

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ЕНЕРГЕТИКИ, ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

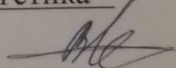
**Кваліфікаційна робота**  
другий магістерський

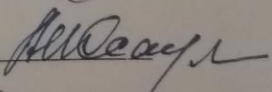
на тему « Аналіз можливості виміру витрати води через  
гідротурбіну за допомогою явища гідравлічного удару»

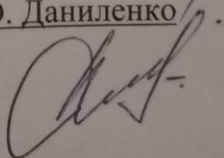
Виконав: студент  2  курсу, групи ГЕ-18-1мз

спеціальності  145 Гідроенергетика

освітньої програми  145 Гідроенергетика

Корабльов Віталій Геннадійович 

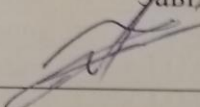
Керівник доцент, к.т.н. О.І. Осаул 

Рецензент нач. маш. цеху ДГЕС А.О. Даниленко 

**ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ ІНСТИТУТ**

Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій  
 Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики  
 Рівень вищої освіти другий магістерський  
 Спеціальність 145 – Гідроенергетика  
 Освітня програма 145 – Гідроенергетика  
 Спеціалізація 145 – Гідроенергетика

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
 Завідувач кафедри

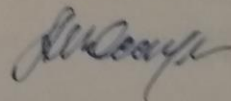
  
 \_\_\_\_\_ д.т.н Чейлитко А. О.  
 « 26 » \_\_\_\_\_ 12 \_\_\_\_\_ 2019 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

\_\_\_\_\_ Корабльову Віталію Геннадійовичу

1 Тема роботи (проекту) Аналіз можливості виміру витрати води через гідротурбіну за допомогою явища гідравлічного удару

керівник роботи \_\_\_\_\_ Осаул О.І. к.т.н., доцент



затверджені наказом ЗНУ від « 10 » \_\_\_\_\_ 09 \_\_\_\_\_ 2019 року 1537-с

2 Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_ 26 грудня 2019 року

3 Вихідні дані до роботи основні параметри діагностики виміру витрати води через гідротурбіну за допомогою явища гідравлічного удару

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які розробити) 1. Аналіз об'єкту дослідження. 2. Дослідження енергетичних випробувань. 3. Визначення характеристик гідромашини в установлених режимах та при перехідних процесах. 4. Дослідження гідравлічного удару. 5. Охорона праці та техногенна безпека

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових копій) 1. Попередній розріз турбіни ТРГ 2. Розріз спіралі камери з сталево-бронзовими деталлями 3. План механізму валів 4. Схема визначення кінетичної енергії машини 5. Гідромеханічний еквівалент лопаткової турбіною ПЛЧО 6. Турбогенератори

4 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Осаул О.І. к.т.н., доцент	М.Осаул 9.09.19	М.Осаул
Розділ 2	Осаул О.І. к.т.н., доцент	М.Осаул 7.10.19	М.Осаул
Розділ 3	Осаул О.І. к.т.н., доцент	М.Осаул 4.11.19	М.Осаул
Розділ 4	Осаул О.І. к.т.н., доцент	М.Осаул 6.11.19	М.Осаул
Розділ 5	Осаул О.І. к.т.н., доцент	М.Осаул 3.12.19	М.Осаул

5 Дата видачі завдання 10.09.2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Аналіз об'єкту дослідження	вересень
2	Дослідження енергетичних випробувань	жовтень
3	Визначення характеристик гідромашини в установленому режимі та при перехідних процесах	листопад
4	Дослідження гідравлічного удару	листопад
5	Охорона праці та техногенна безпека	грудень

Студент М.Осаул Корабльов В.Г.

Керівник роботи (проекту) М.Осаул Осаул.О.І.

Нормоконтроль пройдено  
 Нормоконтролер М.Осаул Каюков Ю. М.

## АНОТАЦІЯ

Корабльов В.Г. Аналіз можливості виміру витрати води через гідротурбіну за допомогою явища гідравлічного удару.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня освіти магістра за спеціальністю 145 – Гідроенергетика, науковий керівник О.І. Осаул. Інженерний інститут Запорізького національного університету. Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій, кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2020 рік.

В роботі наведено основні залежності, що дозволяють досліджувати і розроблять моделі явища гідравлічного удару для виміру витрати води крізь турбінний напірний водовід.

Ключові слова: ГІДРАВЛІЧНИЙ УДАР, НАПІР, ВИТРАТА, ОБ'ЄМ, ПОТУЖНІСТЬ, ВОДОВІД, ТИСК, КАВІТАЦІЯ.

## ABSTRACT

Korablyov V.G. Analysis of the possibility of measuring the flow of water through a turbine using the phenomenon of hydraulic shock.

