

Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Механіко-машинобудівний факультет

Кафедра гірничої механіки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра

студента Карченка Анатолія Сергійовича

академічної групи 184-17ск -1 ММФ

спеціальності 184 Гірництво

(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою «Енергомеханічні комплекси гірничих підприємств»

(офіційна назва)

на тему Проект удосконалення системи водовідливу на шахті «Дніпровська» ПрАТ „ДТЕК „Павлоградвугілля“ – комплексний проєкт

(назва за наказом ректора)

Частина 1. Проєкт удосконалення головної водовідливної установки

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Холоменюк М.В.			
розділів:				
Гірничо-геологічний	Холоменюк М.В.			
Технологічний	Холоменюк М.В.			
Економічний	Шаповал В.А.			
Охорона праці	Лутс І.О.			

Рецензент	Колосов Д.Л.			
-----------	--------------	--	--	--

Нормоконтролер	Діжевський Б.К			
----------------	----------------	--	--	--

Дніпро
2020

ЗАТВЕРДЖЕНО:

Завідувач кафедри гірничої механіки

_____ Самуся В.І.

«_____» _____ 2020 року

**ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеню бакалавра**

Студенту Карченку Анатолію Сергійовичу академічної групи 184-17ск-1ММФ
(прізвище та ініціали) (шифр)

Спеціальності 184 Гірництво

за освітньо-професійною програмою «Енергомеханічні комплекси гірничих підприємств»

на тему Проект удосконалення системи водовідливу на шахті «Дніпровська» ПрАТ „ДТЕК „Павлоградвугілля“ – комплексний проєкт
Частина 1. Проєкт удосконалення головної водовідливної установки

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 07.05.2020 р. №256.с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Гірничо-геологічний	Гірничо-геологічна характеристика підприємства	10.05.2020
Технологічний	Технологічні та технічні рішення щодо реконструкції головної водовідливної установки шахти	01.06.2020
Охорона праці	Аналіз потенційних шкідливих та небезпечних факторів	08.06.2020
Економічний	Економічна оцінка проєкту	15.06.2020

Завдання видано _____

(підпис керівника)

Холоменюк М.В.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі 04.05.2020

Дата подання до екзаменаційної комісії 15.06.2020

Прийнято до виконання _____

(підпис студента)

Карченко А.С.

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 58 с., 3 рис., 5 табл., 3 додатки, 4 джерела

ШАХТНА ВОДОВІДЛИВНА УСТАНОВКА, ВІДЦЕНТРОВИЙ НАСОС,
РОБОЧА ЗОНА, КАВІТАЦІЯ, ПАРАЛЕЛЬНА РОБОТА НАСОСІВ,
ГІДРАВЛІЧНИЙ УДАР, ЗАХИСТ УСТАНОВКИ ВІД ГІДРАВЛІЧНОГО
УДАРУ

Об'єкт розробки – головна водовідливна установка шахти «Дніпровська»
ШУ «Дніпровське» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля».

Мета роботи – підвищення експлуатаційної ефективності головної
водовідливної установки шахти «Дніпровська» за рахунок раціонального
використання встановлених насосів і розробка ефективних заходів,
спрямованих на захист установки від негативного впливу гідравлічного
удару, який може виникнути при раптовому відключенні привідних двигунів.

Результати та їх новизна – розроблені технічні рішення, що забезпечують
роботу насосів з високим ККД і без кавітації при геометричній висоті
всмоктування до 5,42 м; встановлена величина ударного підвищення напору
в нагнітальному трубопроводі установки, яке може виникнути при
несанкціонованому раптовому відключенні привідних двигунів, і розроблені
заходи, спрямовані на захист установки від негативного впливу гідравлічного
удару.

Сфера застосування розробки – водовідливне обладнання вугільних і
рудних шахт, гірничо-збагачувальних підприємств.

Практична значимість кваліфікаційної роботи – підвищення надійності та
безпеки експлуатації головної водовідливної установки шахти.

ЗМІСТ

ВСТУП	
1. Гірничо–геологічна характеристика шахти «Дніпровська».....	
1.1. Загальна характеристика шахти	
1.2. Гірничотехнічна характеристика шахти.....	
1.3. Вентиляція	
1.4. Підйоми по стволах і підземний транспорт.....	
2. Технологічні та технічні рішення щодо реконструкції головної водовідливної установки шахти.....	
2.1. Існуючий стан і постановка задачі.....	
2.2. Експлуатаційний розрахунок існуючого водовідливого комплексу...	
2.2.1. Вихідні дані до розрахунку.....	
2.2.2. Гідравлічний опір трубопроводів і рівняння характеристики зовнішньої мережі установки.....	
2.2.3. Визначення параметрів роботи водовідливної установки.....	
2.2.4. Аналіз роботи головної водовідливної установки при паралельному включенні двох насосів	
2.2.5. Аналіз роботи головної водовідливної установки при паралельному включенні трьох насосів.....	
2.3. Порівняння можливих схем включення насосів на головному водовідливні шахти «Дніпровська».....	
2.4. Визначення ударного підвищення напору в трубопроводі установки після раптового вимкнення привідних двигунів.....	
2.4.1. Вихідні дані для розрахунку ударного підвищення напору.....	
2.4.2. Попередні розрахунки.....	
2.4.3. Визначення ударного підвищення напору в розрахованій водовідливній установці після раптового вимкнення привідних двигунів.....	
2.5. Захист головної водовідливної установки шахти «Дніпровська» від впливу гідравлічного удару.....	
3. Охорона праці в шахтному водовідливні	
3.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при експлуатації водовідливної установки шахти.....	
3.2. Розробка інженерно-технічних заходів по охороні праці	
3.3. Протипожежні заходи	
ВИСНОВКИ	
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	
<u>ДОДАТОК А.</u> Відгук на кваліфікаційну роботу	

ДОДАТОК Б. Відгуки керівників розділів кваліфікаційної роботи

ДОДАТОК В. Рецензія на кваліфікаційну роботу

ВСТУП

Актуальність теми. Одним з факторів, що значно ускладнює ведення гірничих робіт у шахтах, є те, що в абсолютній більшості випадків у гірничих виробках виділяється підземна вода. Це призводить до того, що гірничі роботи стають можливими лише за умови своєчасного та надійного водовідливу як із при вибійного простору гірничих виробок, так і за межі гірничого підприємства в цілому.

Головна водовідливна установка шахти – це один з найвідповідальніших об'єктів, що забезпечує безпечні умови виконання гірничих робіт на підприємстві. Надійна та ефективна робота водовідливної установки є необхідною умовою діяльності шахти

Мета роботи – підвищення експлуатаційної ефективності головної водовідливної установки шахти «Дніпровська» за рахунок раціонального використання встановлених насосів і розробка ефективних заходів, спрямованих на захист установки від негативного впливу гідравлічного удару, який може виникнути при раптовому відключенні привідних двигунів.

1. ГІРНИЧО–ГЕОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ШАХТИ

«ДНІПРОВСЬКА»

1.1. Загальна характеристика шахти

Шахта «Дніпровська» знаходиться на території Павлоградського та Петропавлівського районів Дніпропетровської області. Безпосередньо на шахтному полі розташоване с. Сонцеве, а поблизу знаходяться села Богданівка, Мала Миколаївка, Петрівка, на відстані 31 км на захід знаходиться м. Павлоград. На південь від шахтного поля проходить автотраса Київ – Донецьк, у безпосередній близькості від шахти проходить залізниця Павлоград – Покровське.

Рельєф місцевості являє собою горбисту рівнину, що прорізана балками та ярами з похилом до долини річки Самара, яка протікає за 4 км на південь від шахтного поля. Висотні відмітки рельєфу поверхні змінюються від 108,4 до 150,4 м.

Шахта «Дніпровська» уведена в експлуатацію в 1975 році з проектною виробничою потужністю 1500 тис.т. на рік. Зараз шахта адміністративно входить до складу шахтоуправління «Дніпровське» ПрАТ „ДТЕК „Павлоградвугілля“.

Площа шахтного поля розташована в південно-західній частині Дніпровсько-Донецької западини і входить у Східно-Павлоградський кам'яновугільний район Західного Донбасу.

Шахтне поле має розміри за простяганням 10,4 км і за спадом від 2,5 до 3,0 км.

Електропостачання шахти здійснюється по дволанцюговій лінії 154 кВ від Павлоградської підстанції 154/35/6 кВ системи «Дніпроенерго».

Джерелом водопостачання являються підземні води Самарського водозабору, розташованого у 14 км від шахти.

1.2. Гірничотехнічна характеристика шахти

На балансі шати стоять 8 вугільних пластів C_{10}^B , C_8^B , C_8^H , C_7 , C_6 , C_5 , C_4^2 , C_1 , які є достатньо розвіданими. Потужність пластів змінюється від 0,8 м до 1,1 м.

Розкриття шахтного поля здійснено двома центрально-подвоєними вертикальними стволами – головним і допоміжним, пройденими в середині блока № 1 до горизонту 340 м, а також відкотними квершлагами №1 і №2 горизонту 265 м, відкотним і конвеєрним квершлагами гор. 340 м, похилими відкотним і конвеєрним квершлагами з горизонту 265 м на горизонт 340 м, відкотним і вентиляційним квершлагами з горизонту 175 м на горизонт 230 м, для забезпечення нормального режиму провітрювання пройдена вентиляційна свердловина глибиною 210 м і діаметром 2,6 м на західному крилі шахти.

Вугільні пласти розкриті: C_{10}^B – на горизонті 175 м, C_8^B и C_8^H (ухильне поле) – на горизонті 230 м, C_{10}^B – на дренажному горизонті 265 м горизонтальними квершлагами, C_8^B и C_8^H (ухильне поле) – на дренажному горизонті похилими квершлагами з горизонту 265 м.

Підготовка пласта C_{10}^B у блоці №2 здійснюється магістральними штреками, розкриття на дренажному горизонті 340 м і похилими квершлагами з горизонту 265 м.

Головний ствол має діаметр 6,0 м і площу перерізу в світлі 28,3 м². Він закріплений чавунними тубінгами з бетонним заповнюванням в наносних породах, в корінних породах бетонним кріпленням, товщина кріплення 500

мм. Устя закріплене залізобетоном, товщина кріплення 1000 мм. Армування ствола металеве жорсткого типу.

Головний ствол призначений для видачі вугілля, породи, а також вихідного струменя повітря і обладнаний двоскіповим вугільним та односкіповим породним підйомами. По головному стволу прокладене драбинне відділення на всю глибину ствола. Огородження його виконано з металевих сіток.

Допоміжний ствол пройдений до кінцевої глибини і має діаметр 6,5 м і площу перерізу в світлі 33,2 м². Він закріплений чавунними тюбінгами в наносних породах і бетонним кріпленням у корінних породах, устя закріплене залізобетоном. Допоміжний ствол призначений для спуску-підйому людей, вантажів, обладнання, матеріалів у тому числі довгомірних, а також для подачі свіжого повітря в шахту. Ствол обладнаний двома незалежними клітьовими підйомами з одноповерховими клітьями, уніфікованими на одну вагонетку ВГ-3,3.

Вентиляційна свердловина – глибина свердловини 210 м, діаметр у світлі 2,6 м, кріплення свердловини – металева труба.

На горизонті 265 м обладнаний вугільний завантажувальний пристрій. Породні завантажувальні пристрої обладнані на горизонтах 175 м, 230 м і 265 м.

Біляствольні двори розташовані на горизонтах 175 м, 230 м, 265 м і 330 м (очищення зумпфа головного ствола).

Схема підготовки шахтного поля погоризонтна з відробком лав довгими стовпами за підійманням.

На шахті прийнята система розробки довгими стовпами за підійманням. Відробок лав ведеться зворотним ходом без залишення ціликів і при проведенні виїмкових штреків суміжних стовпів «уприсічку» до виробленого простору або з підтримуванням виробок. Спосіб управління покрівлею – повне обрушення. Очисні роботи ведуться механізованими комплексами КД-80 і КД-99 з комбайнами КА-80 і КА-200. По лаві вугілля

доставляється скребковим конвеєром СП-251. Довжина виїмкових стовпів 900 – 1200 м, середня довжина лави 160 – 180 м .

Проведення розкриваючих і підготовчих гірничих виробок здійснюється з використанням комбайнів КСП – 32, КСП – 33 і ГПКС. Кріплення виробок виконується металевим кріпленням КШПУ-9,5 і КШПУ-11,0. Для магістральних виробок використовуються КШПУ11,7, КШПУ 17,7. На розширеннях – КШПУ15,0. Для міжрамної стяжки на дільничних штреках використовується дерев'яна дошка або металева сітка, для магістральних – залізобетонні плити.

Нарізні гірничі вироби (розрізні печі) проводяться комбайном КН78 або рідше за допомогою БПР і відбійних молотків. Кріплення розрізних печей здійснюється, як правило, дерев'яним кріпленням. Вузли спрягань підсилюються СВП. Проведення розрізних печей здійснюється шириною 6 м або 4 м з наступним розширенням до 6 м за допомогою БПР і відбійних молотків.

