

КАВІТАЦІЙНЕ РУЙНУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ І ШЛЯХИ ЙОГО УСУНЕННЯ

Ніколова Р. О., Тюменєв М.Ю.

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Багато деталей технологічного устаткування насосних станцій (НС) піддаються ерозійному та кавітаційному зношуванню. Одним з головних завдань сучасної науки стає **вирішення проблеми зносостійкості і довговічності деталей машин**. Успішне вирішення цього питання неможливе без ліквідації явищ кавітації. Цей вид зношування характерний для деталей відцентрових і вихрових насосів, трубопроводів і іншого устаткування при інтенсивному русі одно - і багатофазних рідких середовищ. Разом з необхідністю створення ряду надійних і економічних насосних агрегатів, **особливу актуальність при цьому набуває проблема забезпечення раціональних режимів роботи гідравлічної системи, при яких неможливе виникнення явища кавітації**.

Боротьба з кавітацією в насосах є важливим складовим надійності і терміну служби гідравлічного устаткування.

Дослідження режимів роботи насосів і виявлення причин, що впливають на кавітаційне руйнування устаткування проводились на НС м. Одеси. На підставі реальних досліджень роботи насосної станції було доведено, які причини призводять до виникнення кавітації в насосних установках і як їх запобігти.

Вперше кавітація була виявлена на початку ХХ століття, коли з'явилися швидкохідні морські судна, гвинти яких стали руйнуватися в дуже короткі терміни. Дослідженнями встановлено, що при високих швидкостях рідини або тіла всередині рідини суцільність потоку порушується. У потоці виникають порожнини (каверни), заповнені парами рідини і газами. Тиск цих парів визначається температурою навколишнього середовища. Ці порожнини (cavitas), від яких отримало назву явище, переносяться в зону більш високих тисків і низьких швидкостей, де пар швидко конденсується.

У місцях конденсації парогазових каверн частки рідини спрямовуються назустріч один до одного з великою швидкістю, що призводить до **місцевого підвищення тиску**. Після зіткнення, частинки рухаються в протилежному напрямку і **місцевий тиск в потоці різко знижується**. Цей процес повторюється з великою частотою і відбувається на **поверхнях деталей**. При багаторазовому впливу високих і низьких тисків метал **«втомлюється»** і починає руйнуватися. Руйнування починається з появи мікротріщин, а надалі

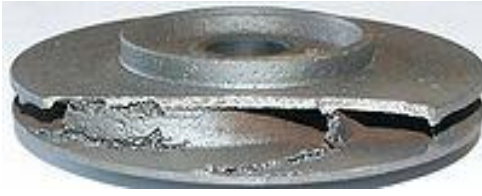


Рис. 1. Пошкодження, що наносяться ефектом кавітації

хімічних реакцій, що проходять при високому тиску і підвищеній температурі, *метал окислюється*.

Кавітаційне руйнування в більшій чи меншій мірі властиво усім відомим матеріалам. У гідравлічних машин спостерігається два етапи кавітації. *На першому етапі* з'являється так зване «холодне кипіння», шум і невеликі руйнування металу робочого колеса і лопатей. Шум, створюваний кавітацією, є особливою проблемою на підводних човнах, оскільки знижує їх скритність.

Другий етап кавітаційного процесу характеризується падінням ККД і потужністю гідромашини, сильної вібрацією. Можливість утворення каверн у потоці впливає з рівняння Бернуллі. Дійсно, при $Z = 0$ рівняння буде мати вигляд

$$\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = const. \quad (1)$$

Якщо швидкості будуть зростати, тиск повинен зменшуватися. При зниженні його до насиченої пари даній температурі, вода починає випаровуватися і всередині потоку утворюються порожнини, за які йшла мова. **Кавітацією називають процеси порушення суцільності потоку рідини, що відбуваються там, де місцевий тиск знижується і досягає критичного значення, тиску насиченої пари рідини. Кавітація виникає при зниженні тиску на вході в насос, при якому** порожнини заповнені парою, захоплюються потоком у області підвищеного тиску. Конденсація бульбашок супроводжується миттєвим місцевим підвищенням тиску, **що досягає сотень МПа.** Швидкості частинок рідини досить високі, тому при закритті каверн відбувається **місцевий гідравлічний удар, супроводжуваний шумом і вібрацією.** Накладення безліч місцевих гідравлічних ударів починають руйнувати поверхню робочого колеса. За дією кавітації поверхні стають губчастими, що сприяє швидкому їх стирання завислими речовинами. Це явище називається **ерозією.** Як правило, зона кавітації спостерігається поблизу зони всмоктування, де рідина зустрічається з лопатями насоса. Імовірність виникнення кавітації тим вище,

- чим нижче тиск на вході в насос;
- чим вище швидкість руху робочих органів щодо рідини;

воно носить наростаючий характер, і металева поверхня деталі стає губчастою.