Qualification graduation work for the degree of master's degree in specialty 145 - Hydropower, supervisor OI Osaul. Engineering Institute of Zaporizhzhya National University. Faculty of Energy, Electronics and Information Technology, Department of Thermal Power and Hydropower, 2020.

The basic dependences that allow to study and develop models of the phenomenon of hydraulic shock for measuring the flow of water through the turbine pressure conduit are presented in the work.

Key words: HYDRAULIC SHOCK, PRESSURE, COST, VOLUME, CAPACITY, DRAINAGE, PRESSURE, CAVITATION.

## АННОТАЦИЯ

Кораблев В.Г. Анализ возможности измерения расхода воды через гидротурбину с помощью явления гидравлического удара.

Квалификационная выпускная работа для получения степени образования магистра по специальности 145 - Гидроэнергетика, научный руководитель А.И. Осаул. Инженерный институт Запорожского национального университета. Факультет энергетики, электроники и информационных технологий, кафедра теплоэнергетики и гидроэнергетики, в 2020 год.

В работе приведены основные зависимости, позволяющие исследовать и разработать модели явления гидравлического удара для измерения расхода воды через турбинный напорный водовод.

Ключевые слова: ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР, НАПОР, РАСХОД, ОБЪЕМ, ПОТУЖНИСТЬ, ВОДОПРОВОД, ДАВЛЕНИЕ, КАВИТАЦИЯ.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	10
1.1 Проблематика витрат води та погрішності експлуатаційних характеристик на ГЕС.....	10
1.1.1 Основні компоненти стоку води, що враховуються на ГЕ.....	10
1.1.2 Методика обліку стоку води через гідроагрегати.....	13
1.1.3 Похибка експлуатаційних характеристик.....	15
1.1.4 Похибка виміру напору гідротурбін і облік витрат.....	16
1.1.5 Види похибок при вимірах, пов'язаних з визначенням напору гідротурбіни:.....	17
1.1.6 Сумарна похибка виміру напору на гідроелектростанції.....	19
1.1.7 Конструкції витратомірів, установлених на ГЕС.....	19
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ.....	20
2.1 Енергетичні випробування.....	20
2.1.1 Енергетичні випробування гідроагрегатів.....	20
2.1.2 Енергетичні випробування можуть виконуватися абсолютним і індексним методами.....	20
2.1.3 Енергетичні випробування за допомогою ультразвуку.....	22
2.1.4 Кількість випробувань.....	22
2.1.5 Випробування гідроагрегатів.....	22
2.1.6 Градування витрато-мірного створу.....	23
2.1.7 Випробування індексним методом.....	22
2.1.8 Відомості про індексний метод.....	24
2.1.9 Порівняння натурних характеристик.....	23
2.1.10 Витрати напору у водопровідному тракті.....	24
2.1.11 Випробування по визначенню оптимальної комбінаторної залежності.....	24
2.1.12 Порівняння фактичних та оптимальних залежностей випробувань.....	25

2.2 Вібраційні випробування.....	26
2.3 Випробування систем регулювання.....	26
2.3.1 Натурні випробування системи регулювання частоти обертання.....	27
2.3.2 Обсяг випробувань гідроагрегатів.....	26
2.4 Спеціальні випробування.....	28
2.5. Випробування гідрогенераторів.....	29
<b>3 ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГІДРОМАШИНИ В</b>	
<b>УСТАНОВЛЕНОМУ РЕЖИМІ ТА ПРИ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСАХ.....</b>	<b>29</b>
3.1 ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ.....	32
3.2 ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ВОДИ.....	40
<b>4 ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО УДАРУ.....</b>	<b>47</b>
4.1 Загальне положення.....	47
4.2 Метод гідравлічного удару.....	55
4.3 Види гідравлічних ударів.....	60
4.4 Розрахунки гідравлічного удару.....	61
4.5 Способи запобігання виникнення гідравлічних ударів.....	63
4.6 Міточний метод вимірювання витрат через турбіну.....	63
4.7 Ультрозвуковий метод вимірювання витрат води через турбіну.....	64
4.8 Досліджуванні установки їх компоненти и обладнання.....	73
<b>5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....</b>	<b>74</b>
<b>ВИСНОВОК.....</b>	<b>90</b>
<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....</b>	<b>91</b>

## ВСТУП

*Тема:* Аналіз можливості виміру витрати води через гідротурбіну за допомогою явища гідравлічного удару.

*Актуальність роботи.* Прискорений розвиток науково – технічного прогресу передбачає розширення і поглиблення наукових досліджень та можливості виміру витрати води через гідротурбіну за допомогою явища гідравлічного удару.

*Об'єкт дослідження* – процеси дослідження кавітаційних руйнувань на поверхні лопаті турбін.

