

ГІДРАВЛІЧНИЙ УДАР У ГОЛОВНИХ ВОДОВІДЛИВНИХ УСТАНОВКАХ ШАХТ
З НЕВЕЛИКОЮ ВИСОТОЮ ВОДОПІДЙОМУ

М.В. Холоменюк

Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", Дніпро, Україна

kholomeniuk.m.v@nmu.one, ORCID 0000-0002-8347-8151

WATER HAMMER IN THE MAIN DRAINAGE INSTALLATIONS OF MINES
WITH A LOW LIFT

M.V. Kholomeniuk

Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

kholomeniuk.m.v@nmu.one, ORCID 0000-0002-8347-8151

Анотація. Відповідно до вимоги Правил безпеки засобами для запобігання або гасіння гідравлічних ударів повинні облаштовуватися водовідливні установки шахт при висоті подачі води понад 400 м. У той же час тиск у нагнітальних трубопроводах при перехідних процесах може досягати небезпечного рівня й при суттєво меншій висоті водопідйому, особливо це стосується багатоводних шахт де часто використовується паралельна робота кількох насосів на спільний трубопровід. **Мета роботи** полягає в обґрунтуванні необхідності перевірки міцності нагнітальних водовідливних трубопроводів багатоводних шахт при гідравлічних ударах, які можуть виникати при раптових несанкціонованих відключеннях насосів, незалежно від висоти водопідйому.

В роботі використана графо-аналітична **методика дослідження** перебігу гідравлічного удару в головній водовідливній установці шахти, висота підйому води в якій складає 269 м.

Результатом дослідження є встановлення того, що виходячи з обладнання, яке використовується, потрібна подача установки може бути забезпечена при паралельній роботі двох насосів, але без кавітації вони зможуть працювати при висоті всмоктування меншій, ніж 2,7 м. У той же час при одночасній роботі трьох насосів на спільний трубопровід їхня допустима геометрична висота всмоктування перевищує 5,0 м, що забезпечує високу надійність роботи установки. При зазначеній схемі використання насосів швидкість потоку в напірному трубопроводі зростає до 5,36 м/с, що може спричинити неприємне зростання напору в разі раптового відключення насосів. Встановлено, що незважаючи на те, що в установці ударне зростання напору виникає лише в третій фазі гідравлічного удару, величина його становить 96 м, тобто напір в установці при раптовому відключенні насосів зростає на 27 % у порівнянні з робочим.

Практичне значення результатів роботи полягає в обґрунтуванні того, що встановлення потреби в захисті водовідливної установки від негативного впливу гідравлічного удару неможна робити виходячи лише з висоти подачі води.

Ключові слова: головний водовідлив шахти, гідравлічний удар, потреба в заходах щодо запобігання або гасіння гідравлічних ударів.

ВСТУП. Відомо, що ударне зростання напору в шахтних водовідливних установках, викликане несанкціонованим раптовим відключенням насосів, зростає при збільшенні глибини шахти і саме цим пояснюється поява в діючих Правилах безпеки у вугільних шахтах вимоги щодо облаштування головних водовідливів засобами для запобігання або гасіння гідравлічних ударів при висоті подачі води понад 400 м. У той же час досвід свідчить, що небезпечний рівень тиску в нагнітальному трубопроводі може виникати й при значно меншій глибині шахти. Показовою в цьому відношенні є головна водовідливна установка шахти «Дніпровська».

Насосна камера установки знаходиться в приствольному дворі горизонту 265 м. Зараз максимальний годинний приплив води становить $Q_{\max} = 430 \text{ м}^3/\text{год}$ і, відповідно, розрахункова подача установки дорівнює $Q_r = 516 \text{ м}^3/\text{год}$. В насосній камері встановлено шість робочих насосів типу ЦНСШ 300–360, які приводяться в дію асинхронними електродвигунами ВАО4–560S–4 потужністю 500 кВт.

Вода відкачується по трьом нагнітальним трубопроводам D_u 250 мм, що прокладені по допоміжному стволі. Загальна довжина однієї нитки трубопроводу складає $L_{ng} = 400$ м. Всмоктувальні трубопроводи змонтовані з труб D_u 300 мм і розрахунковою довжиною $L_{vs} = 20$ м.