1.3. Вентиляція

На шахті прийнята центральна всмоктувальна схема провітрювання з подачею свіжого повітря по допоміжному стволу і відводу вихідного струменя по головному стволу.

Для провітрювання шахти використані дві головні вентиляторні установки ВОД-30М, що працюють по чергово. Вони встановлені коло блока головного ствола в спеціальному приміщенні. Головні вентилятори укомплектовані синхронними електродвигунами потужністю 1250 кВт і частотою обертання 600 об/хв.

Провітрювання гірничих виробок і очисних вибоїв виконується за рахунок загальношахтної депресії, схема провітрювання лав прямоточна з підсвіженням вихідного вентиляційного струменя.

Тупикові виробки провітрюються ВМП типів ВМЭ-6 або ВМ-6м. Провітрювання гараж-зарядних і складу ВМ здійснюється відокремленим струменем свіжого повітря.

Шахта «Дніпровська» віднесена до 3-ї категорії за газом. Суфлярні метановиділення не спостерігалися. За викидами та гірничими ударами пласти безпечні. Вугільний пил вибухонебезпечний. Усі пласти не схильні до раптових викидів і самозаймання.

Температура гірничих порід коло нижньої технічної межі оцінюваної площі (глибина 400 м) досягає 20,9° С, а коло нижньої межі пластів – 26,7 ° С.

1.4. Підйоми по стволах і підземний транспорт

Головний ствол обладнаний двоскіповим вугільним та односкіповим з противагою породним підйомами.

Двоскіповий вугільний підйом обладнаний підйомною машиною 2Ц 6-2,4 з редукторним приводом, з передаточним відношенням 11,5 від двох (обидва робочі) асинхронних електродвигунів потужністю 800 кВт кожний, який забезпечує максимальну швидкість підйому 6,83 м/с. Скіпи ємністю 14,1м³, вантажопід'ємністю 12т. Вугілля видається з горизонту 265 м.

Односкіповий з противагою породний підйом обладнаний машиною типу 2Ц 6-2,4 з редукторним приводом, з передаточним відношенням 11,5 від асинхронного електродвигуна потужністю 1000 кВт, який забезпечує максимальну швидкість підйому 6,83 м/с. Скіп ємністю 9,5 м³, вантажопід'ємністю 10,6т. Видача породи здійснюється з горизонтів 175м, 230, 265м, м.

Допоміжний ствол обладнаний двома одноклітьовими з противагою підйомними установками. Кожна підйомна установка має підйомну машину типу ЦР 4-3,2/06 з редукторним приводом, з передаточним відношенням 10,5

від асинхронного електродвигуна потужністю 630 кВт, який забезпечує максимальну швидкість підйому 6,6 м/с. Максимальний вантаж кліті 5300 кг.

Доставка породи при проведенні виїмкових штреків прийнята конвеєрна, далі перевантажується у вагонетки і електровозами доставляється в біляствольний двір.

Для забезпечення основного вантажопотоку використовується система повної конвеєризації від очисних вибоїв до завантажувальних пристроїв головного стволу. По виїмкових штреках використовуються конвеєри 1Л80, 2Л80; по магістральним виробкам 1Л100У, 1Л100У – 01, 2Л100У, 1ЛБ100, 1ЛУ120.

Видача породи, доставка матеріалів і обладнання здійснюється з використанням локомотивної відкатки акумуляторними електровозами типу АМ80 і вагонеток ВГ-3,3.

Для доставки матеріалів, людей, обладнання та виконання інших допоміжних операцій на виїмкових штреках встановлюються надґрунтові дороги типу ДКНЛ-1.

Доставка людей до робочих місць по горизонтальним виробкам здійснюється за допомогою локомотивної відкатки спеціалізованими складами із вагонеток ВПГ-18, а по дільничним виробкам – канатними надґрунтовими дорогами типу ДКНЛ-1 у вантажно-людському виконанні. Магістральні виробки обладнані рейковими путями з рейок Р-33 на залізобетонних шпалах і шириною колії 900 мм.

2. Технологічні та технічні рішення щодо реконструкції

головної водовідливної установки шахти

2.1. Існуючий стан і постановка задачі

Головна водовідливна установка розташована в приствольному дворі горизонту 265 м і призначена для відкачування води із всієї шахти.

Відповідно до проекту, на момент здачі шахти в експлуатацію нормальний водоприплив дорівнював $750 \text{ м}^3/\text{год}$ (максимальний – $900 \text{ м}^3/\text{год}$). Зараз природний приплив води складає $330 \text{ м}^3/\text{год}$. Вода надходить у водозбірник головного водовідливу гор. 265 м звідки відкачується на поверхню. На горизонті є два водозбірника – один ємністю 1000 м^3 , другий ємністю 1900 м^3 . Водозбірники використовуються по чергово – один у роботі, другий чиститься.

В насосній камері встановлено шість робочих насосів типу ЦНСШ 300–360. Вода відкачується по трьом водовідливним трубопроводам діаметром 273 мм, прокладеним по допоміжному стволі від гор. 265 м до поверхні. Загальна довжина кожного трубопровода 400 м.

Насосна камера з'єднана:

а) із стволом шахти – трубокабельним хідником, місце сполучення якого з вертикальним стволом має розташовуватися не нижче 7 м від рівня підлоги насосної камери;

б) з приствольним двором – хідником із герметичними дверима;

в) із водозбірником – однією або кількома спеціальними виробками, які обладнані пристосуваннями, що дозволяють регулювати надходження води до камери та герметизувати насосну камеру.

Підлога насосної камери вища за підлогу приствольного двору на 0,5 м.

Кожен насос разом із привідним двигуном змонтовані на загальній фундаментній плиті. Фундамент насоса перевищує рівень підлоги насосної камери на 0,2 м.

В насосній камері гор. 265 м є два з'єднаних між собою та з водозбірниками головного водовідливу колодязі. Забір води, що надходить, здійснюється насосами безпосередньо з колодязів.

Насоси приводяться в дію вибухонебезпечними асинхронними трифазними короткозамкненими електродвигунами ВАО4–560S–4 потужністю 500 кВт.

Дана водовідливна установка проектувалась на значно більший приплив, чим існує зараз. У зв'язку з цим на шахті створився значний резерв потужностей по відкачці води при великому робочому об'ємі водозбірників.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є встановлення фактичних параметрів роботи насосів і обґрунтування шляхів раціонального її використання.

2.2. Експлуатаційний розрахунок існуючого водовідливного комплексу

2.2.1. Вихідні дані до розрахунку

Нормальний годинний приплив води на горизонті 265 м – $Q_n = 330$ м³/год;

максимальний годинний приплив води – $Q_{\text{макс}} = 430$ м³/год;

глибина шахти – 265 м;

зовнішній діаметр нагнітального трубопроводу $d_{\text{нг.з}} = 273$ мм;

товщина стінки нагнітального трубопроводу $\delta_{\text{нг}} = 10$ мм;

внутрішній діаметр нагнітального трубопроводу $d_{\text{нг}} = 253$ мм;

зовнішній діаметр всмоктувального трубопроводу $d_{\text{вс.з}} = 325$ мм;

товщина стінки всмоктувального трубопроводу $\delta_{\text{вс}} = 10$ мм;

внутрішній діаметр всмоктувального трубопроводу $d_{\text{вс}} = 305$ мм;

загальна довжина одного нагнітального трубопроводу для насоса, найбільш віддаленого від ствола, $L_{\text{нг}} = 400$ м;

загальна довжина всмоктувального трубопроводу для насоса, найбільш віддаленого від водозабірної колодязя, $L_{\text{вс}} = 20$ м.

Мінімально необхідна розрахункова подача установки складає

$$Q_p = \frac{Q_{\text{макс.доб}}}{20} = 1,2 Q_{\text{макс}}, \text{ м}^3/\text{год},$$

де 20 – допустима за Правилами безпеки тривалість відкачування максимального добового припливу води, годин [1];

$Q_{\text{макс.доб}}$ – максимальний добовий приплив води, $\text{м}^3/\text{доба}$.

$$Q_p = 1,2 \cdot 430 = 516 \text{ м}^3/\text{год};$$

2.2.2. Гідравлічний опір трубопроводів і рівняння характеристики зовнішньої мережі установки

Зовнішня мережа головної водовідливної установки шахти складається з трьох нагнітальних трубопроводів із зовнішнім діаметром $d_{\text{нг.з}} = 273$ мм і товщиною стінки $\delta_{\text{нг}} = 10$ мм.

Два нагнітальних трубопроводи робочі, один – резервний.

Загальна довжина одного нагнітального трубопроводу для насоса, найбільш віддаленого від ствола, $L_{\text{нг}} = 400$ м.

Кожен насос має індивідуальний всмоктувальний трубопровід, який змонтований із труб із зовнішнім діаметром $d_{\text{вс.з}} = 325$ мм і товщиною стінки $\delta_{\text{вс}} = 10$ мм.

Загальна довжина всмоктувального трубопроводу для насоса, найбільш віддаленого від водозабірною колодязя, $L_{\text{вс}} = 20$ м.

Коефіцієнт гідравлічного опору нагнітального трубопроводу

Коефіцієнт гідравлічного опору нагнітального трубопроводу визначаємо для найбільш віддаленого від ствола насоса. Відповідно до гідравлічної схеми коефіцієнт опору трубопроводу обчислюється за формулою

$$\xi_{\text{нг}} = \xi_{\text{зк}} + 2\xi_{\text{з}} + 3\xi_{\text{к}90^\circ} + \xi_{\text{к}\alpha_1} + \xi_{\text{к}\alpha_2} + \xi_{\text{Т1}} + 2\xi_{\text{Т2}} + \lambda_{\text{нг}} \frac{L_{\text{нг}}}{d_{\text{нг}}},$$

де $\xi_{\text{зк}}$ та $\xi_{\text{з}}$ – коефіцієнти опору зворотного клапана та повністю відкритої засувки;

$\xi_{\text{к}90^\circ}$, $\xi_{\text{к}\alpha_1}$ і $\xi_{\text{к}\alpha_2}$ – коефіцієнти опору колін при повороті потоку відповідно на 90° , кут α_1 та кут α_2 ;

$\xi_{\text{Т1}}$ і $\xi_{\text{Т2}}$ – коефіцієнти опору трійників при вході потоку з відгалуження та для

прохідного потоку;

$\lambda_{\text{нг}}$ – коефіцієнт гідравлічного тертя в нагнітальному трубопроводі;

$L_{\text{нг}}$ – загальна довжина нагнітального трубопроводу.

В розрахунку прийняті такі значення коефіцієнтів:

при $d_{\text{нг}} = 253$ мм $\xi_{\text{зк}} = 2,0$;

$\xi_{\text{з}} = 0,05$; $\xi_{\text{Т1}} = 0,6$; $\xi_{\text{Т2}} = 0,01$.

У шахтних трубопроводах найчастіше використовують зварні коліна, що складаються з п'яти – шести ділянок. У цьому разі

$$\xi_{\kappa\alpha} = 0,008\alpha^{0,75} \left(\frac{d}{R_{\Pi}}\right)^{0,6},$$

де α – кут повороту потоку, град; d – внутрішній діаметр труби, мм; R_{Π} – радіус повороту, мм.

$$\text{При } d/R_{\Pi} = 1,0 \quad \xi_{90^{\circ}} = 0,234.$$

Кут повороту трубопроводу

при вході в трубнокабельний хідник $\alpha_1 = 30^{\circ}$, тому $\xi_{\kappa\alpha_1} = 0,1$;

при вході в ствол $\alpha_2 = 60^{\circ}$, тому $\xi_{\kappa\alpha_2} = 0,172$.

У трубопроводах шахтної водовідливної установки, як правило, турбулентний режим руху рідини з високим ступенем турбулізації. Тому для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя λ використовуємо формулу Шевелева Ф.А. Згідно з нею для не нових сталевих і чавунних водопровідних труб при швидкості води $v \geq 1,2$ м/с, яка має місце в нагнітальному трубопроводі,

$$\lambda_{\text{нг}} = \frac{0,021}{d_{\text{нг}}^{0,3}} = \frac{0,021}{0,253^{0,3}} = 0,032,$$

де $d_{\text{нг}}$ – внутрішній діаметр нагнітального трубопроводу, м.

Загальна довжина нитки нагнітального трубопроводу $L_{\text{нг}} = 400$ м.

Тоді коефіцієнт гідравлічного опору нагнітального трубопроводу

$$\begin{aligned} \xi_{\text{нг}} &= 2,0 + 2 \cdot 0,05 + 3 \cdot 0,234 + 0,1 + 0,172 + 0,6 + 2 \cdot 0,01 + 0,032 \frac{400}{0,253} \\ &= 54,29; \end{aligned}$$

Коефіцієнт гідравлічного опору всмоктувального трубопроводу

Коефіцієнт гідравлічного опору всмоктувального трубопроводу

визначаємо

для найбільш віддаленого від приймального колодязя насоса. Відповідно до заданої гідравлічної схеми коефіцієнт опору

$$\xi_{\text{BC}} = \xi_{\text{ПК}} + 3\xi_{\text{K90}^\circ} + \lambda_{\text{BC}} \frac{L_{\text{BC}}}{d_{\text{BC}}},$$

де $\xi_{\text{ПК}}$ – коефіцієнт опору приймального клапана із захисною сіткою;
 λ_{BC} – коефіцієнт гідравлічного тертя в усмоктувальному трубопроводі..

