

УДК 628.14

к.т.н., доц. Павлов Є.І.,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ГІДРАВЛІЧНИЙ УДАР В НАПІРНИХ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ КОЛЕКТОРАХ

Розглянуто ситуації при яких може виникнути гідравлічний удар в напірних каналізаційних колекторах. Докладно описана схема виникнення зони розриву суцільності в потоці і удару, внаслідок «схлопування» потоків. Виведена залежність для знаходження підвищення тиску при гідравлічному ударі.

Ключові слова: гідравлічний удар, розрив суцільності потоку, “схлопування” потоків, підвищення тиску.

В каналізаційному господарстві напірні трубопроводи не знайшли широкого розповсюдження і застосовуються лише для перекачки стічних вод на очисні споруди, або для перекачки на більш високу відмітку для запобігання глибинним прокладкам каналізаційних мереж. З указаних випадків, коли влаштовуються напірні каналізаційні колектори, особливої уваги заслуговують колектори, що транспортують стічні води до очисних споруд, тому що, по-перше,- вони мають найбільшу довжину і, по-друге,- в них може виникнути гідравлічний удар.

Під гідравлічним ударом розуміють явище різкого підвищення (або пониження) тиску в трубопроводі, що виникає внаслідок раптової зміни швидкості течії [1,2]. Гідравлічний удар в водопровідних лініях виникає при швидкому закритті (або відкритті) запірної арматури. На каналізаційних колекторах запірна арматура відсутня, вона застосовується лише на насосних станціях. В зв'язку з наведеним, гідравлічний удар в напірних каналізаційних трубопроводах може виникнути за насосними станціями внаслідок раптового відключення одного з насосних агрегатів. Якщо на напірний трубопровід працює два насоси і один з них відключається, то витрати зменшаться в два рази, а значить і швидкість руху також зменшиться в два рази. Потік, що існував в напірному трубопроводі, почне відриватись від заново утвореного, втрачаючи свою суцільність. Внаслідок цього в трубопроводі виникне два об'єми рідини. Перший, внаслідок сил інерції, буде продовжувати рух з набутою швидкістю (“убігаючий” потік), а другий, внаслідок відключення насоса, - з вдвічі меншою швидкістю (“наздоганяючий” потік). Поміж цими двома потоками утворюється вакуум. Дія вакууму така, що він гальмує “убігаючий” потік і прискорює “наздоганяючий”. При досягненні вакуумом

максимального значення “убігаючий” потік зупиняється і починає рух у зворотному напрямку, ліквідуючи зону розриву потоків.

Таким чином, при розриві суцільності потоку, ми маємо дві маси рідини: перша рухається втому ж напрямку, що і раніше (m_1), а друга (m_2), - після зупинки, починає рух у зворотному напрямку, ліквідуючи розрив.

Імпульси мас відповідно дорівнюють їх кількостям руху [3], тобто

$$I = F * \Delta t$$

$$I_1 = m_1 * V_1 \quad \text{а також} \quad I_2 = m_2 * V_2$$

де F – сила, що виникає при схлопуванні потоків;

Δt – час дії цієї сили;

m_1 та m_2 - маси відповідно “наздоганяючого” та “убігаючого” потоків.

Враховуючи, що “схлопування” потоків відбувається в зустрічному напрямку, загальний імпульс буде дорівнювати

$$I = I_1 + I_2$$

$$I = m_1 V_1 + m_2 V_2$$

$$F * \Delta t = m_1 V_1 + m_2 V_2$$

На даному етапі можна припустити, що “схлопування” потоків відбувається з однаковими швидкостями

$$V = (V_1 + V_2)/2 ,$$

тобто середньою поміж швидкостями з якими рухались потоки на початку утворення розриву суцільності. Тоді

$$F * \Delta t = m_1 V + m_2 V$$

$$F * \Delta t = V (m_1 + m_2)$$

$$F * \Delta t = V * M$$

де M – повна маса стічної рідини в напірному каналізаційному трубопроводі.