Гідравлічний опір зовнішньої мережі установки з однієї нитки нагнітального трубопроводу $R = 0,908 \cdot 10^{-4} \text{ год}^2/\text{м}^5$. Рівняння характеристики зовнішньої мережі

$$H_m = 269 + 0,908 \cdot 10^{-4} Q^2, \text{ м.}$$

Графічний аналіз роботи установки наведено на рис. 1.

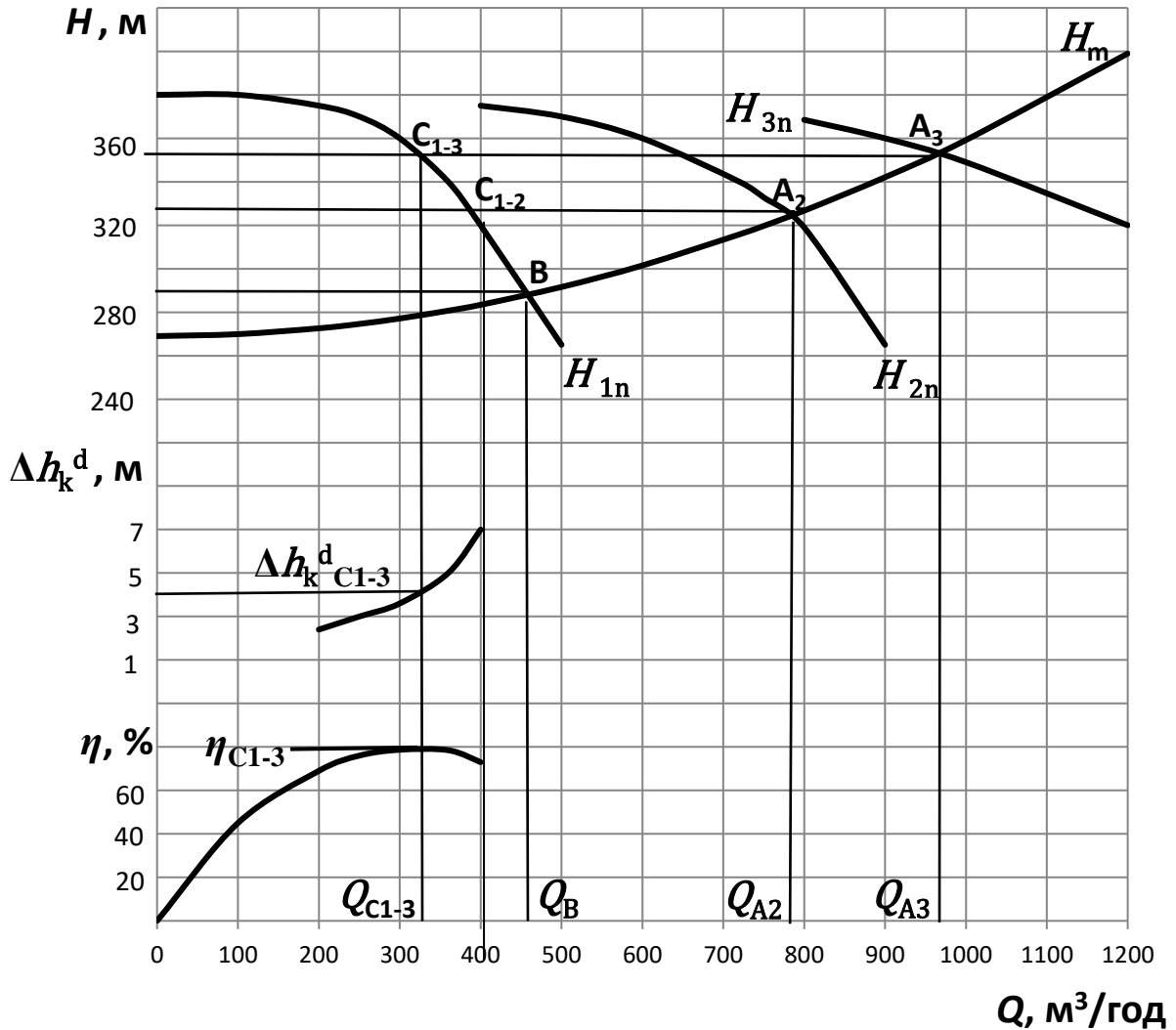


Рисунок 1 – Графічний аналіз роботи головної водовідливної установки

З нього видно, що в даних умовах неможна включати один насос на один напірний трубопровід, через те, що робоча точка установки (точка B) в цьому разі буде знаходитися далеко за правою межею робочої зони насоса. Для нормалізації роботи насосів треба зменшити їх подачу. Зробити це в даних умовах раціонально шляхом паралельного підключення кількох насосів до існуючої зовнішньої мережі.