У кавітаційному руйнуванні беруть участь і хімічні процеси. Парогазова суміш в бульбашках багата киснем. В результаті

- чим більш нерівномірно обтікання рідиною твердого тіла (високий кут атаки лопаті, наявність нерівностей поверхні і т.п.) Для безкавітаційної роботи насоса необхідно дотримання умови

$$H_{\text{сдоп}} > H_{\text{спреал}} \quad (2)$$

де: $H_{\text{сдоп}}$ - допустима геометрична висота всмоктування;

$H_{\text{спреал}}$ - реальна геометрична висота всмоктування.

Визначити допустиму геометричну висоту всмоктування можна за формулою:

$$H_{\text{сдоп}} = 10 - \Delta h - h_{\text{вс}} - h_{\text{н.п.}} \quad (3)$$

(Δh -кавітаційний запас; $h_{\text{вс}}$ = втрати напору у всмоктувальному трубопроводу, м; $t = 0^{\circ}\text{C}$ –температура рідини; $h_{\text{н.п.}}$ тиск насиченої пари рідини, м.);

Кавітація викликає руйнування гребних гвинтів суден, робочих органів насосів, гідротурбін ГЕС і т. п., а так само шум, вібрації та зниження ефективності роботи обладнання. Інтенсивність руйнування буває досить високою і може досягати **10 ... 40 мм на рік**. Найбільш схильні до кавітаційного руйнування чавун і вуглецева сталь. Більш стійкі в цьому відношенні бронза і нержавіючі сталі. З метою підвищення стійкості деталей насосів застосовують захисні покриття. **Найбільш ефективним способом боротьби з кавітацією є конструктивна зміна геометрії пристрою таким чином, щоб кавітаційні явища відбувалися на видаленні від поверхні.** Однак, це не завжди можливо.

Якщо необхідно захистити від кавітації поверхню робочих органів насосів, гідротурбін, гребних гвинтів та інших пристроїв, на допомогу приходить **азотермічне напilenня зносостійких корозійно-стійких металевих і металокерамічних покриттів. Покриття товщиною від десятків до сотень мікрон наносяться на високій швидкості, що дозволяє забезпечити високу щільність і адгезію покриттів до поверхні, а значить - надійно захистити деталь від кавітації.** Вироби з антикавітаційними металевими і металокерамічними покриттями широко застосовуються в суднобудуванні, будівництві гідротурбін гідроелектростанцій, виробництві відцентрових насосів. Дослідження кавітаційного руйнування насосів були проведені на каналізаційної НС м. Одеси КНС-25, яка була запроєктована в 1969р. (об'єкт «Невідкладні заходи щодо зниження рівня води Хаджибейського лиману») з метою захисту прориву дамби. На насосної станції встановлено 6 насосів (4 робочих і 2 резервних) типу Д5000-50, з електродвигунами СДН15-39-10 потужністю $N = 1000$ кВт. Напірний водовід, діаметром 1400 мм і довжиною 2900 м із сталевих труб, прокладений наземним способом. НС перекачує в зимовий період очищені СВ станції біологічної очистки (СБО) «Північна» і скидний стік з Хаджибейського лиману в Чорне море. Напірний

водовід має складний профіль з перегином на ПК25 + 60. Зі слів механіка робочі колеса часто міняли через кавітаційного руйнування.

Щоб встановити в якому режимі працює насос, необхідно визначити режимну точку, яка повинна знаходитися в межах робочої зони Проектом КНС-25 передбачалася робота 4-х насосів на один водовід у відносно рівномірному режимі. Хоча підключення більше трьох насосів до водоводу при малій величині геометричного напору є неефективним.