З останньої формули можна знайти силу і тиск, що виникають в зоні “схлопування” потоків:

$$F = \frac{MV}{\Delta t} \quad / 1 /$$

Аналізуючи цю залежність, приходимо до висновку, що величина сили в зоні схлопування потоків лінійно залежить від таких параметрів як маса рідини в напірному трубопроводі, швидкість зіткнення потоків і часу, за який відбувається це зіткнення. Для конкретних трубопроводів маса і швидкість є такими параметрами, які можна вважати відомими, тому час зіткнення Δt є такою величиною, на яку слід звернути особливу увагу.

Фізично, картину “схлопування” потоків можна вважати такою, яка відбувається не раптово ($\Delta t \rightarrow 0$), а на протязі деякого часу. Тобто Δt хоча й мала величина, але має якийсь конкретне значення.

На основі вищевикладеного можна, з достатнім ступенем ймовірності вважати зіткнення потоків таким, яке відповідає непрямому гідравлічному удару [4]. Час, за яким відбувається непрямий гідравлічний удар, дорівнює

$$\Delta t = \frac{2L}{c_v} \quad / 2 /$$

де: L - довжина напірного трубопроводу;

c - швидкість розповсюдження ударної хвилі в трубопроводі.

Якщо непрямий гідравлічний удар (“схлопування” потоків) відбувається не в кінцівках трубопроводу, а в його середині, то $L = \frac{L}{2}$ і залежність / 2 / прийме вигляд:

$$\Delta t = \frac{L}{c_v} \quad / 3 /$$

Підставляючи отримане значення часу “схлопування” потоків в формулу / 1 / отримаємо

$$F \leq \frac{M * V * c_v}{L}$$

Маса рідини в напірному трубопроводі буде

$$M = \rho * W = \rho \omega L = \rho \frac{\pi d^2}{4} L$$

де ρ - густина стічної рідини; і

$\omega = \frac{\pi d^2}{4}$ - площа живого перерізу напірного трубопроводу;

d - діаметр трубопроводу.

Тоді

$$\Delta F \leq \frac{\rho \pi d^2 L V c_v}{4L} = \frac{\pi}{4} \rho d^2 V c_v, \quad / 4 /$$

а підвищення тиску в зоні “схлопування” буде дорівнювати

$$\Delta P = \frac{\Delta F}{\omega} \leq \frac{\pi \rho d^2 V c_v}{4\pi d^2} \leq \rho V c_v \quad / 5 /$$

Аналізуючи отримані залежності приходимо до висновку, що при “схлопуванні” потоків в напірному каналізаційному колекторі, підвищення тиску може бути суттєвим і сягати 1,2 – 1,4 МПа. Таке підвищення тиску є руйнівним для матеріалу трубопроводу і для забезпечення його нормальної роботи слід передбачати спеціальні заходи, пов’язані із гасінням гідравлічного удару.

Список літератури

1. Константинов Ю.М. Гидравлика. - Киев; “Вища школа”, 1981, - 358с.
2. Смыслов В.В. Гидравлика і аеродинаміка. - Київ; “Вища школа”, 1971, - 347 с.
3. Айземан М.А. Классическая механика. - М.; Наука, 1980, - 308с.
4. Большаков В.А., Константинов Ю.М., Попов В.Н. и др. Справочник по гидравлике. - К., “Вища школа”, 1984, - 343 с.

Аннотация

Рассмотрены ситуации при которых может возникнуть гидравлический удар в напорных канализационных коллекторах. Подробно описана схема возникновения зоны разрыва сплошности в потоке и удара, вследствие “схлопывания” потоков. Выведена зависимость для нахождения повышения давления при гидравлическом ударе.

Ключевые слова: гидравлический удар, разрыв сплошности потока, “схлопывание” потоков, повышение давления.

Abstract

Situations are considered at witch a water-hammer can be in pressure sewage collectors. The chart of origin of area of break of continuous stream and blow is in detail described, because of “slamming” of streams. Dependence is shown out for finding of increase of pressure at a water-hammer.

Key words: water-hammer, break of continuous streams, slamming of streams, increase of pressure.