*Предмет дослідження* – контроль утворення кавітаційного руйнування.

*Мета роботи* – дослідження і розробка моделі явища гідравлічного удару для виміру витрати води крізь турбінний напірний водовід.

*Задачі дослідження.* Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні задачі:

- аналіз літературних джерел за тематикою досліджень;
- дослідження гідроудару.

*Методи дослідження.* Поставленні задачі вирішувались шляхом проведення двох методів:

- математичного аналізу;
- імітаційного моделювання.

*Практична цінність роботи* полягає в виконанні розрахунків гідравлічного удару.



*Особистий внесок здобувача.* Теоретичні дослідження, виконані безпосередньо автором спільно із співробітниками Інженерного інституту Запорізького національного університету. Автору належать основні ідеї роботи, постановка завдання, обґрунтування основних припущень, теоретичні викладки та аналіз отриманих результатів і формулювання висновків за результатами проведених досліджень.

*Апробація роботи.* Положення роботи викладені на XXIII студентській науково – технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів Інженерного інституту Запорізького національного університету «Металургія та енергозбереження як основа сучасної промисловості» (м. Запоріжжя, 2018).

*Структура та обсяг роботи.* Магістерська робота включає вступ, 5 розділів, висновки та перелік джерел посилань на 40 позицій. Загальний обсяг складає 93 сторінок у тому числі 12 ілюстрацій та 6 таблиць.

## 1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1 Проблематика витрат води та погрішності експлуатаційних характеристик на Дніпровській ГЕС

#### 1.1.1 Основні компоненти стоку води, що враховуються на ГЕС

Стік води, що проходить через створ гідровузла, складається з витрат води через гідроагрегати; витрат, що скидаються через різні водопропускні спорудження (холості водоскиди, шлюзи, промивні галереї і т.д.); витрат на фільтрацію й різного роду витоків ( через нещільності затворів, закриті напрямні апарати гідротурбін, ворота шлюзів і т.п.) і витрат на власні потреби.

У загальному балансі стоку води через гідровузол ці компоненти не рівноцінні. Переважна більшість ГЕС каскадів, що особливо входять до складу, що й мають водоймища достатнього обсягу, пропускає в основному всю витрату води через гідротурбіни. Водоскидні спорудження працюють нетривалий час у паводковий період або під час зупинки гідроагрегатів (планової або аварійної) і тільки в тому випадку, якщо відсутній вільний обсяг водоймища.

На ряді ГЕС водоскиди включаються в роботу навіть не щороку, а лише в багатоводні паводки. Так на Дніпровській ГЕС востаннє незначні об'єми води через водозливну греблю скидались в 1994 році.

Фільтраційні витрати води під спорудженнями гідровузла й через земляні греблі, а також витрати через нещільності затворів і закриті напрямні апарати гідротурбін, як правило, щодоби не виміряються, а ухвалюються в якості постійної складової. Фільтраційні витрати визначаються розрахунковим шляхом або ухвалюються із проектних даних, або встановлюються на підставі досвіду експлуатації або натурних випробувань. Слід зазначити складність визначення даного виду витрат води через створ гідровузла, а в деяких випадках, коли витікання відбувається під рівень,

практично неможливе їх визначення.

Сумарні фільтраційні витрати від усіх видів витрат води на ГЕС при справних ущільненнях затворів і напрямних апаратів гідротурбін звичайно невеликі й становлять незначну частину загальної витрати через гідровузол; у деяких випадках ці витрати доцільно не враховувати взагалі, оскільки їх значення перебуває в межах точності вимірів витрат гідротурбін і водоскидів.

У випадках, коли витрати враховуються як постійне значення (незалежно від того, яким шляхом воно визначається), помилка в обліку стоку води від витрат практично не впливає на загальну погрішність визначення стоку води в створі гідровузла.

Тому з погляду збільшення точності обліку стоку води на ГЕС недоцільно розглядати кожен фільтраційну витрату окремо. Існуюча в цей час практика обліку цих витрат сумарним значенням може бути рекомендована й надалі при складанні водного балансу ГЕС [2,3,4 ]

На малих ГЕС, де іноді фільтраційні витрати становлять значну частку загального стоку, рекомендується натурне уточнення їх значення.

Для правильного обліку стоку води на ГЕС необхідно, щоб експлуатаційний персонал знав, з якою точністю в тих або інших умовах роботи ГЕС визначається середньодобова витрата води.

Для цього при складанні місцевих експлуатаційних інструкцій необхідна оцінка погрішностей, як окремих частин, так і всього сумарної витрати води в створі гідровузла.