Аналіз графіка спільної роботи насосів і водоводу (рис.2) показав, що найбільш економічним є режим одночасної роботи чотирьох насосів на водовід, а робота одного і двох насосів без регулювання неприпустима, тому, що режимна точка виходить за *межі робочої зони насоса*, де починається кавітація. В час досліджень було з'ясовано, що через фінансові ускладнення керівництвом КНС-25 було прийнято рішення перевести НС *на новий режим роботи*: перекачування СВ СБО "Північна" *двома насосами*. Після чого *посилилось кавітаційне руйнування насосів*. У зв'язку з цим виникла необхідність дослідження та аналізу роботи насосів в новому режимі.

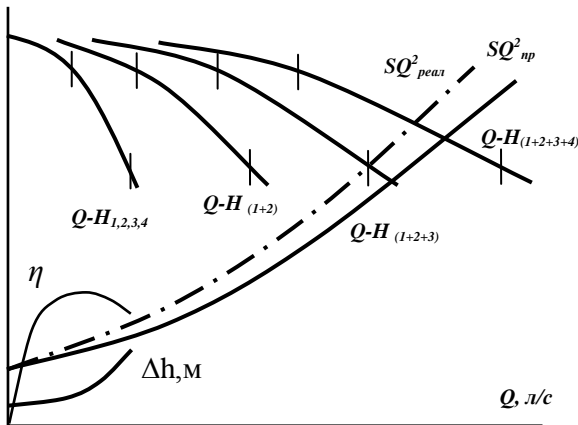


Рис.2.

Характеристика паралельної роботи чотирьох насосів і водоводу $D = 1400$ мм
 ————— проектна характеристика водоводу;
 - - - - - реальна характеристика водоводу;

Дослідження роботи насосів

показали, що система не може працювати в такому режимі з двох причин:

1. Неможливість забезпечення безкавітаційного режиму роботи насосів *при реальній висоті всмоктування, яка завищена*.

2. Перевитрата електроенергії внаслідок дроселювання засувкою;

Для безкавітаційної роботи насоса необхідно дотримання умови (2)

$$H_{сдоп} > H_{среал}$$

де: $H_{сдоп}$ - допустима геометрична висота всмоктування;

$H_{среал}$ - реальна геометрична висота всмоктування. А воно порушено.

Визначити на КНС-25 допустиму геометричну висоту всмоктування можна за формулою (3):

$$H_{\text{сдоп}} = 10 - \Delta h - h_{\text{вс}}$$

- $h_{\text{н.п.}}$,

($\Delta h = 6,5\text{ м}$ при роботі 4-х насосів; $h_{\text{вс}} = 1,21\text{ м}$; $h_{\text{н.п.}} = 0,24\text{ м.вод.ст}$)

$$H_{\text{сдоп}} = 10 - 6,5 - 1,21 - 0,24 = 2,05\text{ м}$$

Але при роботі одного насоса в кінці робочої зони Δh досягає значення 7 м, а в літній період температура води підвищується у каналу до 30°C і тиск насиченої пари рідини збільшується до значення 0,43 м, яке ще більш погіршує роботу насосів.

$$H_{\text{сдоп}} = 10 - 7 - 1,21 - 0,43 = 1,36\text{ м.}$$

Відмітка осі насоса на діючої станції дорівнює 2,2 м, а мінімальний рівень води в каналі (- 0,15 м). Тоді реальна геометрична висота всмоктування становить $H_{\text{среал}} = 2,35\text{ м}$ тобто вона перевищує допустиму 1,36 майже на 1,0 м.

Таким чином, $H_{\text{сдоп}} < H_{\text{среал}}$ що суперечить умові (2), яка забезпечує безкавітаційний режим роботи.

Це одна з основних причин розбалансованості роботи системи та виникнення явищ кавітації. Кожен насос характеризується величиною кавітаційного запасу $\Delta h_{\text{тр}}$, що позначається західними насосними фірмами NPSHR. Це той мінімальний тиск, в межах якого у рідини, що потрапляє в насос, зберігається стан власне рідини. Величину $\Delta h_{\text{тр}}$ в номіналі і криву залежності $\Delta h_{\text{тр}}$ від подачі / напору зобов'язаний надавати виробник насоса. Насос в станцію необхідно підбирати, встановлювати і обв'язувати так, щоб він мав у зоні своєї роботи той допустимий кавітаційний запас $\Delta h_{\text{доп}}$ (або NPSHA), величина якого була б вищою $\Delta h_{\text{тр}}$ (NPSHA > NPSHR). *Іншими словами $\Delta h_{\text{доп}}$ - є потенційна енергія рідини у отворі всмоктування насоса*

$$\Delta h_{\text{доп}} = H_a - H_s - h_{\text{н.п.}} - h_{\text{вс}} \quad (4)$$