При $d_{\text{BC}} = 305$ мм $\xi_{\text{ПК}} = 3,7$.

У всмоктувальному трубопроводі швидкість води найчастіше $v_{\text{BC,p}} < 1,2$ м/с, тому формула Шевелева для визначення коефіцієнта гідравлічного тертя набуває в цьому разі такого вигляду:

$$\lambda_{\text{BC}} = 0,0179 \left(\frac{v_{\text{BC,p}} + 0,867}{v_{\text{BC,p}} d_{\text{BC}}} \right)^{0,3},$$

де $v_{\text{BC,p}}$ – розрахункова швидкість води в усмоктувальному трубопроводі.

Приймаємо $v_{\text{BC,p}} = 1,0$ м/с. Тоді

$$\lambda_{\text{BC}} = 0,0179 \left(\frac{1,0 + 0,867}{1,0 \cdot 0,305} \right)^{0,3} = 0,031.$$

Загальна довжина всмоктувального трубопроводу $L_{\text{BC}} = 20$ м. Отже

$$\xi_{\text{BC}} = 3,7 + 3 \cdot 0,234 + 0,031 \frac{20}{0,305} = 6,43.$$

Коефіцієнт гідравлічного опору зовнішньої мережі

Коефіцієнт гідравлічного опору зовнішньої мережі установки визначається за формулою

$$\xi = \xi_{\text{BC}} \left(\frac{d_{\text{НГ}}}{d_{\text{BC}}} \right)^4 + \xi_{\text{НГ}} + 1,$$

де $\xi_{\text{BC}} \left(\frac{d_{\text{НГ}}}{d_{\text{BC}}} \right)^4$ – коефіцієнт опору всмоктувального трубопроводу, що зведений до діаметра нагнітального трубопроводу.

$$\xi = 6,43 \left(\frac{0,253}{0,305} \right)^4 + 54,29 + 1 = 58,33.$$

Гідравлічний опір зовнішньої мережі

Цей гідравлічний опір розраховуємо за формулою

$$R = \frac{8\xi}{3600^2 \pi^2 g d_{\text{НГ}}^4}, \text{ год}^2/\text{м}^5.$$

де $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

$$R = \frac{8 \cdot 58,33}{3600^2 \cdot 3,14^2 \cdot 9,81 \cdot 0,253^4} = 0,908 \cdot 10^{-4} \text{ год}^2 / \text{м}^5.$$

Рівняння характеристики зовнішньої мережі

Характеристика зовнішньої мережі описується рівнянням

$$H_M = H_T + RQ^2,$$

де H_M – напір, який потрібно створити в мережі; H_T – геометрична висота водопідйому; Q – витрата рідини в трубопроводі.

Геометрична висота водопідйому – це перевищення зливного отвору нагнітального трубопроводу над найнижчим рівнем води в забірному колодязі. З урахуванням перевищення підлоги насосної камери над рівнем підлоги приствольного двору, що регламентується [1], осі насоса над підлогою насосної камери та над відкачуваною водою, нагнітального трубопроводу над устям ствола отримуємо

$$H_T = H_{ш} + 3 \dots 5 = 265 + 4 = 269 \text{ м.}$$

Отже, рівняння характеристики зовнішньої мережі водовідливної установки таке:

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

Складаємо таблицю для побудови графіка характеристики зовнішньої мережі установки:

Таблиця 2.1.

$Q,$ $\text{м}^3/\text{год}$	0	100	200	250	300	360	400	500	600	700
$H_M,$ м	269	269, 9	272, 6	274, 7	277, 1	280, 7	283, 5	291, 7	301, 7	313, 5

За даними табл. 2.1 будемо графік характеристики зовнішньої мережі установки на рис. 2.1.

2.2.3. Визначення параметрів роботи водовідливної установки

Для визначення параметрів режиму роботи водовідливної установки треба побудувати в одній системі координат $Q - H$ і в однаковому масштабі

графіки характеристик зовнішньої мережі установки $H_M = \varphi(Q)$ та графік напірної характеристики насоса $H_H = f_1(Q)$. Точка перетину цих графіків є робочою точкою установки, за координатами якої визначаємо подачу та напір, із якими буде працювати насосна установка. Після встановлення подачі насоса визначаємо його ККД і допустимий кавітаційний запас, які відповідають знайденій подачі, користуючись при цьому експлуатаційними характеристиками насоса.

Для побудови експлуатаційних характеристик насосів ЦНСШ 300 – 360 складаємо таблицю.

Таблиця для побудови експлуатаційних характеристик насоса
ЦНСШ 300 – 360

Таблиця 2.2

Q , м ³ /год	0	100	200	250	300	360
H_H , м	380	380	375	370	360	340
η , %	0	47	68	74	79	80
$\Delta h_K^{\text{доп}}$, м			2,4	3,0	3,7	5,0

У таблиці прийняті такі позначення:

Q – подача насоса, м³/год; H_H – напір насоса, м; η – ККД насоса, %;
 $\Delta h_K^{\text{доп}}$ – допустимий кавітаційний запас насоса, м.

Графічний аналіз роботи водовідливної установки представлено на рис. 2.1, де лінія H_M – це графік характеристики зовнішньої мережі установки; лінія H_H – напірна характеристика насоса.

Робоча точка установки – точка B . У даному випадку вона знаходиться далеко за правою межею робочої зони насоса і через це в цьому режимі роботи в насосі буде спостерігатися інтенсивна кавітація при додатній висоті всмоктування, що свідчить про неможливість експлуатації насоса в цьому режимі.

Отже, в головній водовідливній установці шахти «Дніпровська» неможна включати один насос на один напірний трубопровід – для нормалізації роботи насосів треба зменшити їх подачу.

В даній водовідливній установці завдяки наявності значної кількості насосів нормалізувати їхню роботу можна шляхом паралельного підключення кількох насосів до існуючої зовнішньої мережі.

Дослідимо роботу водовідливної установки при різній кількості паралельно працюючих насосів і встановимо раціональну її схему.

2.2.4. Аналіз роботи головної водовідливної установки при паралельному включенні двох насосів

Для визначення параметрів режиму роботи водовідливної установки при паралельному включенні двох насосів треба побудувати в одній системі координат $Q - H$ і в однаковому масштабі графіки характеристик зовнішньої мережі установки $H_m = \varphi(Q)$ та графік сумарної напірної характеристики насосів $H_{2н} = f_1(Q)$. Точка перетину цих графіків є робочою точкою установки, за координатами якої визначаємо подачу та напір, із якими буде працювати насосний агрегат.

Сумарну напірну характеристику насосного агрегату з двох паралельно включених насосів отримуємо при горизонтальному складанні напірних

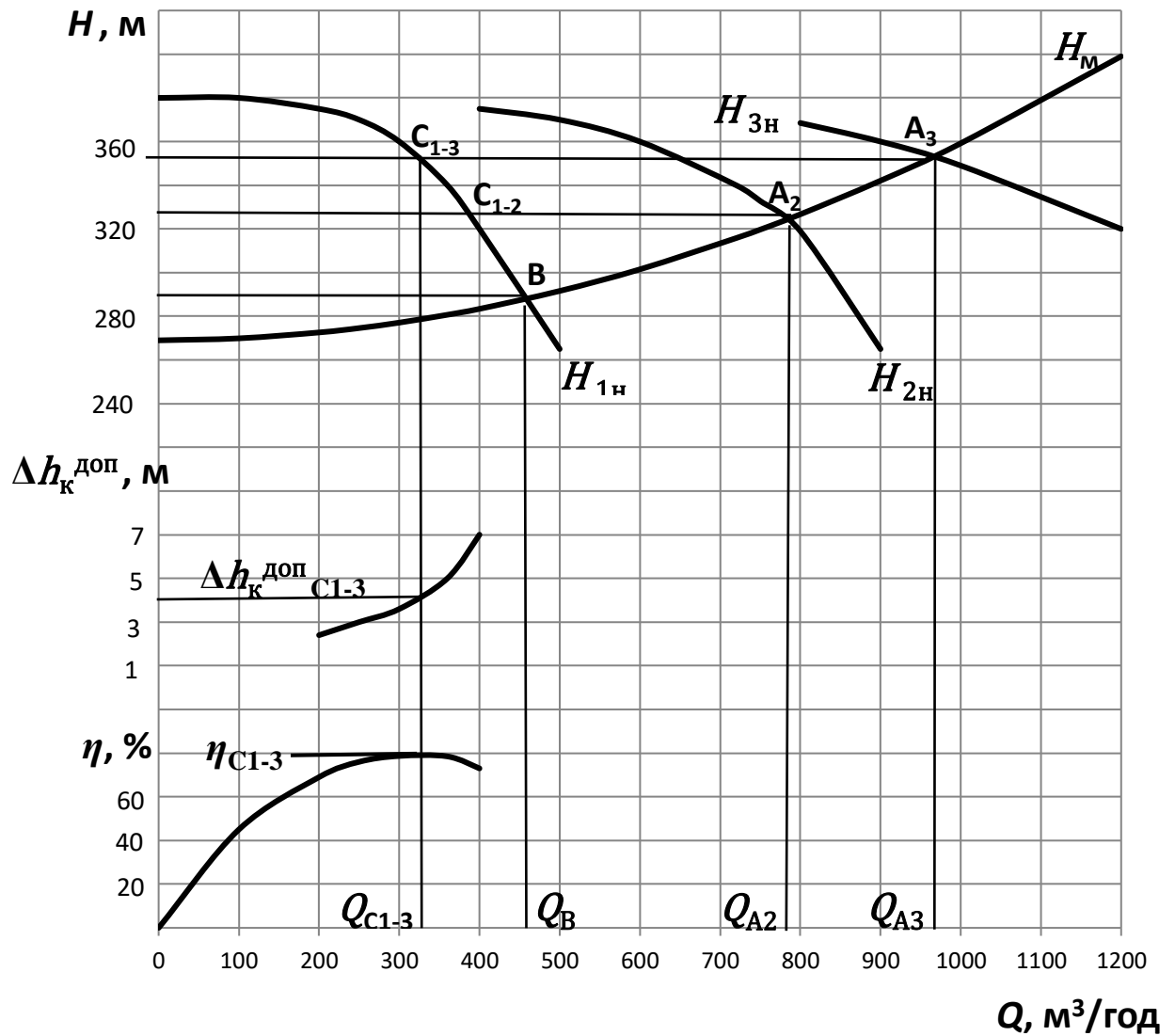


Рис. 2.1. Графічний аналіз роботи головної водовідливної установки

характеристик двох окремих насосів, тобто абсциси точок на сумарній характеристиці дорівнюють сумі подач окремих насосів при однакових напорах.

Після визначення параметрів роботи агрегату знаходимо робочу точку окремого насоса – це точка перетину лінії сталого напору, що проходить через робочу точку агрегату, з напірною характеристикою одного насоса. За координатами робочої точки насоса встановлюємо подачу та напір, із якими буде працювати окремий насос у складі агрегату. За знайденою подачею насоса визначаємо його ККД та допустимий кавітаційний

запас, користуючись при цьому експлуатаційними характеристиками насоса $\eta = f_2(Q)$ та $\Delta h_k^{don} = f_3(Q)$.

Графічний аналіз роботи головної водовідливної установки шахти «Дніпровська» при паралельній роботі двох насосів наведений на рис. 2.1. На цьому рисунку сумарна напірна характеристика двох насосів позначена $H_{2н}$.

Робоча точка агрегату, що складається з двох насосів ЦНСШ 300–360 – точка A_2 . Параметри роботи агрегату:

подача $Q_{A_2} = 770 \text{ м}^3/\text{год}$;

напір $H_{A_2} = 323 \text{ м}$.

Робоча точка кожного насоса – точка C_{1-2} . Параметри роботи кожного насоса:

подача $Q_{C_{1-2}} = 385 \text{ м}^3/\text{год}$;

напір $H_{C_{1-2}} = 323 \text{ м}$;

ККД $\eta_{C_{1-2}} = 75 \%$;

допустимий кавітаційний запас $\Delta h_{к C_{1-2}}^{доп} = 6,5 \text{ м}$.

Визначення відповідності працюючих насосів заданим умовам

Перевірка насосів на достатність подачі:

$Q_{A_2} = 770 \text{ м}^3/\text{год} > Q_p$ – умова виконується.

Перевірка насосної установки на стабільність роботи:

Умова стабільної роботи

$$H_0 \geq 1,1H_T,$$

де H_0 – напір насоса ЦНСШ 300–360 при нульовій подачі. По напірній характеристиці насоса знаходимо $H_0 = 380 \text{ м}$.

$380 \text{ м} > 1,1 \cdot 269 = 296 \text{ м}$ – умова виконується.