Як показує досвід експлуатації, неправильно обрана методика навіть при наявності достовірних видаткових характеристик гідроагрегатів і водопропускних споруджень приводить до значних погрішностей в обліку стоку води на ГЕС [ 5,6]

### 1.1.2 Методика обліку стоку води через гідроагрегати

Залежно від типу гідроелектростанцій, кількості встановлених гідротурбін, характеру добового графіка навантаження, вимог точності й ряду інших факторів застосовується п'ять принципово мало одмінних один від іншого способів визначення середньодобових витрат води через гідротурбіни з використанням їх експлуатаційних характеристик.

Перший спосіб. За кожну годину доби визначаються, навантаження агрегату  $N$  (кВт) і робітничий напір  $H$  (м). За цим даними, користуючись експлуатаційною характеристикою, знаходять витрату води за кожну годину  $Q_4$  (м<sup>3</sup>/с).

Другий спосіб. По лічильнику виробітку електроенергії визначається середнє за добу навантаження гідроагрегату (або гідроагрегатів, якщо розрахунки ведеться для всіх гідротурбін відразу)

$$N_{ср} = \frac{\mathcal{E}}{t_p}, \quad (1.1)$$

де:  $N_{ср}$  - середнє за добу навантаження гідроагрегату, кВт;

$\mathcal{E}$  - виробіток гідроагрегатом (усіма гідроагрегатами) електроенергії за розрахунковий інтервал часу (доба), кВт·год.

По даним окремих вимірів рівнів верхнього й нижнього б'єфів визначається середній за добу робочий напір. Для отриманих середніх значень потужності й напору по видатковій характеристиці гідроагрегату визначається середньодобова витрата води через гідротурбіни.

Третій спосіб. По лічильникові виробітку електроенергії визначається середнє за час роботи навантаження гідроагрегату (або гідроагрегатів, якщо розрахунки ведеться для всіх гідротурбін відразу). Визначається середній за добу робочий напір. Для отриманих значень потужності й напору по видатковій характеристиці гідроагрегату визначається середня витрата води через гідротурбіну за час її роботи  $Q_{ср.р.}$

Четвертий спосіб. Аналогічний попередньому, але при визначенні середньої витрати за час роботи  $Q_{cp,p}$  напір ураховується як середнє значення за час роботи гідроагрегату, а не за середньодобовим значенням.

П'ятий спосіб. На ряді гідроелектростанцій є графіки розрахункових значень питомих витрат води на вироблену або відпущену електроенергію  $q$  [ $\text{м}^3/(\text{кВт}\cdot\text{год})$ ] залежно від напору  $q = f(H)$  або положення рівня води у верхньому б'єфі  $q = f(\Delta B.B)$ . При наявності таких графіків (при необхідності вони можуть бути спеціально побудовані) може бути запропонований наступний спосіб розрахунків середньодобових значень витрати води через гідротурбіну: за показниками електрولیчильників генераторів визначається добовий виробіток електроенергії  $E_{сут}$  (кВт·год) за графіком за отриманими значенням  $N_{cp}$  і середньодобового підпірного рівня (або напору) визначається середнє значення питомої витрати води  $q$  за дану добу,  $\text{м}^3/(\text{кВт}\cdot\text{год})$ .

Основним критерієм вибору того або іншого способу визначення середньодобової витрати є забезпечення необхідної точності одержуваного результату при мінімальних витратах на виробництво самих вимірів і наступних розрахунків.

Найбільш точним є перший спосіб, але він вимагає порівняно великої обчислювальної роботи - щогодинного виміру напору, потужності й визначення витрати. Особливо складні такі виміри на гідроелектростанціях які мають велику кількість гідроагрегатів. Тому цей спосіб застосовується в основному на ГЕС із малим числом гідроагрегатів.

Другий спосіб дає задовільні результати тільки при рівномірнім цілодобовім навантаженні гідроагрегатів. Якщо протягом доби гідроагрегат зупинявся або працював у режимі синхронного компенсатора, то визначення середньодобового навантаження розподілом виробітку на 24 години неминуче приведе до зменшення середньодобового навантаження й, отже, і витратам води.

Погрішність буде тим більше, чим менше в роботі перебував гідроагрегат. Наприклад, при зупинці гідроагрегату всього на 1 год. середньодобові витрати, будуть зменшені  $1/24$  частину, або 4 %.

Третій і четвертий способи практично рівноцінні по трудомісткості, однак, третій спосіб дає більшу помилку при добових коливаннях навантаження. П'ятий спосіб можливий при наявності графіків питомих витрат води.

Методика виробництва вимірів досить проста й надійна по точності, якщо протягом доби коливання рівня верхнього б'єфа (напору) буде незначним стосовно повного напору. При значних коливаннях напору значення питомих витрат будуть постійно мінятися, що природно ускладнює процес обліку стоку води.

