

**С. П. Кулініч, к.т.н., доцент,
Д. В. Забіцький, аспірант**

Сумський державний університет

ВИНИКНЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО УДАРУ В ОБ'ЄМНИХ НАСОСАХ

З давніх часів людина навчилася використовувати рідину в своїх інтересах. Це призвело до виникнення такої машини як насос – гідравлічної машини, яка перетворює енергію приводного двигуна, у гідравлічну енергію потоку рідини. Насоси, в вузькому розумінні, тобто гідромашини які працюють лише з пружною рідиною, по принципу дії поділяються на дві основні групи: динамічні та об'ємні.

В даній роботі розглянуто деякі аспекти робочих процесів об'ємних машин, а саме виникнення гідравлічного удару в них.

Основними робочими характеристиками насосів є тиск, подача та к.к.д. Максимальний тиск, який може створити насос, визначається міцністю корпусу насоса та потужністю двигуна, тому підвищення тиску у мережі без відповідних погоджень з підприємством-виробником не допускається. Для забезпечення роботи насоса використовуються запобіжні пристрої, такі як запобіжний клапан та його різновиди. Також характерною рисою роботи насосів є нерівномірність подачі, особливо для насосів зі зворотно-поступальним рухом робочого органу. Звісно при роботі цих машин у мережі виникає гідравлічний удар, при різкому перекритті зворотного клапана. Динамічні зміни тиску також називаються пульсаціями тиску або, гідравлічним ударом. Останній термін позначає ті небажані ефекти, які, супроводжується пульсаціями тиску, подібно ударам молота, можуть впливати на трубопроводи і компоненти системи. Гідравлічний удар є причиною додаткового збільшення динамічного навантаження на систему трубопроводу, запірні клапани, кріпильні елементи, супорти, компоненти системи і ін. Терміном «гідравлічний удар» позначають як підвищення, так і зниження тиску. Явище гідравлічного удару кількісно описав в 1897-1899 р М. Є. Жуковський. Збільшення тиску при гідравлічному ударі визначається відповідно його теорії, за формулою:

$$D_p = \rho(v_0 - v_1)c \quad (1)$$

де D_p – збільшення тиску, H/m^2 ; ρ – густина рідини, $кг/м^3$; v_0, v_1 – середні швидкості в трубопроводі до і після закриття засувки (запірного клапана), $м/с$; c – швидкість поширення ударної хвилі уздовж трубопроводу.

Цю формулу можливо отримати з закону імпульсу. Жуковський довів, що швидкість поширення ударної хвилі c знаходиться в прямо пропорційній залежності від стисливості рідини, величини деформації стінок трубопроводу, визначається модулем пружності матеріалу, з якого він виконаний, а також від діаметра трубопроводу.

$$c = \frac{E}{\rho} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{E \cdot d}{E_{cm} \cdot h} k}} \quad (2)$$

де E – модуль об'ємної пружності рідини; ρ – густина рідини; E_{cm} – модуль пружності стінок матеріалів труби; d – діаметр труби; h – товщина стінки труби; k – коефіцієнт для тонкостінних труб.

Отже, гідравлічний удар не може виникнути в трубопроводі, що містить газ, так як газ легко стискається. Залежність між швидкістю ударної хвилі c , її довжиною і часом поширення (L і τ відповідно) виражається наступною формулою:

$$c = 2L / \tau. \quad (3)$$

Залежно від часу поширення ударної хвилі τ і часу перекриття засувки (або іншої запірної арматури) t , в результаті якого виник гідроудар, можна виділити 2 види ударів: повний (прямий) гідравлічний удар (коли $t < \tau$), неповний (непрямий) гідравлічний удар (коли $t > \tau$). При повному гідроударі фронт ударної хвилі, яка виникла, рухається в напрямку, протилежному первинному напрямку руху рідини в трубопроводі. Його подальший напрямок руху залежить від елементів трубопроводу, розташованих до закритої засувки. Можливо і повторне неодноразове проходження фронту хвилі в прямому і зворотному напрямках. При неповному гідроударі фронт ударної хвилі не тільки змінює напрямок свого руху на протилежний, але і частково проходить далі крізь не до кінця закрити засувку.

Розрив труби, пошкодження кріпильних пристроїв труби, пошкодження насосів, фундаментів, фітінгів та трубопроводної арматури, – при збільшенні тиску. При зниженні тиску: змінання пластикових і тонкостінних сталевих труб, викришування цементного внутрішнього облицювання труб, підсос брудної води або повітря в трубопровід через фланцеві з'єднання або сполучні муфти, сальникові ущільнення або місця витоку, розрив стовпа рідини (суцільності потоку), за яким слідує високі скачки тиску, коли окремі стовпи рідини возз'єднуються з ударом (макрокавітація). Це негативні явища до яких призводять гідроудари. Гідроудар може виникати в системах об'ємного гідроприводу, в яких використовується золотниковий гідророзподільник. У момент перекриття золотником одного з каналів, по яких нагнітається рідина, цей канал на короткий час виявляється перекритим, що тягне за собою виникнення явищ, описаних вище. Для запобігання виникнення негативного явища, роблять наступне: збільшують час спрацювання розподільника, що зменшує силу удару; використовують демпферні прилади; згідно формули М. Є. Жуковського можна зменшити швидкість руху рідини у трубопроводі, збільшивши його діаметр.

Гідравлічний удар призводить також до виникнення резонансу. Резонансні коливання відбуваються, коли частота коливань тиску в резонаторі будь-якого походження, викликана, наприклад, приводом насоса або явищем відриву потоку в запірних клапанах і колінах труби, випадково збігаються з природною частотою трубопроводу. Ці коливання можливо використовувати для вирішення іншої проблеми, а саме залипання гідравлічних розподільників.

Висновок. Об'ємні насоси отримали широке поширення в машинобудуванні, будучи складовою насосного агрегату. При несанкціонованому підвищенні тиску в мережі відбувається різке перекриття запірної арматури, що призводить до виникнення негативного явища, гідравлічного удару. Гідроудар, який виникає у трубопроводах можна згасити одним з вище вказаних способів, або використати резонансні коливання які виникають для запобігання іншого негативного явища, залипання гідравлічних розподільників.

Література

1. <https://www.ksb.com/blob/829594/7bc8b49b6ed3ca9d9b469e93716c400d/dow-hydraulic-hammer-data.pdf>
2. http://vaterpass.com.ua/stati_i_obzoryi/osobennosti_nasosov_obemnogo_tipa
3. http://airpump.ru/pumps/displacement_pump.htm
4. «Курс лекцій по гидравлике» Тольяттинский государственный университет, 2015.