Визначення відповідності режиму роботи насоса його робочій зоні

Вибраний насос повинен використовуватися в межах своєї робочої зони та працювати з достатньо високим ККД. Умовою виконання цієї вимоги є

$$\eta_{C_{1-2}} \geq 0,9\eta_{max},$$

де $\eta_{max} = 80\%$ – максимальний ККД насоса ЦНСШ 300–360.
 $75\% > 0,9 \cdot 80 = 72\%$ – умова виконується.

Визначимо допустиму геометричну висоту всмоктування в режимі C_{1-2} :

$$H_{BC_{1-2}}^{доп} = \frac{p_{атм} - p_{нп}}{\rho g} - \Delta h_{К C_{1-2}}^{доп} - h_{BC_{1-2}}, \text{ м},$$

де $p_{атм}$ – атмосферний тиск у насосній камері; задаємо $p_{атм} = 10^5$ Па;

$p_{нп}$ – тиск насиченої пари перекачуваної води;

$\rho = 1010$ кг/м³ – густина шахтної води;

$h_{BC_{1-2}}$ – фактичні втрати напору в усмоктувальній лінії.

Приймаємо температуру води, що відкачується 15°C , тоді $p_{нп} = 1704$ Па.

Швидкість потоку в усмоктувальній лінії в режимі C_{1-2}

$$v_{BC_{1-2}} = \frac{4Q_{C_{1-2}}}{3600\pi d_{BC}^2} = \frac{4 \cdot 385}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,305^2} = 1,46 \text{ м/с}.$$

Фактичні втрати напору в усмоктувальній лінії

$$h_{BC_{1-2}} = \xi_{BC} \frac{v_{BC_{1-2}}^2}{2g} = 6,43 \frac{1,46^2}{2 \cdot 9,81} = 0,7 \text{ м};$$

$$H_{BC_{1-2}}^{доп} = \frac{100000 - 1704}{1010 \cdot 9,81} - 6,5 - 0,7 = 2,72 \text{ м}.$$

Отже, при паралельній роботі двох насосів на один нагнітальний трубопровід подача агрегату достатня, насоси працюють стабільно та в межах своєї робочої зони. Однак кавітація в насосах буде відсутня лише при геометричній висоті всмоктування $H_{BC} \leq 2,72$ м. Така висота всмоктування недостатня для нормальної роботи насосів.

Збільшити допустиму геометричну висоту всмоктування насосів у агрегаті з двох машин можна шляхом збільшення діаметра усмоктувального трубопроводу насосів. Беручи до уваги, що максимальний діаметр труб, які використовують у шахтах з огляду на їх габарити, становить 426 мм,

визначимо допустиму геометричну висоту всмоктування насосів в даній установці.

Приймаємо товщину стінки труби $\delta_{\text{BC}} = 9$ мм, тоді її внутрішній діаметр $d_{\text{BC}} = 408$ мм.

У цьому разі коефіцієнт гідравлічного опору всмоктувального трубопроводу становить:

$$\xi_{\text{BC}} = \xi_{\text{ПК}} + 3\xi_{\text{K}90^\circ} + \lambda_{\text{BC}} \frac{L_{\text{BC}}}{d_{\text{BC}}},$$

де коефіцієнт опору приймального клапана із захисною сіткою при $d_{\text{BC}} = 408$ мм $\xi_{\text{ПК}} = 3,1$;
коефіцієнт гідравлічного тертя в усмоктувальному трубопроводі..

$$\lambda_{\text{BC}} = 0,0179 \left(\frac{1,0 + 0,867}{1,0 \cdot 0,408} \right)^{0,3} = 0,028.$$

Отже

$$\xi_{\text{BC}} = 3,1 + 3 \cdot 0,234 + 0,028 \frac{20}{0,408} = 5,17.$$

Швидкість потоку в новій усмоктувальній лінії в режимі C_{1-2}

$$v_{\text{BC}C_{1-2}} = \frac{4Q_{C_{1-2}}}{3600\pi d_{\text{BC}}^2} = \frac{4 \cdot 385}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,408^2} = 0,82 \text{ м/с.}$$

Фактичні втрати напору в новій усмоктувальній лінії

$$h_{\text{BC}C_{1-2}} = \xi_{\text{BC}} \frac{v_{\text{BC}C_{1-2}}^2}{2g} = 5,17 \frac{0,82^2}{2 \cdot 9,81} = 0,18 \text{ м;}$$

Допустима геометрична висота всмоктування

$$H_{\text{BC}C_{1-2}}^{\text{доп}} = \frac{100000 - 1704}{1010 \cdot 9,81} - 6,5 - 0,18 = 3,24 \text{ м.}$$

Отже, при використанні для всмоктувального трубопроводу труб із зовнішнім діаметром 426 мм робота насосів не буде супроводжуватися кавітацією при геометричній висоті всмоктування $H_{\text{BC}} \leq 3,24$ м – ця геометрична висота всмоктування є мінімально прийнятною для забезпечення нормальної експлуатації насосів головного водовідливу шахти.

Перевірка привідного двигуна насоса

Потужність, що споживає привідний двигун в режимі C_{1-2} :

$$N_{C_{1-2}} = k_3 \frac{\rho g Q_{C_{1-2}} H_{C_{1-2}}}{3600 \eta_{C_{1-2}}} 10^{-3}, \text{ кВт}$$

де $k_3 = 1,05$ – коефіцієнт запасу.

$$N_{C_{1-2}} = 1,05 \frac{1010 \cdot 9,81 \cdot 385 \cdot 323}{3600 \cdot 0,75} 10^{-3} = 479 \text{ кВт.}$$

В установці в якості привідних двигунів використовуються асинхронні трифазні короткозамкнені електродвигунами ВАО4–560S–4 потужністю 500 кВт.

Технічна характеристика привідного двигуна ВАО4–560S –4

Номінальна потужність, кВт	500
Частота обертання, об/хв.	1485
ККД, %	95

Техніко-економічні показники роботи головної водовідливної установки

Визначаємо техніко-економічні показники роботи головної водовідливної установки, вважаючи що в ній одночасно працюють два насоса.

Фактична тривалість відкачування води впродовж доби:

– при нормальному припливі:

$$T_{\text{норм}} = \frac{Q_{\text{н}} \cdot 24}{Q_{\text{А2}}} = \frac{330 \cdot 24}{770} = 10,3 \text{ год};$$

– при максимальному припливі:

$$T_{\text{макс}} = \frac{Q_{\text{макс}} \cdot 24}{Q_{\text{А2}}} = \frac{430 \cdot 24}{770} = 13,4 \text{ год};$$

Середньорічна витрата електроенергії на водовідлив

$$E_{2\text{н}} = 1,05 \frac{2\rho g Q_{C_{1-2}} H_{C_{1-2}} \cdot 10^{-6}}{3,6\eta_{C_{1-2}} \eta_{\text{д}} \eta_{\text{ем}}} [(365 - n_{\text{м}})T_{\text{норм}} + n_{\text{м}}T_{\text{макс}}], \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}},$$

де 1,05 – коефіцієнт, що враховує витрати електроенергії на власні потреби установки; η_d – ККД привідного двигуна; $\eta_{ем}$ – ККД постачальної електричної мережі, приймаємо $\eta_{ем} = 0,95 \dots 0,96$; n_m – середньорічна тривалість

тривалість максимального припливу води, діб, приймаємо $n_m = 60$ діб.

$$E_{2H} = 1,05 \cdot \frac{2 \cdot 1010 \cdot 9,81 \cdot 385 \cdot 323 \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot 0,75 \cdot 0,95 \cdot 0,95} \cdot [(365 - 60)10,3 + 60 \cdot 13,4] =$$

$$= 4189517 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}} ;$$

Питома витрата електроенергії на відкачування 1 м³ води

$$e_{2H} = \frac{E_{2H}}{Q_{A2}[(365 - n_m)T_{норм} + n_m T_{макс}]} = \frac{4189517}{770 \cdot [(365 - 60)10,3 + 60 \cdot 13,4]} =$$

$$= 1,379 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^3}.$$

Питома витрата електроенергії на 1 тонно-кілометр водопідйому

$$e'_{2H} = \frac{e_{2H} \cdot 10^6}{\rho H_{\Gamma}} = \frac{1,379 \cdot 10^6}{1010 \cdot 269} = 5,076 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{т} \cdot \text{км}}.$$

Розрахунки показують, що при паралельній роботі двох насосів головна водовідливна установка шахти «Дніпровська» характеризується достатньо високими питомими техніко-економічними показниками.

2.2.5. Аналіз роботи головної водовідливної установки при паралельному включенні трьох насосів

В умовах головного водовідливу шахти «Дніпровська» з метою нормалізації роботи насосів можна застосувати паралельне включення трьох насосів. Проаналізуємо роботу установки за такою схемою.

Графічний аналіз роботи головної водовідливної установки шахти «Дніпровська» при паралельній роботі трьох насосів наведений на рис. 2.1. На цьому рисунку сумарна напірна характеристика трьох насосів позначена H_{3H} .

Сумарну напірну характеристику насосного агрегату з трьох паралельно включених насосів отримуємо при горизонтальному складанні напірних характеристик трьох окремих насосів.

Робоча точка агрегату, що складається з трьох насосів ЦНСШ 300–360 – точка А₃. Параметри роботи агрегату:

$$\text{подача } Q_{A_3} = 970 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$\text{напір } H_{A_3} = 354 \text{ м.}$$

Робоча точка кожного насоса – точка С_{1–3}. Параметри роботи кожного насоса:

$$\text{подача } Q_{C_{1-3}} = 323 \text{ м}^3/\text{год};$$

$$\text{напір } H_{C_{1-3}} = 354 \text{ м};$$

$$\text{ККД } \eta_{C_{1-3}} = 80 \%;$$

$$\text{допустимий кавітаційний запас } \Delta h_{\text{к } C_{1-2}}^{\text{доп}} = 4,0 \text{ м.}$$

Робота насосів, як і в попередній схемі, стабільна і відбуватиметься в межах їх робочої зони.

Визначимо допустиму геометричну висоту всмоктування в режимі С_{1–3}:

$$H_{\text{вс } C_{1-3}}^{\text{доп}} = \frac{p_{\text{атм}} - p_{\text{нп}}}{\rho g} - \Delta h_{\text{к } C_{1-3}}^{\text{доп}} - h_{\text{вс } C_{1-3}}, \text{ м,}$$

Швидкість потоку в усмоктувальній лінії в режимі С_{1–3}

$$v_{\text{вс } C_{1-3}} = \frac{4Q_{C_{1-3}}}{3600\pi d_{\text{вс}}^2} = \frac{4 \cdot 323}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,305^2} = 1,23 \text{ м/с.}$$

Фактичні втрати напору в усмоктувальній лінії

$$h_{\text{вс } C_{1-3}} = \xi_{\text{вс}} \frac{v_{\text{вс } C_{1-2}}^2}{2g} = 6,43 \frac{1,23^2}{2 \cdot 9,81} = 0,5 \text{ м};$$

Допустима геометрична висота всмоктування

$$H_{\text{вс } C_{1-3}}^{\text{доп}} = \frac{100000 - 1704}{1010 \cdot 9,81} - 4,0 - 0,5 = 5,42 \text{ м.}$$

Отже, при паралельній роботі трьох насосів на один нагнітальний трубопровід подача агрегату достатня, насоси працюють стабільно та в межах своєї робочої зони. Без кавітації насоси будуть працювати при геометричній висоті всмоктування $H_{вс} \leq 5,42$ м. Така висота всмоктування забезпечує нормальну роботу насосів.

Перевірка привідного двигуна насоса

Потужність, що споживає привідний двигун в режимі C_{1-3} :

$$N_{C_{1-3}} = k_3 \frac{\rho g Q_{C_{1-3}} H_{C_{1-3}}}{3600 \eta_{C_{1-3}}} 10^{-3} = 1,05 \frac{1010 \cdot 9,81 \cdot 323 \cdot 354}{3600 \cdot 0,8} 10^{-3} =$$

$$= 413 \text{ кВт.}$$

Отже, потужність привідних двигунів ВАО4-560S-4, які використовуються в установці зараз, достатня.

Техніко-економічні показники роботи головної водовідливної установки

Визначаємо техніко-економічні показники роботи головної водовідливної установки, вважаючи що в ній одночасно працюють три насоса.

