

### 3.9. Гідравлічний удар.

1. Поняття про гідравлічний удар. Його фізична суть.
2. Урахування явища гідравлічного удару при розрахунках трубопроводів.
3. Визначення сили гідравлічного удару. Формула М. Жуковського.
4. Способи гасіння гідравлічного удару.

#### 1. Поняття про гідравлічний удар. Його фізична суть.

Гідравлічний удар (ГУ) - це коливальний процес, що виникає в пружному трубопроводі за раптової зміни швидкості рідини.

Гідравлічний удар - явище швидкоплинне. Він супроводжується серією різких підвищень і знижень тиску. Зміна тиску при ГУ обумовлена пружними деформаціями рідини і стінок трубопроводу.

Гідравлічний удар виникає найчастіше внаслідок швидкого відкриття або закриття кранів та інших запірнорегулюючих пристроїв, під час раптової зупинки насоса, наявності в рідині домішок газу у вигляді великих пухирців тощо.

Теоретичне й експериментальне дослідження гідравлічного удару вперше виконав М. Жуковський. У 1899 р. вийшла друком його наукова робота "Про гідравлічний удар".

#### 2. Урахування явища гідравлічного удару при розрахунках трубопроводів.

По металевому трубопроводу довжиною  $l$  постійного діаметра рухається рідина зі швидкістю  $v_0$ . Наприкінці труби встановлений кран з малим часом спрацьовування. Тиск перед краном  $p_0$ . Нехай у деякий момент часу  $\tau = 0$  кран миттєво закривається. Тоді частки рідини, що безпосередньо примикають до крана, зупиняться і їхня кінетична енергія перейде в потенціальну енергію пружних деформацій зупиненого об'єму рідини (стиск) і стінок ділянки труби, що контактують із зупиненою рідиною (розтягання).

На загальмовані частки рідини наштовхуються все нові і нові частки рідини і також загальмовуються. Границя між загальмованою рідиною і рідиною, що рухається, переміщається від крана з деякою швидкістю  $a$ . Ця перехідна область, що віддаляє рідину, яка рухається, і загальмовану рідину, називається ударною хвилею. Саме тут відбувається перехід кінетичної енергії в потенціальну і зміна статичного тиску від  $p_0$  до  $p_0 + \Delta p$ . Швидкість  $a$  — це швидкість ударної хвилі. Зазначимо, що швидкість ударної хвилі близька до швидкості звуку в рідині, яка рухається в трубопроводі.

#### 3. Визначення сили гідравлічного удару. Формула М. Жуковського.

Величина ударного тиску  $\Delta p$  визначається, виходячи з того, що кінетична енергія рідини протягом першої фази ГУ (стиску) переходить у потенціальну енергію пружної деформації стінок труби і стику рідини.

Формула М. Жуковського для максимальної амплітуди тиску повного прямого гідроудару

$$\Delta p = \rho v_0 a, \quad (3.9.1)$$

де  $\rho$  - густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$v_0$  — швидкість течії, м/с;

$a$  - швидкість поширення ударної хвилі в рідині, м/с.

Швидкість поширення ударної хвилі в рідині

$$a = \frac{c}{\sqrt{1 + \frac{DE}{\delta E}}}, \quad (3.9.2)$$

де  $D$  — внутрішній діаметр труби, м;

$\delta$  - товщина стінки труби, м;

$E_p, E$  — модуль пружності рідини та матеріалу труби, відповідно, Н/м<sup>2</sup>.

Проаналізуємо останній вираз

Величина  $c = \sqrt{\frac{E_p}{\rho}}$  - швидкість звуку в рідині (однорідній) густиною  $\rho$  і модулем пружності  $E_p$ . Наприклад, для прісної води  $c = 1435$  м/с; для нафти  $c = 1400$  м/с.

Знаменник дробу  $\sqrt{1 + \frac{DE_p}{\delta E}}$  дає поправку, яка вказує на те, наскільки відрізняється швидкість звуку  $C$  в цьому ж середовищі.

Якщо кран раптово закрити не повністю, а частково - то раптове зменшення швидкості течії на  $\Delta v$  також спричинить ударне підвищення тиску. Такий гідроудар називають *неповним*. Максимальне підвищення тиску при неповному гідроударі  $\Delta p_n$  визначають так:

$$\Delta p_n = \rho \Delta v_0 \cdot a \quad (3.9.3)$$

*Непрямий гідроудар* має місце, коли кран закривається довше, ніж тривалість однієї фази прямого гідроудару

$$\tau_{\text{закр}} < \tau_0 = \frac{2l}{a} \quad (3.9.4)$$

У цьому випадку  $\Delta p$  менше, ніж при повному прямому ГУ. Якщо припустити лінійність залежності  $\Delta p = f(\tau)$  і лінійність закону зменшення швидкості потоку при закритті крана, тобто,  $\frac{dv}{dt} = \text{const}$ , то

$$\frac{\Delta p_{\text{непр}}}{\Delta p} = \frac{\tau_0}{\tau_{\text{закр}}} \Rightarrow \Delta p_{\text{непр}} = \Delta p \frac{\tau_0}{\tau_{\text{закр}}} \quad (3.9.5)$$

#### 4. Способи гасіння гідравлічного удару.

1. Заміна прямого гідравлічного удару непрямим шляхом відповідного підбору часу спрацьовування запірного пристрою.

$$\Delta p_{\text{непр}} < \Delta p$$

2. Установка біля запірного пристрою, що спричинює гідравлічний удар, компенсаторів, гідравлічних акумуляторів, запобіжних клапанів.

Явище гідравлічного удару знаходить і корисне застосування в техніці. Наприклад, з використанням гідроудару працюють спеціальні водопідіймальні машини — гідротарани.