Використання експлуатаційних характеристик для обліку витрати води через гідротурбіни припускає виміру потужності гідроагрегату й напору, при яким гідроагрегат працює, і знаходження по експлуатаційній характеристиці витрати води, відповідного до цих вимірів.

Однак при цьому можливі погрішності через неточність самої експлуатаційної характеристики, виміру потужності гідроагрегату й напору, а також через методичну помилку, пов'язану з неправильним підрахунком середньодобового значення витрати. Нижче розглядається кожна з перерахованих погрішностей [7]

### 1.1.3 Похибка експлуатаційних характеристик

Експлуатаційні характеристики, побудовані на підставі натурних енергетичних випробувань, забезпечують визначення витрати по них з погрішністю, що перебуває звичайно в межах (1...2) %. Якщо ж випробування турбін не проводилися й гідроелектростанція розташовує тільки заводськими характеристиками, визначення витрати може бути менш

точним. У середньому, як показують численні перевірки, відхилення заводських даних від фактичних (натурних) звичайно не перевищує (2...3) % з тою же погрішністю буде визначатися по них витрата.

Однак в окремих випадках відхилення заводських значень ККД від фактичних може досягати (4...6) % і більше через зношування робочих коліс і проточної частини, порушення оптимальної комбінаторної залежності в турбін поворотно-лопатевого типу й по інших, причинах.

При оптимальній комбінаторній залежності відкриття напрямного апарата гідротурбіни перебуває в такому співвідношенні з кутом розвороту лопаток робочого колеса, що при будь-якому режимі роботи гідроагрегату має місце максимальне значення ККД.

Заводські характеристики побудовані саме для оптимальної комбінаторної залежності. Визначення витрати через гідротурбіну, у якій порушена оптимальна комбінаторна залежність, буде завжди приводити до заниження значення витрати в порівнянні з, що фактично пропускається.

Ступінь заниження витрати залежить від того, наскільки велика розбіжність між фактичною комбінаторною залежністю й оптимальною. Графіки питомих витрат води, які використовуються для обліку середньодобового стоку через гідроагрегати (п'ятий спосіб), будуються на підставі наявних експлуатаційних характеристик гідроагрегатів. Відповідно все вищенаведене про погрішності експлуатаційних характеристик відноситься й до графіку питомих витрат.

#### 1.1.4 Похибка виміру напору гідротурбін і облік витрат

Значна погрішність визначення витрати води через гідротурбіну може виникнути через неправильне або неточного визначення дійсного напору гідротурбіни.

Особливо істотна ця помилка на низьконапірних гідроелектростанціях, тому що та сама абсолютна погрішність виміру напору у відсотковому

відношенні для низьконапірних гідроелектростанцій (напір до 20 м) більше, ніж для середньонапірних (до 70 м) та високонапірних (більш 70 м).

Сумарна погрішність визначення напору гідротурбін складається з погрішностей виміру рівнів води верхнього й нижнього б'єфів, визначення втрат напору на сміттеутримувальних решітках, визначення втрат напору по довжині водопровідного тракту, через неврахування ежекційного ефекту й згонно-нагонних явищ (вітровий донивеляцій).

Перераховані погрішності можуть мати різне значення й знак залежно від місцевих умов і кваліфікації експлуатаційного персоналу, що проводить виміри. Значення погрішності може коливатися в широких межах, які заздалегідь важко встановити через різноманіття причин, що впливають на неї.

При вимірі напору на кожному гідровузлі не завжди мають місце всі перераховані погрішності. Частіше переважають дві-три погрішності, а інші взагалі відсутні або настільки малі, що можуть не враховуватися, оскільки практично не виявляють впливу на остаточний результат.

#### 1.1.5 Види похибок при вимірах, пов'язаних з визначенням напору гідротурбіни

1. Виміру рівня води в б'єфах і погрішності вимірювальних приладів: Похибка виміру через прилади характеризується їхнім класом і умовами експлуатації. Можливі погрішності через зміщення нуля відліку й через неправильну установку або налагодження їх не розглядаються, тому що вони не характеризують точність самого приладу, а свідчать тільки про його несправності, недоліках його налагодження або експлуатації. Періодичними ревізіями й калібруванням такі погрішності необхідно виявляти й усувати.

2. Визначення втрат напору на сміттезатримувальних решітках. На гідроелектростанціях з малим числом гідроагрегатів (три - п'ять) втрати на сміттезатримувальних решітках можуть ураховуватися для кожного агрегату



окремо по фактично обмірюванім значенню. Найбільше зручно вимірювати їх за допомогою водомірних рейок.

3.Визначення втрат напору по довжині водопровідного тракту. На високонапорних гідроелектростанціях, або що мають довгий дериваційний трубопровід, втрати напору по довжині можуть бути значними й неправильний облік їх приведе до помилки у вимірі напору.