При паралельній роботі двох насосів (робоча точка агрегату A_2) забезпечується потрібна подача установки, але допустима геометрична висота всмоктування насосів (робоча точка кожного насоса C_{1-2}) становитиме лише 2,7 м, що недостатньо для нормальної експлуатації насосів.

При паралельній роботі трьох насосів (робоча точка агрегату A_3) подача установки становитиме $Q_{A3} = 970 \text{ м}^3/\text{год}$, при цьому кожен насос буде працювати з подачею $Q_{C1-3} = 323 \text{ м}^3/\text{год}$ при допустимій геометричній висоті всмоктування насосів 5,4 м, отже в цьому разі надійно буде забезпечена робота насосів без кавітації.

У разі одночасної паралельної роботи трьох насосів швидкість потоку в нагнітальному трубопроводі становить

$$v_3 = \frac{4Q_{A3}}{3600\pi d_{ng}^2} = \frac{4 \cdot 970}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,253^2} = 5,36 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

При такій великій швидкості виникає небезпека значного ударного зростання напору в трубопроводі у випадку несанкціонованого раптового вимкнення приводних двигунів. Гідравлічні удари в напірному трубопроводі будуть виникати при буди-яких переключеннях насосів у системі. Однак величина їх при вимкненні одного або двох насосів не буде становити загрози зважаючи на те, що в цих випадках швидкість потоку в трубопроводі не спадає до нуля. У разі ж одночасної раптової зупинки усіх трьох насосів гальмування потоку буде повним, що спричинить появу в трубопроводі гідравлічного удару максимального значення. Встановимо його величину за методикою, що викладена в [1]. При розрахунку будемо визначати параметри потоку в двох перерізах нагнітального трубопроводу: у початковому перерізі 1-1, який приймаємо на вході в трубопровід безпосередньо після зворотного клапана, що встановлений на виході з насоса; у кінцевому перерізі 2-2, який приймаємо на виході з трубопроводу.

Вихідні дані для розрахунку ударного підвищення напору

Параметри робочого режиму насосного агрегату в стабільному режимі (робоча точка установки – точка A_3 на рис. 1):

подача $Q_{A_3} = 970 \text{ м}^3/\text{год}$; напір $H_{A_3} = 354 \text{ м}$; ККД $\eta_{C_{1-3}} = 80 \%$;

номінальна частота обертання вала $n_n = 1485 \text{ об/хв}$.

Напір насоса при нульовій подачі та номінальній частоті обертання вала $H_0 = 380 \text{ м}$.

Геометричні та пружні дані нагнітального трубопроводу:

внутрішній діаметр $d_{ng} = 253 \text{ мм}$; товщина стінки $\delta_{ng} = 10 \text{ мм}$; загальна довжина $L_{ng} = 400 \text{ м}$;

модуль пружності матеріалу стінки труби (модуль пружності сталі), у розрахунках задаємо $E_s = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$.

Об'ємний модуль пружності води, у розрахунках задаємо $E_v = 2 \cdot 10^9 \text{ Па}$.

Густина відкачуваної води $\rho = 1010 \text{ кг/м}^3$.

Гідравлічний опір нагнітального трубопроводу $R = 0,908 \cdot 10^{-4} \text{ год}^2/\text{м}^5$.

Момент інерції ротора приводного двигуна $I_d = 11,0 \text{ кг/м}^2$.

Попередні розрахунки

Швидкість поширювання ударної хвилі зміни напору в нагнітальному трубопроводі

$$c = \sqrt{\frac{E_v}{\rho \left(1 + \frac{E_v}{E_s} \cdot \frac{d_{ng}}{\delta_{ng}}\right)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^9}{1010 \left(1 + \frac{2 \cdot 10^9}{2 \cdot 10^{11}} \cdot \frac{253}{10}\right)}} = 1257 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Тривалість фази гідравлічного удару

$$T = \frac{2L_{ng}}{c} = \frac{2 \cdot 400}{1257} = 0,636 \text{ с.}$$

Площа живого перерізу нагнітального трубопроводу

$$F = \frac{\pi d_{ng}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,253^2}{4} = 0,05 \text{ м}^2.$$