Фактична тривалість відкачування води впродовж доби:

– при нормальному припливі:

$$T_{\text{норм}} = \frac{Q_{\text{н}} \cdot 24}{Q_{\text{А3}}} = \frac{330 \cdot 24}{970} = 8,2 \text{ год;}$$

– при максимальному припливі:

$$T_{\text{макс}} = \frac{Q_{\text{макс}} \cdot 24}{Q_{\text{А2}}} = \frac{430 \cdot 24}{970} = 10,7 \text{ год;}$$

Середньорічна витрата електроенергії на водовідлив

$$E_{\text{Зн}} = 1,05 \frac{3 \rho g Q_{C_{1-3}} H_{C_{1-3}} \cdot 10^{-6}}{3,6 \eta_{C_{1-3}} \eta_{\text{д}} \eta_{\text{ем}}} [(365 - n_{\text{м}}) T_{\text{норм}} + n_{\text{м}} T_{\text{макс}}] =$$

$$= 1,05 \cdot \frac{3 \cdot 1010 \cdot 9,81 \cdot 323 \cdot 354 \cdot 10^{-6}}{3,6 \cdot 0,8 \cdot 0,95 \cdot 0,95} \cdot [(365 - 60) 8,2 + 60 \cdot 10,7] =$$

$$= 4315304 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}} ;$$

Питома витрата електроенергії на відкачування 1 м³ води

$$e_{3н} = \frac{E_{3н}}{Q_{\text{Аз}}[(365 - n_{\text{м}})T_{\text{норм}} + n_{\text{м}}T_{\text{макс}}]} = \frac{4315304}{970 \cdot [(365 - 60)10,3 + 60 \cdot 13,4]} =$$

$$= 1,415 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^3}.$$

Питома витрата електроенергії на 1 тонно-кілометр водопідйому

$$e'_{3н} = \frac{e_{3н} \cdot 10^6}{\rho H_{\Gamma}} = \frac{1,415 \cdot 10^6}{1010 \cdot 269} = 5,21 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{т} \cdot \text{км}}.$$

Розрахунки показують, що при паралельній роботі трьох насосів головна водовідливна установка шахти «Дніпровська» характеризується високими питомими техніко-економічними показниками.

2.3. Порівняння можливих схем включення насосів на головному водовідливні шахти «Дніпровська»

1. Експлуатація водовідливної установки при одночасній роботі двох насосів простіша, ніж при включенні трьох насосів.

2. Розрахунки показують, що середньорічна витрата електроенергії на водовідлив при використанні схеми з двома насосами менша ніж у схемі з трьома на

$$\Delta E = E_{3н} - E_{2н} = 4315304 - 4189517 = 125787 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}},$$

що складає 2,9% від середньорічної витрати електроенергії на водовідлив, тобто економія електроенергії не суттєва і обидві схеми за величиною енерговитрат практично однакові.

3. Реалізація схеми з двома насосами потребує збільшення в насосах діаметра всмоктувальних трубопроводів.

4. Робота двох паралельно працюючих насосів буде відбуватися на межі безкавітаційного режиму в той час, як у схемі з трьома насосами

допустима геометрична висота всмоктування перевищує 5 м, тобто надійність цієї схеми набагато вища.

5. З урахуванням зазначених обставин, більш прийнятною є схема головного водовідливу шахти «Дніпровська», коли одночасно паралельно працюють три насоса.

2.4. Визначення ударного підвищення напору в трубопроводі установки після раптового вимкнення привідних двигунів

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

$$v_{\text{нрАз}} = \frac{4Q_{\text{Аз}}}{3600\pi d_{\text{нр}}^2} = \frac{4 \cdot 970}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0253^2} = 5,36 \text{ м/с};$$

При такій великій швидкості виникає небезпека значного ударного зростання напору в трубопроводі у випадку несанкціонованого раптового вимкнення привідних двигунів. Гідравлічні удари в напірному трубопроводі будуть виникати при будь-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 [4]. 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.

2.4.1. Вихідні дані для розрахунку ударного підвищення напору

Параметри робочого режиму насосного агрегату в стабільному режимі (робоча точка установки – точка A_3 на рис. 2.1):

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

Геометричні та пружні дані нагнітального трубопроводу:

внутрішній діаметр $d_{\text{нГ}} = 253 \text{ мм}$;

товщина стінки $\delta_{\text{нГ}} = 10 \text{ мм}$;

загальна довжина $L_{\text{нГ}} = 400 \text{ м}$;

модуль пружності матеріалу стінки труби (модуль пружності сталі),

у розрахунках задаємо $E_{\text{ст}} = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$.

Об'ємний модуль пружності води, у розрахунках задаємо

$E_g = 2 \cdot 10^9 \text{ Па}$.

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

Гідрравлічний опір нагнітального трубопроводу

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

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

2.4.2. Попередні розрахунки

Швидкість поширювання ударної хвилі зміни напору в нагнітальному трубопроводі знаходимо за формулою:

$$c = \sqrt{\frac{E_B}{\rho \left(1 + \frac{E_B}{E_{\text{ст}}} \cdot \frac{d_{\text{нГ}}}{\delta_{\text{нГ}}}\right)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^9}{1010 \left(1 + \frac{2 \cdot 10^9}{2 \cdot 10^{11}} \cdot \frac{253}{10}\right)}} = 1257 \text{ м/с};$$

Тривалість фази гідрравлічного удару обчислюємо за виразом:

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

Площу живого перерізу нагнітального трубопроводу розраховуємо за рівнянням

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

Кутовий коефіцієнт хвильової характеристики нагнітального трубопроводу знайдемо з формули

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

Сумарний момент інерції насосного агрегату визначимо з рівняння

$$\sum I = 1,15I_{\text{д}} = 1,15 \cdot 11 = 12,65 \text{ кг/м}^2;$$

Момент, що створює привідний двигун на валу насоса в робочому режимі, визначаємо за співвідношенням

$$M_{\text{р}} = \frac{30\rho g Q_{C_{1-3}} H_{C_{1-3}}}{3600\pi n_{\text{н}} \eta_{C_{1-3}}} = \frac{\rho g Q_{C_{1-3}} H_{C_{1-3}}}{120\pi n_{\text{н}} \eta_{C_{1-3}}},$$

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;

$$M_{\text{р}} = \frac{1010 \cdot 9,81 \cdot 323 \cdot 354}{120 \cdot 3,14 \cdot 1485 \cdot 0,8} = 2530 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

2.4.3. Визначення ударного підвищення напору в розрахованій водовідливній установці після раптового вимкнення привідних двигунів

2.4.3. 1. Записуємо рівняння характеристики зовнішньої мережі водовідливної установки для від'ємних витрат, що відповідає рівнянню

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

Для побудови графіка цієї характеристики складаємо таблицю, задаючи 6 – 8 значень від'ємних витрат. Будуємо цю ділянку характеристики зовнішньої мережі як продовження звичайної характеристики зовнішньої мережі для додатних витрат.

Таблиця для побудови графіка характеристики зовнішньої мережі
для від'ємних витрат

Таблиця 2.3

$Q,$ $\text{м}^3/\text{ГОД}$	0	-100	-200	-250	-300	-350	-400
$H_{\text{м}}, \text{м}$	269	268,1	265,4	263,3	260,1	257,9	254,5

2.4.3. 2. Записуємо рівняння хвильових характеристик нагнітального трубопроводу для вхідного 1 – 1 та вихідного 2 – 2 перерізів, відповідно

$$H_{\text{к1-1}} - H_{\text{п1-1}} = k_{\text{кут}}(Q_{\text{к1-1}} - Q_{\text{п1-1}}),$$

$$H_{\text{к2-2}} - H_{\text{п2-2}} = -k_{\text{кут}}(Q_{\text{к2-2}} - Q_{\text{п2-2}}),$$

де $H_{\text{к}}$ і $H_{\text{п}}$ – кінцевий і початковий напори у відповідних перерізах, м;
 $Q_{\text{к}}$ і $Q_{\text{п}}$ – кінцева та початкова витрати в цих перерізах, $\text{м}^3/\text{год}$.

2.4.3. 3. Визначаємо розрахунковий теоретично можливий мінімальний напір у перерізі 1 – 1 в кінці першої фази гідравлічного удару.

$$\text{У цьому разі } H_{\text{п1-1}} = H_{\text{А3}}; Q_{\text{п1-1}} = Q_{\text{А3}}; Q_{\text{к1-1}} = 0.$$

Тоді

$$H_{\text{к1-1}} = H_{\text{к1-1min}} = H_{\text{А3}} - k_{\text{кут}}Q_{\text{А3}} = 354 - 0,712 \cdot 970 = -337 \text{ м.}$$

2.4.3. 4. Підраховуємо сталу часу насосного агрегату за рівнянням

$$T_{\text{а}} = \frac{\pi n_{\text{н}} \sum I}{30M_{\text{р}}} = \frac{3,14 \cdot 1485 \cdot 12,65}{30 \cdot 2530} = 0,778 \text{ с;}$$

2.4.3. 5. Визначаємо частоту обертання вала насоса в кінці першої фази гідравлічного удару відповідно до виразу

$$n_1 = n_{\text{н}} \frac{T_{\text{а}}}{T_{\text{а}} + T} = 1485 \cdot \frac{0,778}{0,778 + 0,636} = 817 \text{ об/хв.}$$

2.4.3. 6. Розраховуємо напір насоса при нульовій подачі та частоті обертання n_1 за формулою пропорційності

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

2.4.3. 7. Порівнюємо напори H_{01} та $H_{к1-1min}$ і встановлюємо вид гідравлічного удару в розрахованій насосній установці.

У даному випадку $H_{к1-1min} = -337 \text{ м} < H_{01} = 115 \text{ м}$, отже в системі після раптового відключення привідних двигунів виникає непрямий гідравлічний удар. Графічний аналіз цього перехідного гідравлічного процесу в координатах $Q - H$ виконуємо на рис. 2.2 в наведеній нижче послідовності.

На рис. 2.2 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 ординат відмічаємо точкою A напір $H_{к1-1min}$ і з'єднуємо точки A та A_3 прямою лінією, частина якої буде відображати хвильову характеристику перерізу 1 – 1 для першої фази гідравлічного удару.

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 непрямому 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 .

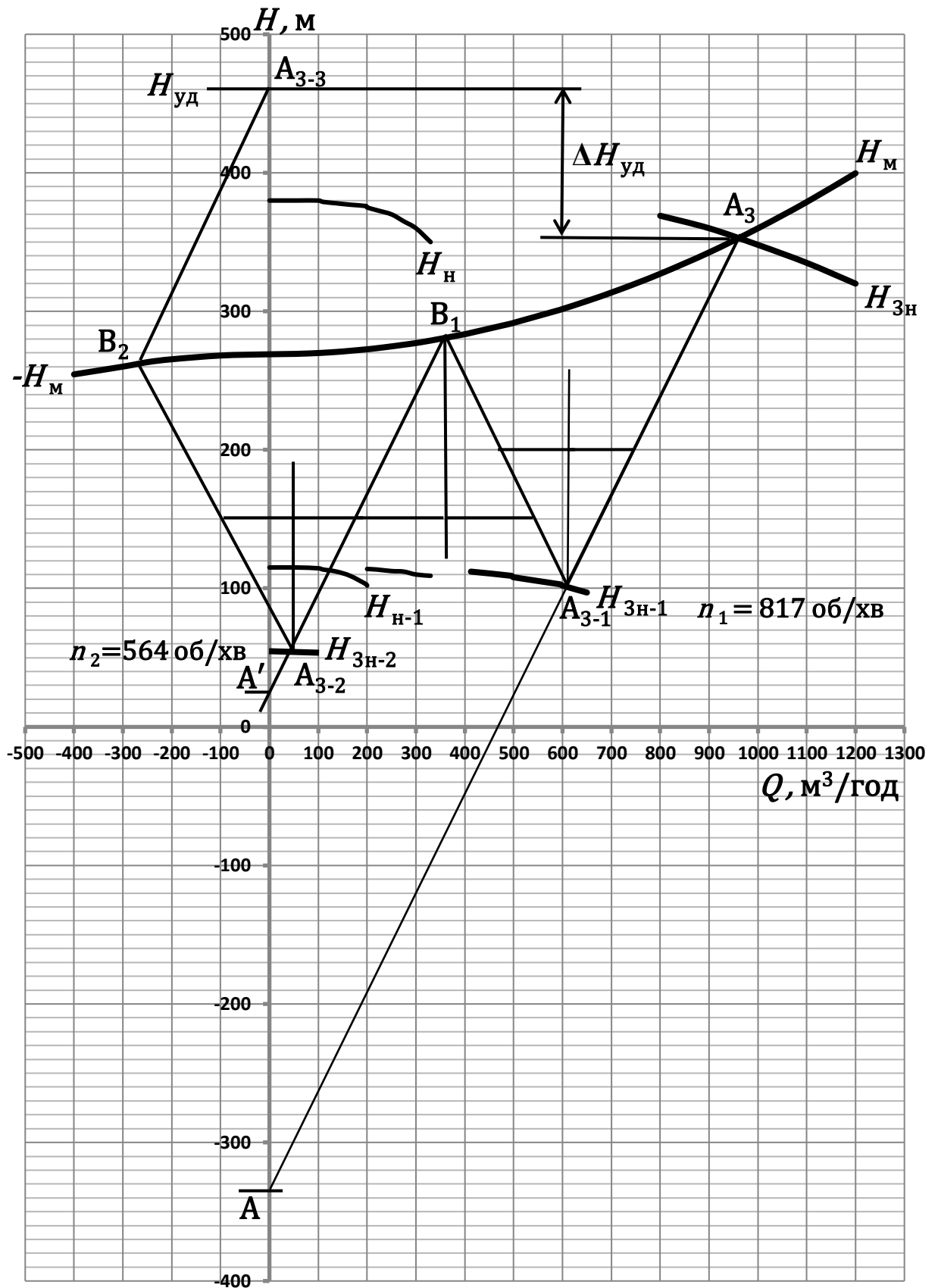


Рис. 2.2. Графічний аналіз перебігу перехідного гідравлічного процесу в головній водовідливній установці при раптовому відключенні привідних двигунів

Напірну характеристику насоса при частоті обертання вала n_1 отримуємо шляхом перерахунку паспортної напірної характеристики, що відповідає

номінальній частоті обертання вала n_n . Перерахунок виконуємо за рівняннями пропорційності насоса в такій послідовності [2]:

– на вихідній напірній характеристиці намічаємо 5 ... 6 довільних точок і визначаємо їхні координати, тобто для кожної з намічених точок знаходимо Q_{n_n} і H_{n_n} ;

– координати нових положень намічених точок, що відповідають частоті обертання n_1 , знаходимо за рівняннями пропорційності, згідно з якими для кожної наміченої точки

$$Q_{n_1} = Q_{n_n} \frac{n_1}{n_n}; \quad H_{n_1} = H_{n_n} \left(\frac{n_1}{n_n} \right)^2.$$

Для спрощення розрахунків позначимо

$$\frac{n_1}{n_n} = j_Q = \frac{817}{1485} = 0,55; \quad \left(\frac{n_1}{n_n} \right)^2 = j_H = \left(\frac{817}{1485} \right)^2 = 0,303.$$

Для побудови перерахованої напірної характеристики насоса складаємо таблицю.

