар происходит, например, при быстром закрытии различных запорных приспособлений, устанавливаемых на трубопроводах (задвижка, кран), внезапной остановке насоса и др. Особенно опасен гидравлический удар в длинных трубопроводах, в которых движутся значительные массы жидкости с большими скоростями. В таких случаях, если не принять предупредительных мер, гидравлический удар может привести к повреждению мест соединения труб (стыки, фланцы), разрыву стенок трубопровода, поломке насоса.

В напорном трубопроводе (рис. 3.20) движется жидкость. Закроем задвижку, т.е. мгновенно прекратим движение

жидкости. В результате остановки произойдет резкое повышение давления в трубе вследствие перехода кинетической энергии жидкости в потенциальную. Давление увеличивается в первую очередь непосредственно у задвижки. Затем, по мере остановки последующих слоев жидкости, увеличение давления будет с большой скоростью распространяться вверх по трубопроводу, создавая волну повышенного давления. Повышение давления вызывает сжатие жидкости и увеличение диаметра трубы.

Упругая деформация жидкости и трубы происходит со скоростью распространения повышенного давления. Скорость распространения упругих деформаций называется **скоростью распространения ударной волны** c .

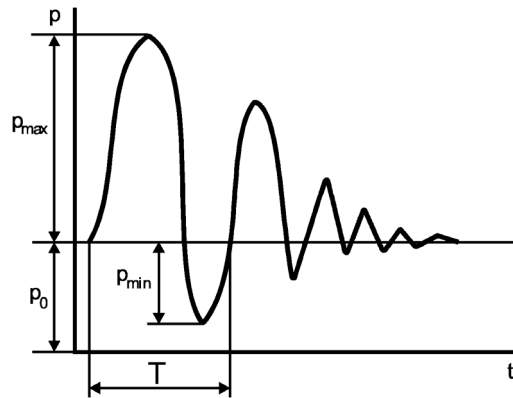


Рис. 3.21 Ударная диаграмма (изменение давления у задвижки)

Характер изменения давления у задвижки показан на схематичной “ударной диаграмме” (рис. 3.21). Повышение давления происходит не в самом начале удара, а через некоторый (весьма малый) промежуток времени с момента начала повышения давления. Это объясняется тем, что явление удара происходит в упругой среде.

После остановки последнего слоя вся жидкость в трубопроводе будет сжата. В этот момент давление в резервуаре станет меньше давления в трубопроводе и жидкость придет в движение по направлению к резервуару. Произойдет резкое понижение давления в трубопроводе. Понижение давления, передающееся от слоя к слою и распространяющееся по направлению к задвижке, называют **отраженной (обратной) ударной волной**. Время пробега прямой и обратной ударных волн составляет длительность фазы гидравлического удара.

$$T = \frac{2L}{c} \quad (3.53)$$

После того, как давление снизится во всем трубопроводе и станет меньше, чем в резервуаре, жидкость сначала остановится, а затем, находясь под пониженным давлением, начнет обратное движение к задвижке. Т.к. часть энергии будет потеряна, у задвижки возникнет уже меньшее повышение давления. За этой обратной ударной волной последует другая, т.е. повторится фаза гидравлического удара и т.д.

Описанный процесс происходит чрезвычайно быстро, т.к. скорости распространения ударной волны очень велики. Впервые явление гидравлического удара экспериментально и теоретически было изучено Н.Е. Жуковским, который в 1898 г. создал теорию гидравлического удара. Им была получена формула, которая так и называется, – формула Н. Е. Жуковского:

$$\Delta p = \rho c v, \quad (3.54)$$

из которой следует, что величина ударного давления Δp зависит от рода жидкости (плотность ρ), начальной скорости движения жидкости v и скорости распространения ударной волны c .

Скорость распространения ударной волны c зависит от рода жидкости, материала трубы, ее диаметра, толщины стенок и определяется следующим выражением, получаемым из условия равенства между кинетической энергией жидкости, движущейся в трубопроводе, и суммой работ сжатия и растяжения трубы.

$$c = \frac{\sqrt{\frac{E_{\text{ж}}}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E_{\text{ж}} d}{E \delta}}}, \quad (3.55)$$

где $E_{\text{ж}}$ – модуль упругости жидкости; ρ – плотность жидкости; E – модуль упругости материала трубы; d – диаметр трубы; δ – толщина стенки трубы.

Примерно скорость распространения ударной волны равна скорости распространения звука в жидкости ($c=700\dots 1500$ м/с).

Ориентировочно величину ударного давления для обычных чугунных водопроводных труб можно рассчитать: $\Delta p=(1\dots 1,4)v$, если v подставить в м/с, а Δp – в МПа.

Для борьбы с гидравлическим ударом на трубопроводах устанавливают разного рода устройства, увеличивающие время закрытия задвижек и

кранов и, тем самым, смягчающие действие удара. Безопасное время закрытия составит:

$$t_{\text{ЗАКР}} > \frac{2L}{c}, \text{ т.е. } t_{\text{ЗАКР}} > T. \quad (3.56)$$

Величина ударного давления определяется по формуле:

$$\Delta p = \rho v c \frac{T}{t_{\text{ЗАКР}}}. \quad (3.57)$$

Другой способ понижения ударного давления состоит в использовании специальных устройств–гасителей гидравлических ударов (клапаны, демпферы, воздушные колпаки). Колебательный характер изменения давления при гидравлическом ударе используется при создании гидротаранов.

Контрольные вопросы: 1. Классификация трубопроводов. 2. Какие уравнения применяются при расчете напорных трубопроводов? 3. Что называется гидравлическим ударом в трубах? 4. Что называется фазой гидравлического удара? 5. Какие силы вызывают резкое повышение давления в трубопроводе при внезапной остановке движущейся жидкости? 6. Как определить скорость распространения ударной волны? 7. Как определить величину ударного давления и безопасное время закрытия задвижек?