Кутовий коефіцієнт хвильової характеристики нагнітального трубопроводу

$$k_k = \frac{c}{3600gF} = \frac{1257}{3600 \cdot 9,81 \cdot 0,05} = 0,712 \text{ год/м}^2.$$

Сумарний момент інерції насосного агрегату

$$\sum I = 1,15I_d = 1,15 \cdot 11 = 12,65 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}.$$

Момент, що створює приводний двигун на валу насоса в робочому режимі

$$M_r = \frac{\rho g Q_{C_{1-3}} H_{C_{1-3}}}{120\pi n_n \eta_{C_{1-3}}} = \frac{1010 \cdot 9,81 \cdot 323 \cdot 354}{120 \cdot 3,14 \cdot 1485 \cdot 0,8} = 2530 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де $Q_{C_{1-3}} = 323 \text{ м}^3/\text{год}$ – подача одного насоса в складі агрегату; $H_{C_{1-3}} = 354 \text{ м}$ – напір одного насоса.

Визначення ударного підвищення напору після раптового вимкнення привідних двигунів
Рівняння характеристики зовнішньої мережі водовідливної установки для від'ємних витрат

$$H_m = H_{\text{geo}} - RQ^2 = 269 - 0,908 \cdot 10^{-4} Q^2.$$

Рівняння хвильових характеристик нагнітального трубопроводу для вхідного 1 – 1 та вихідного 2 – 2 перерізів, відповідно

$$\begin{aligned} H_{k\ 1-1} - H_{0\ 1-1} &= k_k(Q_{k\ 1-1} - Q_{0\ 1-1}), \\ H_{k\ 2-2} - H_{0\ 2-2} &= -k_k(Q_{k\ 2-2} - Q_{0\ 2-2}), \end{aligned}$$

де H_k і H_0 – кінцевий і початковий напори у відповідних перерізах, м;

Q_k і Q_0 – кінцева та початкова витрати в цих перерізах, $\text{м}^3/\text{год}$.

Розрахунковий теоретично можливий мінімальний напір у перерізі 1 – 1 в кінці першої фази гідравлічного удару. У цьому разі

$$H_{0\ 1-1} = H_{A3}; \quad Q_{0\ 1-1} = Q_{A3}; \quad Q_{k\ 1-1} = 0.$$

Тоді

$$H_{k\ 1-1} = H_{k(1-1)\text{min}} = H_{A3} - k_k Q_{A3} = 354 - 0,712 \cdot 970 = -337 \text{ м}.$$

Але завжди $H_{k\ 1-1} \geq 0$, отже в даному випадку $H_{k(1-1)\text{min}} = 0$.

Витрата в перерізі 1 – 1 в кінці першої фази гідравлічного удару. У цьому разі $H_{0\ 1-1} = H_{A3}$; $Q_{0\ 1-1} = Q_{A3}$; $H_{k\ 1-1} = 0$.

$$Q_{k\ 1-1} = Q_{0\ 1-1} - \frac{H_{0\ 1-1}}{k_k} = 970 - \frac{354}{0,712} = 473 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Стала часу насосного агрегату

$$T_a = \frac{\pi n_n \sum I}{30 M_r} = \frac{3,14 \cdot 1485 \cdot 12,65}{30 \cdot 2530} = 0,778 \text{ с}.$$

Частота обертання вала насоса в кінці першої фази гідравлічного удару

$$n_1 = n_n \frac{T_a}{T_a + T} = 1485 \cdot \frac{0,778}{0,778 + 0,636} = 817 \text{ об/хв}.$$

Напір насоса при нульовій подачі та частоті обертання n_1 за формулою пропорційності

$$H_{01} = H_0 \left(\frac{n_1}{n_n} \right)^2 = 380 \left(\frac{817}{1485} \right)^2 = 115 \text{ м}.$$

У даному випадку $H_{k(1-1)\text{min}} = 0 < H_{01} = 115 \text{ м}$, отже в системі після раптового відключення привідних двигунів виникає непрямої гідравлічний удар. Графічний аналіз цього перехідного гідравлічного процесу в координатах $Q - H$ виконано на рис. 2 в наведеній нижче послідовності.

На рис. 2 лінія H_m відображає характеристику зовнішньої мережі, а лінії H_n і H_{3n} відображають напірну характеристику одного насоса і сумарну напірну характеристику насосного агрегату відповідно. Точка A_3 – це робоча точка агрегату в стабільному режимі роботи установки.