H_a - атмосферний тиск (10 м водяного стовпа на рівні моря); H_s - статичний напір (позитивний чи негативний), який визначається як різниця рівнів між вільною поверхнею рідини і віссю насоса, м; $h_{\text{н.п.}}$ - тиск пари рідини, що перекачується, залежне від температури, м; $h_{\text{вс}}$ - втрати на тертя у всмоктувальній лінії, м;

Згідно: п. 7.15. паспорту насоса: довгостроково експлуатувати насос на режимах за межами робочої зони характеристики не рекомендується через збільшення навантажень на ротор і кавітаційного руйнування деталей насоса; згідно п.11.14 [2]: в місяцях зміни діаметрів всмоктувальних трубопроводів слід застосовувати ексцентричні переходи та всмоктувальний трубопровід, як правило, повинен мати безперервний підйом до насосу не менше ніж 5‰ (0,005) для запобігання утворення повітряних мішків. При обстеженні на КНС-25 було виявлено, що ці вимоги не дотримані.

Виявлені факти:

а) завищення геометричної висоти всмоктування в порівнянні з допустимою; б) відсутність ексцентричного переходу на всмоктуючій лінії; в) перевищення швидкості руху води у всмоктуючому трубопроводі у 3 рази у порівнянні з допустимою згідно п.11.9.табл.34. [2]. д) різні свідчення манометрів на напірних патрубках однотипних насосів; робота насосів за межами робочої зони та ін. Всі ці порушення свідчать про наявність кавітаційних процесів при роботі одного і двох насосів на даний водовід.

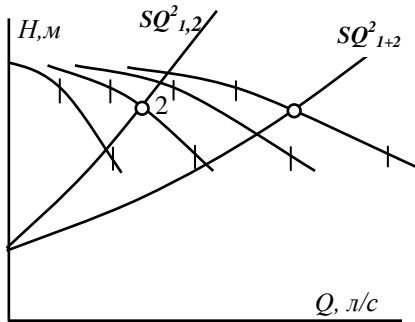


Рис. 3. Оптимальний режим роботи насосів і водоводів

Враховуючи перераховані недоліки, а також обставину, що насосна станція належить до першої категорії надійності дії згідно п.9.1.1. табл.14 [3] слід передбачати, як правило, не менше 2-х ниток напірних водоводів (рис.3.). Робота досліджуваної системи була б найбільш економічною на 2 нитки водоводу діаметром 1000 мм кожна, так як величина геометричного напору дуже мала. (Відмітка осі труби в точці перегину дорівнює 4,190

м). До дроселювання в цьому випадку вдавалися б лише короткочасно на час запуску другого насоса. І тоді два насоси забезпечували б безкавітаційну роботу в розрахунковому діапазоні подач.

1. Проведений аналіз підтверджує доцільність виведення роботи обладнання КНС-25 на проектний режим.

2.3 метою забезпечення безкавітаційного режиму роботи насосів при реконструкції слід укласти 2 нитки водоводу $d = 1000\text{мм}$.

Висновки

Запобігати можливості виникнення кавітації необхідно з першого дня роботи над проектом насосної станції. Оскільки єдиним і найнадійнішим способом відвертання кавітації - це правильне визначення висоти всмоктування насоса з урахуванням геодезичної відмітки розташування насосної установи і температури перекачуваної рідини. Ще не менш важливим аргументом є при визначенні H_s величина кавітаційного запасу - Δh , яку слід приймати у кінці робочої зони напірної характеристики насоса. За межами робочої зони починається кавітація. Тобто необхідно забезпечити економічний паралельний режим роботи насосів і водоводів.

Summary

The most reliable method of preventing cavitation is the correct determination of the height of the suction pump given geodesic marks the location of the pump unit and the temperature of the pumped liquid.

Література

1.Кавитация насосов Bachus L, Custodio A. Know and Understand Centrifugal Pumps.Elsevier, Oxford, 2003 2.ДБН В.2.5.74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. 3.ДБН В.2.5.75:2013 Водовідведення. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування . 4. Звіт з госпдоговірної теми № 3106 «Обстеження конструкцій водоводу Хаджибейський лиман - Чорне море», ОДАБА 5. Иванов А. Н. Гидродинамика развитых кавитационных течений. Л.: Судостроение, 1980. 237с