Як відомо, втрати напору по довжині водопровідного тракту пропорційні квадрату швидкості потоку. Вони звичайно визначаються під час спеціальних гідроенергетичних випробувань гідроагрегатів або в процесі експлуатації й повинні обов'язково враховуватися при побудові видаткових експлуатаційних характеристик турбін. А якщо ні, то це може привести до неправильного підрахунку витрат води через турбіну й навіть впливати на розташовувану потужність гідроелектростанції.

В експлуатаційних умовах втрати по довжині напірного тракту визначаються за показниками двох манометрів, установлених на початку й наприкінці водопровідного тракту. Загальні втрати (м) по довжині водопровідного тракту визначаються рівнянням

$$h_w = \left( z_1 + p_1 + \frac{v_1^2}{2g} \right) - \left( z_2 + p_2 + \frac{v_2^2}{2g} \right), \quad (1.2)$$

де:  $Z_1$  і  $Z_2$  - положення манометра на початку й кінці водопровідного тракту;

$p_1$  і  $p_2$  - статичний напір (відлік по манометру) на початку й кінці водопровідного тракту;

$i$  - швидкісний напір (у перетині, де встановлений манометр) на початку й кінці водопровідного тракту).

### 1.1.6 Сумарна похибка виміру напору на гідроелектростанції

Різні погрішності, що виникають при визначенні середньодобового напору на гідроелектростанції, мають різні знаки, значення й можуть носити систематичний або випадковий характер залежно від місцевих умов.

На кожній гідроелектростанції можуть бути не всі розглянуті види погрішностей, звичайно один-два види є переважними, а інші мало впливають на остаточний результат і можуть зовсім не враховуватися.

Основні погрішності на низько, середньо та високонапорних гідроелектростанціях склали відповідно: 1,8; 1,2 і 0,6% - через визначення напору без обліку втрат на сміттєзатримувальних решіток, додаток 1; 4,2 і 1 % - через визначення середньодобового напору по:

середньоарифметичному значенню (1...2) % - через інструментальну погрішність (2...8) % - через неврахування ефекту ежекції на сполучених гідроелектростанціях.

### 1.1.7 Конструкції витратомірів, установлених на ГЕС

На ГЕС використовуються витратоміри двох типів: засновані на принципі виміру перепаду тиску у двох точках спіральної камери (або водоводу, який підводить воду) і по ступеню відкриття регулювальних органів гідротурбіни або затворів гідротехнічних споруджень. У цей час розроблена система визначення витрати й стоку води по потужності з корекцією по напору.

Метод виміру витрати води через гідротурбіну по перепаду тисків у спіральній камері ґрунтується на квадратичній залежності витрати від тиску

$$Q_{\text{сп}} = \frac{\sum Q_v}{24}, \quad (1.3)$$

де  $Q$  - витрата води, м<sup>3</sup>/с.

Принцип обліку витрати води по ступеню відкриття регулювальних органів гідротурбіни або відкриття затвора гідротехнічного спорудження заснований на однозначній залежності положення регулювальних органів гідротурбіни або затвора водоскиду від витрати при постійному напорі.

При зміні напору міняється й витрата, що пропускається гідротурбіною або водоскидом. При незначній зміні напору співвідношення витрати й напору виражається залежністю таких образів, сам принцип роботи витратомірів по ступеню відкриття регулювальних органів припускає використання їх в умовах, коли напір постійний або коливання його стосовно повного незначно й не приводить до помітних погрішностей.

Визначення витрати й стоку по активній потужності генератора з корекцією по напору засноване на використанні витрато-потужних характеристик гідроагрегатів. Ця система так само, як і система виміру витрати по перепаду тисків у двох точках спіральної камери, має найбільший ступінь уніфікації й може бути реалізована повністю на апаратурі вітчизняних заводів.

Найбільш перспективні комплекти витратомірів на базі апаратури Державної системи приладів (ДСП).

## 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ

### 2.1 Енергетичні випробування

#### 2.1.1 Енергетичні випробування гідроагрегатів

Енергетичні випробування гідроагрегатів проводяться з метою:

- перевірки відповідності фактичних значень максимального ККД і максимальної потужності гідротурбіни відповідно гарантованим заводом-виготовлювачем турбіни значенням;
- одержання натурних енергетичних характеристик — потужності робочої, видаткової й експлуатаційної, а також подачі в насосному режимі роботи гідроагрегатів ГАЕС;
- визначення оптимальної комбінаторної залежності поворотно-лопатевих гідротурбін і перевірки її відповідності встановленому комбінаторному зв'язку;
- визначення ефекту від підвищення ККД і потужності після заміни або модернізації турбінного устаткування.