На осі абсцис відмічаємо точкою A_{3-0} подачу $Q_{k\ 1-1} = 473 \text{ м}^3/\text{год}$ і з'єднуємо точки A та A_{3-0} прямою лінією, частина якої буде відображати хвильову характеристику перерізу 1 – 1 для першої фази гідравлічного удару.

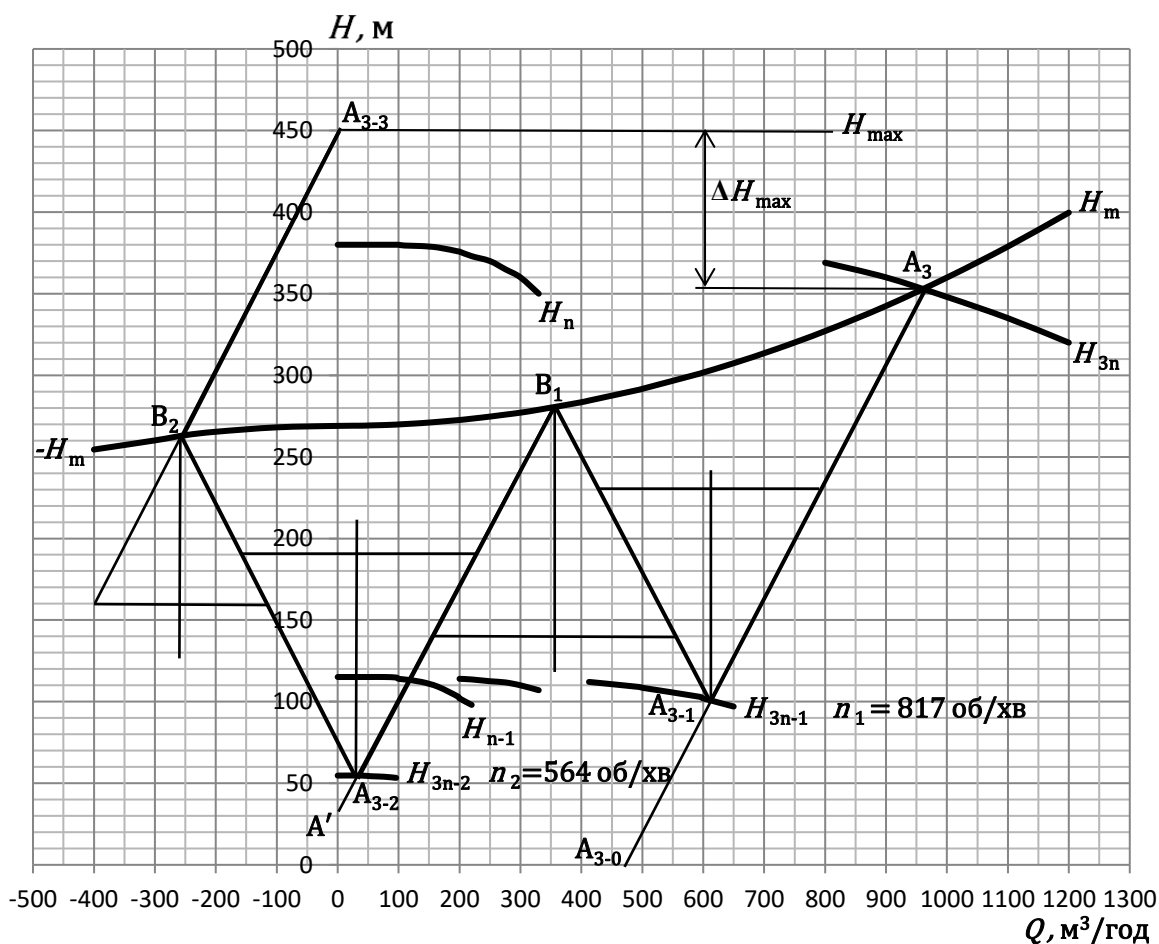


Рисунок 2 – Графічний аналіз перебігу перехідного гідравлічного процесу в головній водовідливній установці при раптовому відключенні привідних двигунів

Параметри потоку в перерізі трубопроводу 1 – 1 визначаються координатами точки перетину хвильової характеристики для перерізу з графіком граничної залежності між витратою та напором у цьому перерізі. При непряму гідравлічному ударі такою граничною залежністю є напірна характеристика насоса при зниженій частоті обертання вала – у кінці першої фази гідравлічного удару частота обертання вала становить n_1 .