Таблиця для побудови перерахованої напірної характеристики насоса

Таблиця 2.4

$Q_{n_n}, \text{ м}^3/\text{ГОД}$	$H_{n_n}, \text{ м}$	$Q_{n_1} = j_Q Q_{n_n}, \text{ м}^3/\text{ГОД}$	$H_{n_1} = j_H H_{n_n}, \text{ м}$
0	380	0	115,1
100	380	55	115,1
200	375	110	113,6
250	370	137,5	112,1
300	360	165	109,1
360	340	198	103,0

На рис. 2.2 перерахована напірна характеристика одного насоса відображена лінією H_{n-1} . Перерахована сумарна напірна характеристика насосного агрегату побудована у звичайному порядку і 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

$$H_{A'} = H_{к1-1min2} = 25 \text{ м.}$$

Порівняємо напір $H_{к1-1min2}$ 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 $H_{к1-1min2} = 25 \text{ м} < H_{02} = 55 \text{ м}$, 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 паспортної напірної характеристики, що відповідає номінальній частоті обертання вала n_H , у вище розглянутому порядку.

У даному випадку

$$Q_{n_2} = Q_{n_H} \frac{n_2}{n_H}; \quad H_{n_2} = H_{n_H} \left(\frac{n_2}{n_H} \right)^2$$

$$\frac{n_2}{n_H} = j_Q = \frac{564}{1485} = 0,38; \quad \left(\frac{n_2}{n_H} \right)^2 = j_H = \left(\frac{564}{1485} \right)^2 = 0,144.$$

Для побудови перерахованої напірної характеристики насоса складаємо таблицю.

Таблиця для побудови перерахованої напірної характеристики насоса для другої фази гідравлічного удару

Таблиця 2.5

$Q_{n_H}, \text{ м}^3/\text{ГОД}$	$H_{n_H}, \text{ м}$	$Q_{n_1} = j_Q Q_{n_H}, \text{ м}^3/\text{ГОД}$	$H_{n_1} = j_H H_{n_H}, \text{ м}$
0	380	0	54,7
100	380	38	54,7
200	375	76	54
250	370	96	53,3
300	360	114	51,8
360	340	136,8	49

На рис. 2.2 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_{3H-2} .

Позначимо точку перетину лінії B_1A' з графіком перерахованої напірної характеристики насоса H_{3H-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_{A3-3} – це максимальний напір, який виникає в установці при раптовому відключенні привідних двигунів насосів, тобто

$$H_{A3-3} = H_{к1-1-3} = H_{уд}.$$

З побудованих графіків випливає, що $H_{уд} = 460$ м.

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

$$\Delta H_{уд} = H_{A3-3} - H_{A3} = 460 - 354 = 106 \text{ м.}$$

У відносному вимірі збільшення напору в установці дорівнює

$$\delta H_{уд} = \frac{\Delta H_{уд}}{H_{A3}} \cdot 100 = \frac{106}{354} \cdot 100 = 29,94 \text{ \%}.$$

Шахтні напірні трубопроводи відповідно до норм проектування розраховуються на 25-відсоткове підвищення напору, тому при $\delta H_{уд} > 25\%$ треба передбачити заходи щодо захисту трубопроводу.

2.5. Захист головної водовідливної установи шахти «Дніпровська» від впливу гідравлічного удару

В шахтних водовідливних установках гідравлічний удар розпочинається з фази зниження тиску, що викликається раптовим відключенням приводу насосів. У цих випадках раціональним методом захисту від його впливу є використання широко розповсюдженого методу захисту напірних систем шляхом впуску води в переріз трубопроводу, де тиск зменшується – надходження води в цей переріз гальмує коливальний процес у трубопроводі. Для реалізації цього методу необхідно мати у вказаному місці пристрій для впуску води, ємність якого достатня для ефективного гашення коливального процесу, і тиск води у якому відповідає тиску в трубопроводі, що захищається. В умовах шахтного водовідливу в якості джерела води, яке знаходиться в

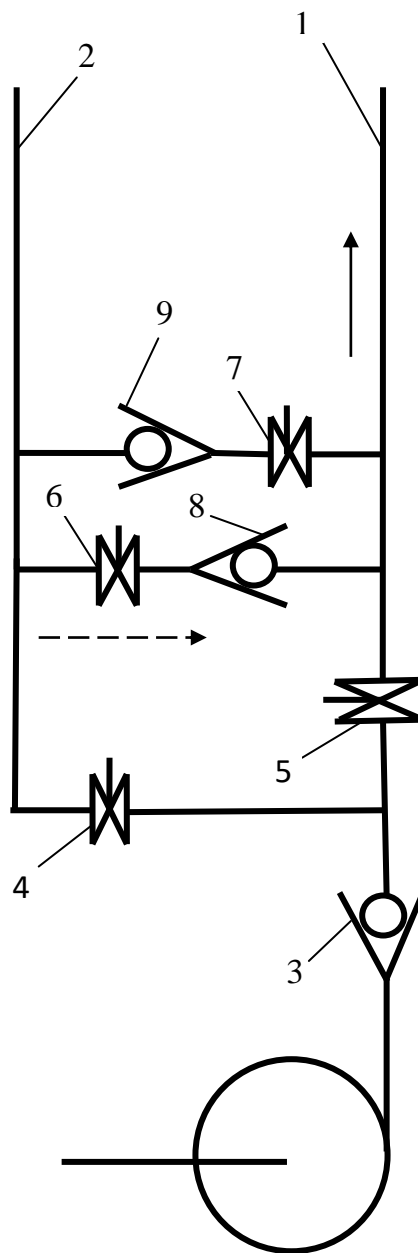


Рис. 2.3. Гідравлічна схема захисту головної водовідливної установки шахти «Дніпровська» від впливу гідравлічного удару

потрібному місці і з відповідним тиском, можна використовувати резервний напірний трубопровід, прокладений у стволі та заповнений водою. На шахті «Дніпровська» таких резервних трубопроводів два.

Гідравлічна схема з робочим і паралельним резервним трубопроводом наведена на рис. 2.3. Напірні трубопроводи 1 і 2 з'єднані перепускними трубами, у кожній з яких змонтовані засувки 6 і 7, а також зворотні клапани 8 і 9.

В роботу трубопроводи включаються направляючими засувками 4 і 5.

Коли використовується трубопровід 1, засувки 5 і 6 відкриті, а засувки 4 і 7 закриті. Напрямок потоку в трубопроводі 1 при працюючому насосі показаний суцільною стрілкою. У цьому разі в перерізі напірного трубопроводу,

до якого підключена перепускна труба, напір становить

$$H_{\text{нап}} = H_{\Gamma} + h_{\text{втр}},$$

где H_{Γ} – геодезичний напір; $h_{\text{втр}}$ – втрати напору в трубопроводі.

З боку резервного трубопроводу в перепускній трубі напір

$$H_{\text{рез}} = H_{\Gamma}.$$

Так як $H_{\text{рез}} < H_{\text{нап}}$, то зворотний клапан 8 буде закритий і витрата по перепускній трубі $Q_{\text{пер}} = 0$.

Після раптового відключення насосів і підходу хвилі зниженого напору до даного перерізу, в перепускній з боку резервного трубопроводу напір стане більшим, ніж у робочому трубопроводі. Це викличе відкривання зворотного клапана 8 витікання рідини із резервного трубопроводу. Завдяки цьому суттєво зменшиться падіння напору перед зворотним клапаном 3 у другій фазі гідравлічного удару і, відповідно, зменшиться ударне підвищення напору в установці у третій фазі удару.

3. ОХОРОНА ПРАЦІ В ШАХТНОМУ ВОДОВІДЛИВІ

3.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів при експлуатації водовідливної установки шахти

При роботі в насосній камері слід виділити такі шкідливі виробничі фактори як недостатність природного освітлення, підвищена вологість повітря, виникнення шумів та вібрацій від роботи різних механізмів і машин.

У насосній камері шуми та вібрації створюють працюючі насоси та електродвигуни. В наслідок того, що в водозбірники надходить шахтна вода, а також через можливе виникнення конденсату на всмоктувальному та напірному трубопроводах, у насосній камері завжди підвищена вологість повітря.

Головними небезпечними факторами при роботі в насосній камері головної водовідливної установки шахти являються:

- 1) наявність вибухонебезпечного середовища (накопичування газу метану в небезпечних концентраціях);
- 2) можливість обрушення вміщуючи порід і посилення гірничого тиску (з часом будь-яке кріплення піддається просіданню через тиск на неї гірничої маси);
- 3) ураження електричним струмом (до насосів підключені високовольтні кабелі);
- 4) обергальні частини насосного агрегату (працюючий насос);
- 5) підйомно-навантажувальні пристрої (працюючі лебідки, штовхачі);
- 6) затоплення насосної камери (в насосну камеру надходить вода з горизонтів шахти та при виході з ладу насосів можливе затоплення).

Основні шкідливі фактори:

- 1) шум і вібрація;

- 2) підвищена вологість;
- 3) недостатність природного освітлення.

3.2. Розробка інженерно-технічних заходів по охороні праці

По небезпечним факторам:

1) Для попередження вибуху газу метану здійснюється контроль стану рудникової атмосфери приладами постійної та епізодичної дії. Контроль вмісту метану в камері водовідливної установки виконується особами змінного надзору та працівниками дільниці вентиляції та техніки безпеки. Періодичність контролю встановлюється начальником дільниці ВТБ і затверджуються головним інженером шахти. Разом з цим здійснюється автоматично діючий контроль за допомогою апаратури АМТ-3. Якщо вміст метану перевищує допустиму норму, то автоматично знімається напруга з електрообладнання та кабелів.

Для попередження накопичення метану передбачене інтенсивне провітрювання виробки.

2) При посиленні гірничого тиску повинні бути прийняті заходи безпеки у відповідності з розробленими заходами.

3) Для захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом передбачаються наступні заходи:

– корпуса електродвигунів насосних агрегатів і металеві частини інших електротехнічних пристроїв, що не перебувають під напругою, але які можуть опинитися під напругою у випадку пошкодження ізоляції, а також трубопроводи й арматура повинні бути заземлені. Заземлення здійснюється за допомогою спеціальних місцевих заземлювальних пристроїв, що складаються із заземлювачів і заземлювальних провідників. У підземних виробках шахти утворюється загальна мережа заземлення, до якої приєднуються всі об'єкти, що підлягають заземленню відповідно до вимог чинного законодавства. Загальна мережа заземлення створюється шляхом безперервного електричного з'єднання між собою всіх металевих оболонок та заземлювальних жил кабелів незалежно від величини напруги із приєднанням їх до головних та місцевих заземлювачів.