2.1.2 Енергетичні випробування можуть виконуватися абсолютним і індексним методами

Абсолютний метод передбачає визначення фактичних (абсолютних) значень ККД. При індексному методі визначається індексне, або відносне значення ККД, тобто ступінь залежності ККД від потужності. При проведенні випробувань слід керуватися вимогами ДЕРЖСТАНДАРТ 28842-90 і Міжнародних правил натурних приймальних випробувань по визначенню гідравлічних характеристик турбін, акумулюючих насосів і оборотних турбін.

### 2.1.3 Енергетичні випробування за допомогою ультразвуку

При проведенні випробувань абсолютним методом рекомендується використовувати найбільш відпрацьований у вітчизняній практиці метод « площа-швидкість », при яким витрата води визначається інтегруванням поля місцевих швидкостей, вимірюваних гідрометричними вертушками. При цьому випробування слід проводити при напорі, близькому до розрахункового.

За домовленістю між замовником і заводом-виготовлювачем гідротурбіни при випробуваннях може бути застосований ультразвуковий спосіб виміру витрати води.

### 2.1.4 Кількість випробувань

Кількість випробовуваних по п. 2.3 гідроагрегатів рекомендується затверджувати: для ГЕС із кількістю встановлених або модернізованих гідроагрегатів до 4 — 1, від 5 до 10 - 2, від 11 до 20 і більш - 3.

У випадку установки на одній ГЕС різнотипного устаткування або устаткування, що має істотну відмінність у конструкції окремих вузлів ( робочого колеса турбіни, спіральної камери, відсмоктувальної труби та ін.), кількість випробовуваних гідроагрегатів повинне бути збільшена. Це поширюється й на гідроагрегати з різним компонуванням у будівлі ГЕС.

### 2.1.5 Випробування гідроагрегатів

Випробування гідроагрегатів рекомендується випробовувати абсолютним методом тільки в тому випадку, коли може бути забезпечене виконання всіх вимог, пропонованих до вимірювального створу за ДСТ 28842-90. При неможливості виконання зазначених вимог доцільність

проведення випробувань вирішується в кожному конкретному випадку. При цьому повинні бути прийняті в увагу результати модельних випробувань гідротурбіни, проведених на моделі, відповідної до проточної частини гідротурбінного блоку: і результати вхідного контролю геометричних розмірів робочого колеса.

#### 2.1.6 Градуювання витрато мірного створу

При проведенні випробувань абсолютним методом повинна бути виконана градуювання витрато-мірного створу спіральної камери, яка може бути використана для визначення енергетичних характеристик у повному діапазоні змін напору шляхом проведення випробувань індексним методом.

#### 2.1.7 Випробування індексним методом

Для проведення випробувань індексним методом необхідна наявність як мінімум двох п'єзометричних виводів зі спіральної камери, розташованих у тому самому радіальному її перетині, один з яких розміщується на зовнішньому радіусі спіралі, іншої — на внутрішньому радіусі статорних колон.

Градувальне рівняння витрато-мірного створу спіральної камери, обумовлене за результатами випробувань абсолютним методом, установлює залежність перепаду тисків між двома виводами від витрати води й дозволяє тому обчислювати значення фактичної витрати води.

При відсутності градувальне рівняння слід ухвалювати, що витрата води пропорційна кореню квадратному з перепаду тисків, тобто показник ступеня рівний 0,5.

При цьому індексний метод дає досить надійні результати при випробуванні радіально-осьових турбін з металевою спіральною камерою. При випробуванні поворотно-лопатевих турбін з бетонною спіральною

камерою слід уточнити прийняте значення показника ступені шляхом використання іншої пари виводів, виміром середньої швидкості потоку й іншими способами. А якщо ні, то індексний спосіб слід використовувати тільки для визначення оптимальної комбінаторної залежності.

#### 2.1.8 Відомості про індексний метод

Випробування індексним методом повинні проводитися на всіх гідроагрегатах ГЕС не менш ніж при трьох значеннях напорів, що охоплюють повний діапазон їх зміни ( при виконанні гарантій заводу-виготовлювача по висоті відсмоктування).

При виконанні робіт з модернізації гідротурбінного устаткування рекомендується виконувати випробування індексним способом як старої, так і нової встановленої гідротурбіни.

За результатами випробувань будується експлуатаційна характеристика гідроагрегату, на якій повинні бути зазначені або фактичні значення ККД, або прогнозовані значення ККД в абсолютних одиницях ( отримані з умови рівності максимального значення індексного КПД максимальному значенню ККД, гарантованому заводом-виготовлювачем)[20]

#### 2.1.9 Порівняння натурних характеристик

Для можливості порівняння натурних характеристик гідроагрегату із заводськими характеристиками необхідно: потужність і ККД гідроагрегату перерахувати для гідротурбіни, ухвалюючи значення ККД генератора згідно із заводськими гарантіями; обмірювані значення потужності й витрати води привести по формулах подібності до постійного напору гідротурбіни.