Напірну характеристику насоса при частоті обертання вала n_1 отримуємо шляхом перерахунку паспортної напірної характеристики, що відповідає номінальній частоті обертання вала n_n . Перерахована напірна характеристика позначена H_{3n-1} .

Позначимо точку перетину лінії A_3A з графіком перерахованої напірної характеристики насоса літерою A_{3-1} – отримана пряма A_3A_{3-1} є хвильовою характеристикою перерізу 1 – 1 для першої фази гідравлічного удару. Координати точки A_{3-1} відповідають параметрам потоку в перерізі 1 – 1 у кінці першої фази гідравлічного удару, її абсциса $Q_{A_{3-1}}$ дорівнює витраті рідини, що надходить у трубопровід у цій фазі гідравлічного удару; її ордината $H_{A_{3-1}}$ відповідає напору, що створює насос у цей момент.

Для визначення напору в кінцевому перерізі трубопроводу під час першої фази гідравлічного удару, проводимо через точку A_{3-1} хвильову характеристику для перерізу 2 – 2 до перетину її з граничною залежністю для цього перерізу в першій фазі гідравлічного удару.

Хвильова характеристика для перерізу 2 – 2 в першій фазі гідравлічного удару є прямою, симетричною хвильовій характеристиці для перерізу 1 – 1 відносно вертикальної прямої, проведеної через точку A_{3-1} . Тому для побудови хвильової характеристики для перерізу 2 – 2 заздалегідь проводимо через точку A_{3-1} допоміжну вертикальну пряму.

Граничною залежністю для перерізу 2 – 2 в першій фазі гідравлічного удару є характеристика зовнішньої мережі. Хвильова характеристика для перерізу 2 – 2 перетинається з граничною залежністю

для цього перерізу в точці B_1 , яка в даному випадку знаходиться в першому квадранті. Це говорить про те, що в даній установці за період першої фази гідравлічного удару гальмування потоку не завершилося і в кінці цієї фази вода продовжує рухатися в напрямку від насоса до вихідного перерізу.

Для визначення параметрів потоку в другій фазі гідравлічного удару проводимо з точки B_1 хвильову характеристику для перерізу 1 – 1 для другої фази гідравлічного удару – вона є прямою, симетричною хвильовій характеристиці для перерізу 2 – 2 відносно вертикальної прямої, проведеної через точку B_1 . Тому для побудови хвильової характеристики для перерізу 1 – 1 в другій фазі гідравлічного удару заздалегідь проводимо через точку B_1 допоміжну вертикальну пряму. Слід відмітити, що характеристика, яка будується, паралельна хвильовій характеристиці для перерізу 1 – 1 в першій фазі гідравлічного удару і може бути побудованою з урахуванням цього.

Позначимо точку перетину зазначеної прямої з віссю H літерою A' – напір $H_{A'}$ дорівнює мінімально можливому напору в перерізі 1 – 1 в кінці другої фази гідравлічного удару. З побудованого графіка випливає

$$H_{A'} = H_{k(1-1)min2} = 32 \text{ м.}$$

Порівняємо напір $H_{k(1-1)min2}$ з напором, який створює насос при нульовій подачі в кінці другої фази гідравлічного удару H_{02} . Для цього визначаємо частоту обертання вала насоса в кінці другої фази гідравлічного удару:

$$n_2 = n_n \frac{T_a}{T_a + T_{1+2}},$$

де T_{1+2} – тривалість двох фаз гідравлічного удару.

Очевидно, що $T_{1+2} = 2T_1 = 2 \cdot 0,636 = 1,272 \text{ с.}$

Тоді

$$n_2 = 1485 \cdot \frac{0,778}{0,778 + 1,272} = 564 \text{ об/хв.}$$

Розраховуємо напір насоса при нульовій подачі та частоті обертання n_2

$$H_{02} = H_0 \left(\frac{n_2}{n_n} \right)^2 = 380 \left(\frac{564}{1485} \right)^2 = 55 \text{ м.}$$

У даному випадку $H_{k(1-1)min2} = 32 \text{ м} < H_{02} = 55 \text{ м}$, це свідчить про те, що граничною залежністю між витратою та напором у перерізі 1 – 1 у другій фазі гідравлічного удару є напірна характеристика насоса при зниженій частоті обертання вала – у кінці другої фази гідравлічного удару частота обертання вала становить n_2 .