Для місцевих заземлень мають влаштовуватися штучні заземлювачі у водовідвідних канавках або в інших придатних для цього місцях. Кожна кабельна муфта з металевим корпусом, крім з'єднувачів напруги на гнучких кабелях, що живлять пересувні машини, повинна мати місцеве заземлення та з'єднуватися із загальною мережею заземлення шахти. Для місцевих заземлювачів, що розміщуються в штрекових стічних канавах, повинні застосовуватися сталеві смуги площею не менше $0,6 \text{ м}^2$, товщиною не менше 3 мм і довжиною не менше 2,5 м. Заземлювач треба розміщувати горизонтально в трохи заглибленій стічній канавці на „подушку“ товщиною не менше 50 мм з піску або дрібних грудок породи і зверху засипати шаром у 150 мм із того самого матеріалу. Як місцевий заземлювач можна також використовувати не менше трьох суміжних або віддалених рам металокріплення, з'єднаних між собою металевим дротом (смугою, тросом і т. п.) зі сталі або міді перерізом не менше відповідно 50 та 25 мм^2 , які зв'язані з іншими рамами кріплення за допомогою розпірних елементів. За відсутності у виробках стічної канавки для заземлювачів повинні застосовуватися сталеві труби діаметром не менше 30 мм і довжиною 1,5 м. Стінки труби повинні мати на різній висоті не менше 20 отворів діаметром не менше 5 мм. Труба міститься в шпур, пробурений на глибину не менше 1,4 м. Простір між стінкою шпура та зовнішньою стінкою труби заповнюють гігроскопічним матеріалом (піском, золою і т. п.), який періодично зволожується. У разі необхідності повинно встановлюватися декілька заземлювачів. Місцеві заземлювачі приєднуються до електроустаткування, що заземлюється, або до збірних заземлювальних шин за допомогою провідника зі сталі перерізом не менше 50 мм^2 або з міді перерізом не менше 25 мм^2 болтовими з'єднаннями або зварюванням при забезпеченні надійного контакту.. Послідовне приєднання устаткування, що заземлюється, до збірних заземлювальних провідників або до заземлювачів, не допускається, крім кабельних муфт і світильників у мережі стаціонарного освітлення, де можна встановлювати заземлювачі через кожні 100 м.

Головні заземлювачі в шахтах повинні влаштовуватися в зумпфах або водозбірниках. В усіх випадках слід влаштовувати не менше двох головних заземлювачів, розташованих у різних місцях, що резервують один одного на час огляду, чищення або ремонту одного з них. Головними заземлювачами є сталеві смуги площею не менше $0,75 \text{ м}^2$, товщиною не менше 5 мм і довжиною не менше 2,5 м. Загальний перехідний опір мережі заземлення, вимірний біля будь-яких заземлювачів, не повинен перевищувати 2 Ом.

Заземлення головної водовідливної установки здійснюється по двом незалежним контурам, які приєднуються до головних заземлювачів білястволового двору. Головні заземлювачі розташовані в зумпфі ствола та в одному з водозбірників. Колодязі для розміщення головних заземлювачів повинні мати глибину не менше 3,5 м, міцне перекриття, засоби для встановлення підйимального пристрою та відводу від пожежно-зрошувального трубопроводу для заповнення водою;

- використання реле витоків, яке відключає електродвигун насосного агрегату без витримки часу у випадку замикання на корпус двигуна;

- використання диференціального захисту від міжфазових замикань і максимального струмового захисту, які реагують на струми нульової послідовності.

Зазначені види захисту дозволяє забезпечити високовольтна комірка КРУВ-6.

4) Усі частини насосного агрегату, що обертаються, повинні бути закритими спеціальними кожухами та огороженні.

5) До роботи з підйомно-навантажувальними пристроями допускаються особи, що пройшли відповідний інструктаж. Забороняється використовувати підйомно-навантажувальні пристрої, які не відповідають своєму технічному паспорту.

6) Для недопущення затоплення насосної камери проектом, відповідно до правил безпеки, передбачено:

- на головних водовідливних установках шахт передбачається значний резерв насосів. На діючих шахтах головні водовідливні установки повинні бути обладнані не менше ніж трьома насосними агрегатами, подача кожного з яких має забезпечувати відкачування максимального добового припливу води не

довше ніж за 20 годин. Якщо робочий агрегат складається з одного насоса, то загальна кількість насосів у камері три – робочий насос, резервний і ремонтний.

– правилами безпеки передбачається резервування напірних трубопроводів у головній водовідливній установці – вона повинна мати не менше, ніж два напірних трубопроводи, один із яких є резервним. Якщо кількість робочих напірних трубопроводів не перевищує трьох, повинен бути один резервний трубопровід, якщо вона більше трьох, має бути два резервні трубопроводи.

– комутація напірних трубопроводів у насосній камері повинна забезпечувати відкачування максимального добового припливу під час ремонту будь-якого елемента установки. Для цього напірні трубопроводи в насосній камері закриваються і обладнують засувками таким чином, щоб можна було підключати насоси до будь-якого трубопроводу, а також відключати їх від мережі. На виході з кожного насоса встановлюється зворотний клапан, який автоматично відключає насос від мережі в разі його зупинки та унеможливує зворотний рух води з напірного трубопроводу через насос.

– насоси головного водовідливного комплексу повинні розміщуватися в спеціальній насосній камері. Насосна камера з'єднується:

а) із стволом шахти – трубокабельним хідником, місце сполучення якого з вертикальним стволом має розташовуватися не нижче 7 м від рівня підлоги насосної камери, а з похилим стволом – не нижче ніж 3,5 м. Цей хідник використовується як запасний вихід на випадок затоплення;

б) з приствольним двором – хідником із герметичними дверима;

в) із водозбірником – однією або кількома спеціальними виробками, які облаштовані пристосуваннями, що дозволяють регулювати надходження води до камери та герметизувати насосну камеру.

Підлога насосної камери має бути вища за підлогу приствольного двору не менше ніж на 0,5 м.

Кожен насос разом із привідним двигуном монтується на загальній фундаментній плиті. Фундамент насоса перевищує рівень підлоги насосної камери на 0,1... 0,2 м.

Насосна камера повинна бути обладнана рухомими вантажно-підйомними механізмами з ручним або електричним приводом.

У камері встановлюються світильники, які живляться від електричної мережі.

Розміри насосної камери повинні забезпечувати вільний доступ до насосних агрегатів, запірної арматури, трубопроводів і вільний рух засобів підйому-переміщення (крана та рейкового рухомого складу).

Для зменшення поперечних розмірів камери осі насосів розміщують відповідно її довжині. Між насосами залишають прохід від 1,0 до 1,5 м. Відстань між насосами та однією із стін камери задається 0,7 м. З другого боку прокладається утоплена в підлогу рейкова колія. Над насосами на спеціальних балках розміщується вантажопідйомний пристрій для монтажу обладнання.

По шкідливим факторам:

1) Основним джерелом шуму в насосній камері являються насосні агрегати та в меншому ступеню напірні трубопроводи.

Джерелом шуму та вібрації безпосередньо насоса є явища, що пов'язані з обтіканням його елементів – утворення вихорів на лопатках, а також наявність обертальних деталей приводить до шуму та вібрації через їх дисбаланс.

Джерелом повітряного шуму, що створюється насосом, являються вібрація корпусу та, в деякій мірі, вібрації трубопроводів і фундаментів.

Заходи, спрямовані на зменшення шуму та вібрації:

– встановлення насоса на демпферних подушках для зниження рівня вібрації, яка передається на фундамент, а також вкривання насоса кожухом, що поглинає шум, для зменшення рівня шуму.

Як основний засіб для зменшення впливу шуму на обслуговуючий персонал використовуються засоби індивідуального захисту. Вони повинні відповідати наступним вимогам: високий ступінь звукопоглинання, можливість слухового контролю за роботою машин, зручного ношення, міцність і простота використання.

Для захисту органів слуху від шуму використовується шахтарська захисна каска із закріпленими на ній протишумовими навушниками.

2) Для зменшення вологості повітря передбачене інтенсивне провітрювання виробки.

3.3. Протипожежні заходи

У камері головної водовідливної установки можуть загорітися:

- кабельна мережа;
- мастильні матеріали.

Однією з головних причин виникнення пожежі в насосній камері може стати перегрів електродвигунів насосів та іншого обладнання через недостатній відвід теплових втрат. У цьому випадку в насосній камері облаштовують систему вентиляції, яка складається з відцентрових вентиляторів, фільтрів, повітроохолоджувачів і труб, підводять повітря. Камера головної водовідливної установки відноситься до категорії Д (пожежобезпечні).

Камера облаштовується пожежно-зрошувальним трубопроводом, пожежними кранами з рукавами та стволами, засувками та первинними засобами пожежогасіння (порошкові вогнегасники з об'ємом корпусу 10 л – 4 шт, ємності для піску об'ємом 0,2 м³, лопати – 1 шт), які розташовані коло робочого місця чергового персоналу. Знаходження їх у виробці забезпечує

можливість використання для гасіння пожежі на початковій стадії.

Пожежні двері, що встановлюються для локалізації пожежі в гірничих виробках, повинні виготовлятися з негорючих матеріалів. По обидва боки від них на довжині не менше п'яти метрів повинні бути спорудженні зони з негорючого кріплення.

Пожежні двері повинні зачинятися зусиллям однієї людини, щільно перекивати переріз виробки та мати запори, що відчиняються з обох боків.

Мастильні матеріали повинні зберігатися в окремій виробці в негорючих ємностях. Зберігати мастильні матеріали в приміщенні насосної камери в кількості більше добового запасу забороняється.

Матеріали, використані для обтирання, необхідно зберігати в металевих ящиках із кришками, які щільно закриваються.

У випадку виникнення пожежі в насосній камері потрібно відключити електроенергію, повідомити про це диспетчера та головного механіка і розпочати гасіння. Для гасіння пожежі необхідно використовувати сухі

вогнегасники, пісок або інертний піл. Якщо пожежа приймає великі розміри і погасити її неможливо, треба, залишивши камеру, закрити герметичні двері.

ВИСНОВКИ

1. Мінімально потрібна подача головної водовідливної установки шахти «Дніпровська» становить $516 \text{ м}^3/\text{год}$. В умовах, коли установка обладнана відцентровими насосами ЦНСШ 300 – 360 з номінальною подачею $300 \text{ м}^3/\text{год}$, потрібна подача може бути забезпечена при одночасній роботі мінімум двох насосів.

2. Головний водовідлив шахти включає три напірних трубопроводи, що дозволяє одночасну роботу двох насосів організувати за двома схемами – при підключенні кожного насоса до індивідуального нагнітального трубопроводу, і при сумісній роботі насосів на один спільний нагнітальний трубопровід.

3. Виконані розрахунки показали, що в умовах існуючої головної водовідливної установки шахти «Дніпровська» підключати один насос до нагнітального трубопроводу не можна – при такій схемі робоча точка насоса буде знаходитись далеко за правою межею його робочої зони, що викличе інтенсивну кавітацію в насосі при додатній висоті всмоктування.

4. При паралельному підключенні двох насосів до спільного нагнітального трубопроводу подача установки зростає до $770 \text{ м}^3/\text{год}$ при ККД кожного насоса 75 % і достатній потужності привідного двигуна. Але при такій схемі допустима геометрична висота всмоктування насосів становить усього 2,72 м – така висота всмоктування недостатня для нормальної експлуатації установки.

5. Збільшити допустиму геометричну висоту всмоктування насосів у агрегаті з двох машин можна шляхом збільшення діаметра всмоктувального трубопроводу. Якщо всмоктувальні трубопроводи насосів змонтувати з труб діаметром 426 мм, то робота насосів не буде супроводжуватися кавітацією при геометричній висоті всмоктування до 3,24 м – ця геометрична висота всмоктування є мінімально прийнятною для забезпечення нормальної експлуатації насосів головного водовідливу шахти.

6. В умовах головного водовідливу шахти «Дніпровська» з метою нормалізації роботи насосів можна застосувати паралельне підключення трьох насосів до спільного нагнітального трубопроводу. При такій схемі подача установки становить $970 \text{ м}^3/\text{год}$, ККД кожного насоса 80 %, допустима геометрична висота всмоктування насосів становить 5,42 м.

Середньорічна витрата електроенергії на водовідлив при використанні схеми з трьома насосами дещо більша ніж у схемі з двома – перевищення складає 125787 кВт·год або 2,9 % від середньорічної витрати електроенергії на водовідлив, тобто перевитрата електроенергії не суттєва і обидві схеми за величиною енерговитрат практично однакові. У той же час надійність і можливість реалізації схеми з трьома паралельно працюючими насосами значно вищі, тому саме ця схема використання насосів в даних умовах є раціональною.

7. У разі одночасної паралельної роботи трьох насосів швидкість потоку в нагнітальному трубопроводі становить 5,36 м/с. При такій великій швидкості виникає небезпека значного ударного зростання напору в трубопроводі у випадку несанкціонованого раптового відключення привідних двигунів. Виконані розрахунки показали, що в умовах існуючої головної водовідливної установки шахти «Дніпровська» через невелику величину водопідйому ударне зростання напору відбувається в третій фазі гідравлічного удару, але воно становить 106 м, тобто напір в установці зростає майже на 30 %. Тому при використанні схеми з трьома одночасно працюючими насосами необхідно передбачити заходи щодо захисту установки від негативного впливу гідравлічного удару.

В умовах шахти «Дніпровська» захист головного водовідливу від гідравлічного удару доцільно виконувати за схемою з урівноважувальним резервуаром, використовуючи у якості такого резервуара один з трьох нагнітальних трубопроводів, що прокладені в допоміжному стволі.

ДОДАТОК А

Відгук на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавр
студента академічної групи 184-17ск -1 ММФ спеціальності
184 Гірництво за освітньо-професійною програмою «Енергомеханічні
комплекси гірничих підприємств»

Карченка Анатолія Сергійовича на тему:

Проект удосконалення системи водовідливу на шахті
«Дніпровська» ПрАТ „ДТЕК „Павлоградвугілля“ – комплексний проєкт.

Частина 1. Проєкт удосконалення головної водовідливної установки

Мета кваліфікаційної роботи – підвищення експлуатаційної ефективності головної водовідливної установки шахти «Дніпровська» за рахунок раціонального використання встановлених насосів і розробка ефективних заходів, спрямованих на захист установки від негативного впливу гідравлічного удару, який може виникнути при раптовому відключенні привідних двигунів.

Тема кваліфікаційної роботи безпосередньо пов'язана з об'єктом діяльності бакалавра за спеціальністю 184 Гірництво, який навчався за освітньо-професійною програмою «Енергомеханічні комплекси гірничих підприємств» – проєктування, аналіз роботи, експлуатація енергомеханічних комплексів гірничих підприємств.

Обрана тема актуальна через те, що надійна та безпечна робота водовідливного комплексу є необхідною умовою діяльності шахти.

Задачі кваліфікаційної роботи відповідають змісту стандартам вищої освіти та дескрипторам Національної рамки кваліфікацій.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці технічних рішень, що забезпечують роботу насосів в умовах діючого виробництва з високим ККД і без кавітації при геометричній висоті всмоктування до 5,42 м; встановлена величина ударного підвищення напору в нагнітальному трубопроводі установки, яке може виникнути при несанкціонованому раптовому відключенні привідних двигунів, і

розроблені заходи, спрямовані на захист установки від негативного впливу гідравлічного удару.

Степінь самостійності виконання розрахунків високий.

Кваліфікаційна робота виконана на реальну тему з застосуванням ПЕОМ.

Робота оформлена у відповідності до діючих стандартів. Якість оформлення достатньо висока.

У цілому кваліфікаційна робота ступеню бакалавр студента академічної групи 184-17ск -1 ММФ Карченка Анатолія Сергійовича заслуговує оцінки „відмінно“.

Керівник кваліфікаційної роботи,

доцент кафедри гірничої механіки, канд. техн. наук

М.В. Холоменюк

ДОДАТОК Б

Відгуки керівників розділів кваліфікаційної роботи ступеня бакалавр студента академічної групи 184-17ск-1 ММФ спеціальності

184 Гірництво за освітньо-професійною програмою

«Енергомеханічні комплекси гірничих підприємств»

Карченка Анатолія Сергійовича на тему:

Проект удосконалення системи водовідливу на шахті

«Дніпровська» ПрАТ „ДТЕК „Павлоградвугілля“ – комплексний проєкт.

Частина 1. Проєкт удосконалення головної водовідливної установки

ДОДАТОК В

Рецензія на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавр студента академічної групи 184-17ск -1 ММФ спеціальності 184 Гірництво за освітньо-професійною програмою «Енергомеханічні комплекси гірничих підприємств»

Карченка Анатолія Сергійовича на тему:

Проект удосконалення системи водовідливу на шахті «Дніпровська» ПрАТ „ДТЕК „Павлоградвугілля“ – комплексний проєкт.
Частина 1. Проєкт удосконалення головної водовідливної установки

Кваліфікаційна робота ступеня бакалавр студента академічної групи 184-17ск -1 ММФ Карченка Анатолія Сергійовича представлена пояснювальною запискою на 58 стор. та графічною частиною на трьох листах. Пояснювальна записка складається із вступу, трьох розділів, що розкривають тему роботи, висновків, переліку посилань та трьох додатків.

Робота виконана на актуальну тему і спрямована на підвищення експлуатаційної ефективності та безпеки експлуатації головної водовідливної установки шахти «Дніпровська». Відзначено, що необхідна подача установки може бути забезпечена при одночасній роботі мінімум двох насосів і те що в умовах головного водовідливу шахти «Дніпровська», у якому є три напірні трубопроводи, цього можна досягти двома шляхами – включенням насосів на індивідуальні напірні трубопроводи та при паралельному підключенні насосів до одного спільного трубопроводу. На основі виконаного аналізу показано, що в існуючій головній водовідливній установці підключати один насос до нагнітального трубопроводу не можна через те, що його робота в цьому разі буде супроводжуватися інтенсивною кавітацією. Показано також, що в даних

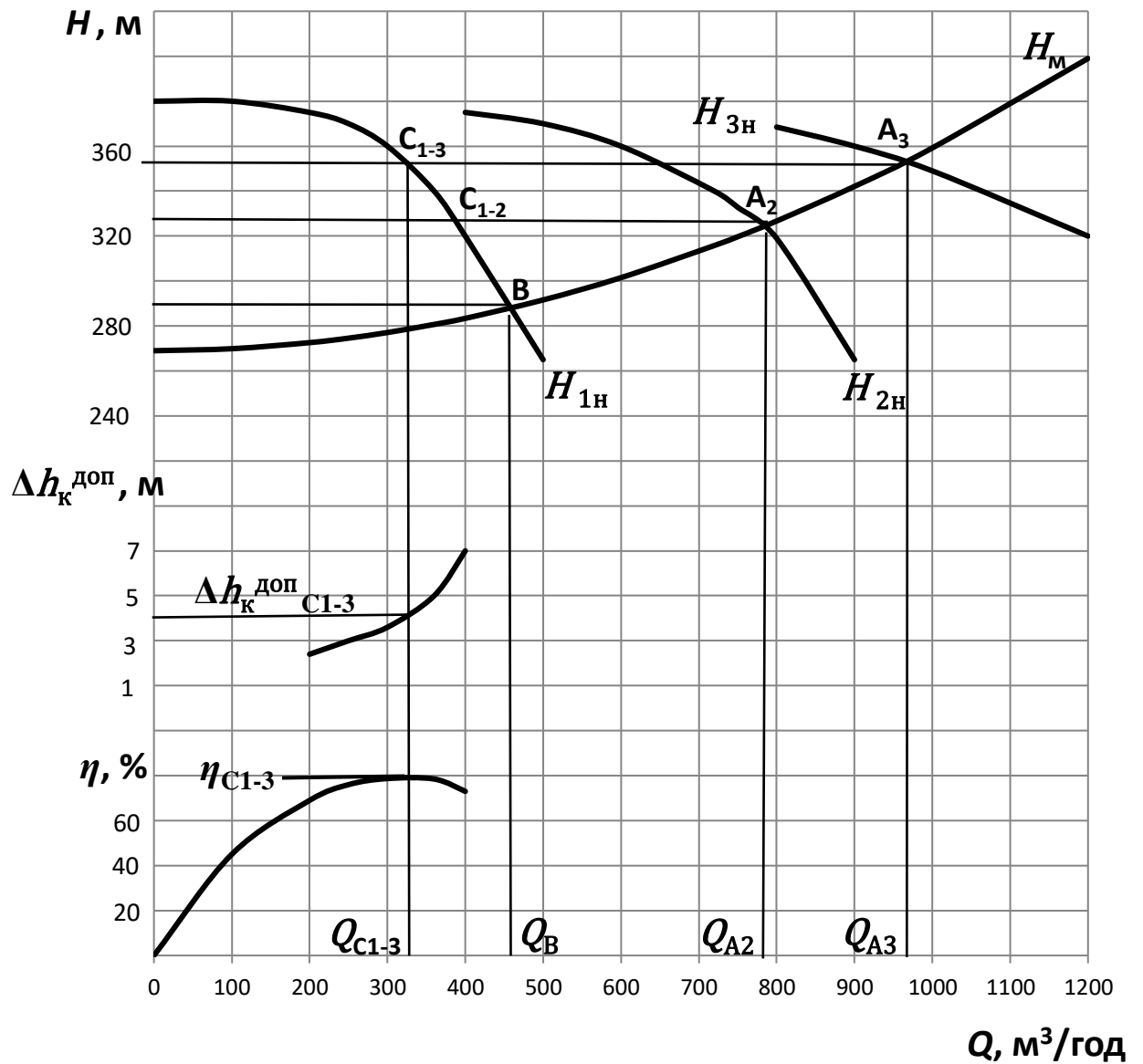
умовах найбільш раціонально підключати паралельно три насоса до одного нагнітального трубопроводу. Але при такій схемі використання насосів в трубопроводі може виникнути значне підвищення напору при раптовому відключенні привідних двигунів. З огляду на це в роботі розрахована величина

можливого гідравлічного удару і запропоновані ефективні шляхи запобігання його негативного впливу на роботу установки.

Вважаю, що в цілому кваліфікаційна робота студента Карченка Анатолія Сергійовича заслуговує оцінки «відмінно», а її автор присудженню ступеню бакалавра з гірництва за освітньою програмою «Енергомеханічні комплекси гірничих підприємств».

Завідувач кафедри будівельної, теоретичної
та прикладної механіки, д-р техн. наук

Д.Л. Колосов



ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ

Кількість насосів	Допустима висота всмоктування, м	Потужність двигуна, кВт	Витрата електроенергії, кВт·год /рік
2	2,72 / 3,24	500	4189517
3	5,42	500	4315304

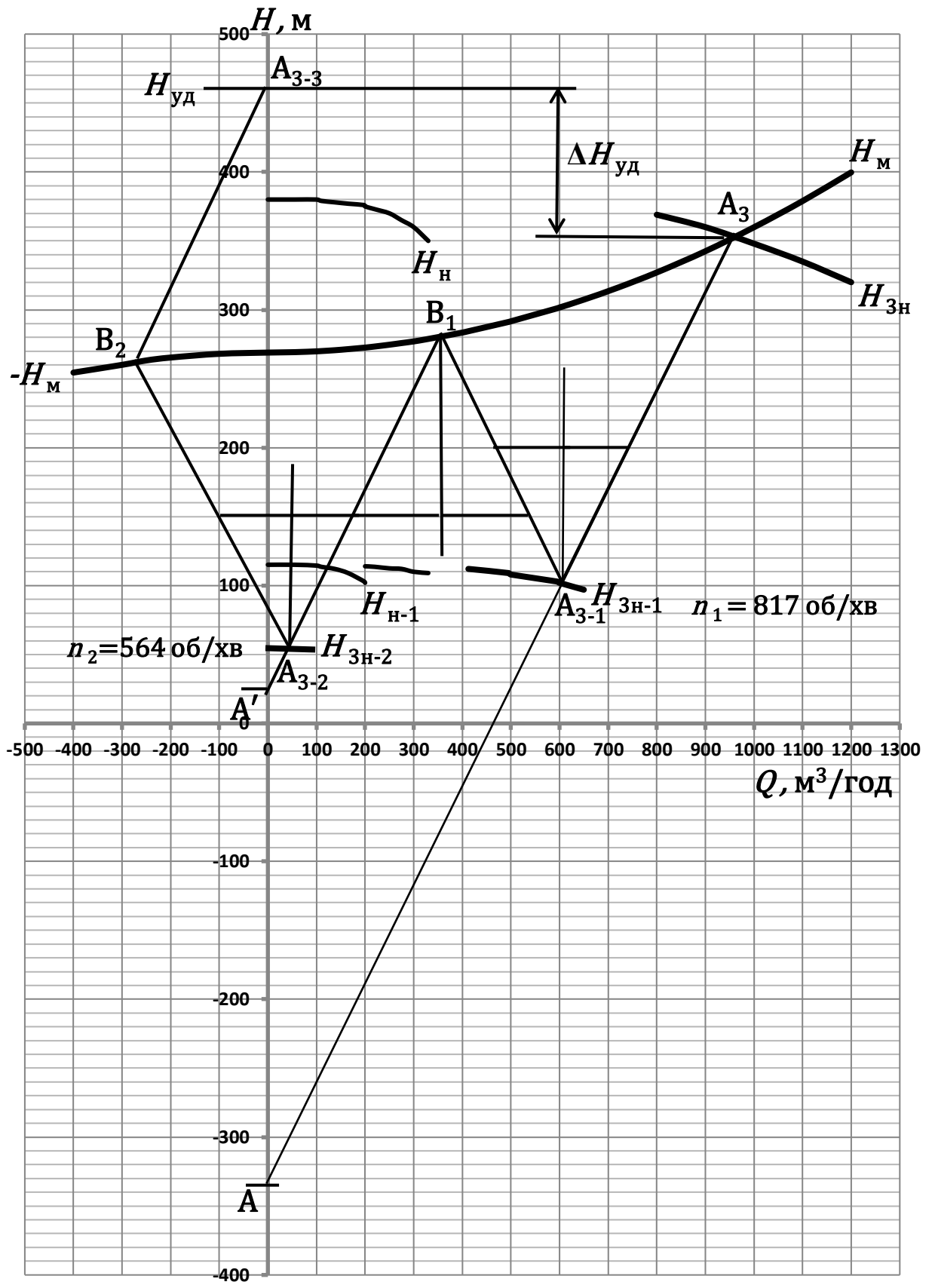


СХЕМА ЗАХИСТУ УСТАНОВКИ ВІД ГІДРАВЛІЧНОГО УДАРУ