Напірну характеристику насоса при частоті обертання вала n_2 отримуємо шляхом перерахунку паспортової напірної характеристики, що відповідає номінальній частоті обертання вала n_n , у звичайному порядку.

На рис. 2 зображені лише початкові ділянки перерахованих напірних характеристик одного насоса та сумарних напірних характеристик насосних агрегатів з двох та трьох насосів, де вони практично співпадають. Перерахована характеристика позначена H_{3n-2} .

Позначимо точку перетину лінії B_1A' з графіком перерахованої напірної характеристики насоса H_{3n-2} літерою A_{3-2} – отримана пряма B_1A_{3-2} є хвильовою характеристикою перерізу 1 – 1 для другої фази гідравлічного удару. Координати точки A_{3-2} відповідають параметрам потоку в перерізі 1 – 1 у кінці другої фази гідравлічного удару, її абсциса $Q_{A_{3-2}}$ дорівнює витраті рідини, що надходить у трубопровід у цій фазі гідравлічного удару; її ордината $H_{A_{3-2}}$ відповідає напору, що створює насос у цей момент.

Для визначення напору в кінцевому перерізі трубопроводу під час другої фази гідравлічного удару, проводимо через точку A_{3-2} хвильову характеристику для перерізу 2 – 2 до перетину її з граничною залежністю для цього перерізу в другій фазі гідравлічного удару.

Хвильова характеристика для перерізу 2 – 2 в другій фазі гідравлічного удару є прямою, симетричною хвильовій характеристиці для перерізу 1 – 1 в цій фазі відносно вертикальної прямої, проведеної через точку A_{3-2} . Тому для побудови хвильової характеристики для перерізу 2 – 2 заздалегідь проводимо через точку A_{3-2} допоміжну вертикальну пряму.

Граничною залежністю для перерізу 2 – 2 в другій фазі гідравлічного удару є характеристика

зовнішньої мережі для від'ємних витрат. Хвильова характеристика для перерізу 2 – 2 перетинається з граничною залежністю для цього перерізу в точці B_2 . Координати точки B_2 відповідають витраті рідини, що рухається по трубопроводу в напрямку до насоса.

Для визначення напору в перерізі 1 – 1 під час третьої фази гідравлічного удару проводимо з точки B_2 хвильову характеристику для цього перерізу в третій фазі гідравлічного удару. Ця хвильова характеристика є прямою, паралельною хвильовим характеристикам для перерізу 1 – 1 у першій та другій фазах гідравлічного удару.

Хвильову характеристику для перерізу 1 – 1 у третій фазі гідравлічного удару проводимо до перетину її з граничною залежністю для цього перерізу. У цій фазі гідравлічного удару граничною залежністю для перерізу 1 – 1 є вісь H . Хвильова характеристика перетинається з граничною залежністю в точці A_{3-3} . Ордината точки A_{3-3} дорівнює напору, що буде мати місце в перерізі 1 – 1 упродовж третьої фази гідравлічного удару. Напір $H_{A_{3-3}}$ – це максимальний напір, який виникає в установці при раптовому відключенні привідних двигунів насосів, тобто

$$H_{A_{3-3}} = H_{k(1-1)3} = H_{\max}.$$

З побудованих графіків випливає, що $H_{\max} = 450$ м.

Отже, абсолютне зростання напору в головній водовідливній установці шахти «Дніпровська» у разі несанкціонованого раптового вимкнення привідних двигунів становить

$$\Delta H_{\max} = H_{A_{3-3}} - H_{A_3} = 450 - 354 = 96 \text{ м.}$$

У відносному вимірі збільшення напору в установці дорівнює

$$\delta H_{\max} = \frac{\Delta H_{\max}}{H_{A_3}} \cdot 100 = \frac{96}{354} \cdot 100 = 27,1 \text{ \%}.$$

Шахтні напірні трубопроводи відповідно до норм проектування розраховуються на 25-відсоткове підвищення напору, тому при $\delta H_{\max} > 25\%$ треба передбачити заходи щодо захисту трубопроводу. Отже, потребу в захисті шахтних водовідливних установок від негативного впливу гідравлічного удару, який може в них виникати, неможна пов'язувати лише з глибиною шахти.

Висновки

Ударне зростання напору в головних водовідливних установках може сягати неприйнятних значень в шахтах з невеликою висотою водопідйому. Тому потребу в захисті шахтних водовідливних установок від негативного впливу гідравлічного удару, який може в них виникати, неможна пов'язувати лише з глибиною шахти.

Перелік посилань

1. Холоменюк М.В. Насосні та вентиляторні установки: навчальний посібник / М.В. Холоменюк. – Дніпропетровськ: НГУ, 2005. – 330 с.

АННОТАЦІЯ

В соответствии с требованием Правил безопасности средствами для предупреждения или гашения гидравлических ударов должны оборудоваться водоотливные установки шахт при высоте подачи воды более 400 м. В то же время давление в нагнетательных трубопроводах при переходных процессах может достигать опасного уровня и при существенно меньшей высоте водоподъема, особенно в шахтах с высокой водообильностью, где часто используется параллельная работа нескольких насосов на общий трубопровод. **Цель работы** состоит в обосновании необходимости проверки прочности нагнетательных водоотливных трубопроводов водообильных шахт при гидравлических ударах, которые могут возникать при внезапных несанкционированных отключениях насосов, независимо от высоты водоподъема.

В работе использован графо-аналитический **метод исследования** протекания гидравлического удара в главной водоотливной установке шахты, высота подъема воды в которой составляет 269 м.

Результатом исследования является то, что исходя из оборудования, которое используется, установлено, что необходимая подача установки может быть обеспечена при параллельной работе двух насосов, однако без кавитации они смогут работать при высоте всасывания меньшей, чем 2,7 м. В то же время при одновременной работе трех насосов на общий трубопровод их допустимая геометрическая высота

всасывания превышает 5,0 м, что обеспечивает высокую надежность работы установки. При указанной схеме использования насосов скорость потока в напорном трубопроводе возрастает до 5,36 м/с, что может вызвать неприемлемое увеличение напора в случае внезапного отключения насосов. Установлено, что несмотря на появление в установке ударного возрастания напора лишь в третьей фазе гидравлического удара, величина его составляет 96 м, т.е. напор в установке при внезапном отключении насосов возрастает на 27 % по сравнению с рабочим.

Практическое значение результатов работы состоит в обосновании того, что определение потребности в защите водоотливной установки от отрицательного влияния гидравлического удара нельзя делать исходя только с высоты подачи воды.

Ключевые слова: главный водоотлив шахты, гидравлический удар, необходимость в мероприятиях по предупреждению или гашению гидравлических ударов.

ABSTRACT

Annotation. In accordance with the requirement of the Safety Rules, drainage installations of mines with a water supply height of more than 400 m must be equipped with means to prevent or extinguish water hammers. At the same time, the pressure in the injection pipelines during transient processes can reach a dangerous level and at a significantly lower water lift, especially but in mines with high water content, where parallel operation of several pumps on a common pipeline is often used. **The purpose of the work** is to substantiate the need to check the strength of the discharge drainage pipelines of water-abundant mines during hydraulic shocks, which can occur during sudden unauthorized shutdowns of pumps, regardless of the height of the water lift.

In the work, a **graphical-analytical method** was used to study the flow of a hydraulic shock in the main drainage system of a mine, the height of the water rise in which is 269 m.

The result of the study is that, based on the equipment that is used, it has been established that the required flow of the installation can be provided with parallel operation of two pumps, however, without cavitation, they will be able to work at a suction height less than 2.7 m. At the same time, with the simultaneous operation of three pumps on a common pipeline, their permissible geometric suction height exceeds 5.0 m, which ensures high reliability of the installation. With the specified pumping scheme, the flow rate in the discharge pipeline increases to 5.36 m / s, which can cause an unacceptable increase in head in the event of a sudden shutdown of the pumps. It was found that despite the appearance of a shock increase in the head in the installation only in the third phase of the hydraulic shock, its value is 96 m, i.e. the head in the installation in case of a sudden shutdown of the pumps increases by 27% compared to the operating head.

Practical value of work results consists in justifying the fact that the determination of the need to protect the drainage system from the negative effect of water hammer cannot be done based only on the height of the water supply.

Keywords: main drainage of the mine, water hammer, the need for measures to prevent or extinguish water hammers.

Рекомендовано до друку д-ром техн. наук, професором Самусею В.І.