### 2.1.10 Витрати напору в водопровідному тракті

У процесі енергетичних випробувань повинні бути визначені витрати напору у водопровідному тракті.

Для дериваційних ГЕС і складної системи споруджень, що підводять воду, втрати напору повинні визначатися окремо по кожній ділянці, а потім підсумовуватися. Отримані значення втрат напору слід зрівняти з розрахунковими даними.

### 2.1.11 Випробування по визначенню оптимальної комбінаторної залежності

Випробування по визначенню оптимальної комбінаторної залежності поворотно-лопатевих гідротурбін повинні проводитися на всіх, що знову введені в експлуатацію гідроагрегатах, а також після заміни або модернізації турбінного встаткування не менш ніж при трьох значеннях напорів, що охоплюють повний діапазон їх зміни.

Випробування слід виконувати індексним методом. При цьому гідроагрегат повинен працювати на ручному регулюванні з роз'єднаним комбінаторним зв'язком.

Оптимальні по ККД співвідношення між відкриттями напрямного апарата й кутами розвороту лопат робочого колеса одержують із пропелерних характеристик.

Кожна така характеристика являє собою залежність індексного ККД від потужності гідроагрегату при незмінному куті розвороту лопат. У деяких випадках таку характеристику зручніше будувати при незмінним відкритті напрямного апарата.

При відсутності п'єзометричних виводів допускається визначати оптимальну комбінаторну залежність методом постійної потужності. У



цьому випадку точка оптимуму визначається по лінії постійної потужності, що представляє собою залежність між кутом розвороту лопатей і відкриттям напрямного апарата за умови підтримки постійної потужності гідроагрегату.

#### 2.1.12 Порівняння фактичних та оптимальних залежностей випробувань

Отримані в результаті випробувань графіки оптимальних комбінаторних залежностей слід зрівняти з рекомендованими заводом-виготовлювачем і фактичними комбінаторними залежностями. При невідповідності фактичних і оптимальних комбінаторних залежностей слід виконати налагодження комбінаторного зв'язку. При більших невідповідностях, що не усуваються налагодженням, слід змінити профіль просторового кулачка комбінатора або зробити перепрограмування пристрою, що задає комбінаторну залежність.

### 2.2 Вібраційні випробування

Вібраційні випробування гідроагрегатів проводяться з метою:

- визначення вібраційного стану гідроагрегату й перевірки відповідності рівня вібрації нормам;
- одержання вібраційних характеристик гідроагрегату в експлуатаційних режимах його роботи;
- визначення зони припустимих режимів роботи гідроагрегату;
- визначення при підвищеному рівні вібрації наявності механічних, електричних або гідравлічних сил, що збурюють вібрацію.

Вібраційні випробування проводяться на кожному змонтованому гідроагрегату в період дії гарантій заводів-виготовлювачів гідротурбіни й гідрогенератора.

Результати вібраційних випробувань є вихідним матеріалом по оцінці вібраційного стану гідроагрегату в цілому.

При проведенні вібраційних випробувань при необхідності вимірюються також показники, які можуть бути важливими для аналізу вібраційного стану гідроагрегату (наприклад, пульсація тиску в різних точках проточного тракту гідротурбіни, ЕДС витка в зазорі між ротором і статором генератора й ін.).

Оцінку рівня биття вала слід робити порівнянням результатів вимірів із граничними значеннями, установленими заводами-виготовлювачами турбіни й генератора й зазначеними в місцевих інструкціях для експлуатації.

У випадку незадовільної оцінки вібраційного стану гідроагрегату за результатами випробувань слід провести спеціальні випробування по визначенню причин підвищеної вібрації від наявності механічних, електричних або гідравлічних сил, що збурюють вібрацію.

## 2.3 Випробування систем регулювання

### 2.3.1 Натурні випробування системи регулювання частоти обертання

Натурні випробування системи регулювання частоти обертання проводяться:

- з метою перевірки відповідності її технічних характеристик технічним умовам поставки й паспортним даним регулятора, перевірки виконання гарантій регулювання і якості процесів регулювання частоти й активної потужності. Випробування повинні проводитися відповідно до вимог Міжнародного коду для випробування систем регулювання гідравлічних турбін.

### 2.3.2 Обсяг випробувань гідроагрегатів

Найбільш повний обсяг випробувань повинен бути виконаний при введенні гідроагрегатів в експлуатацію на нових об'єктах або після заміни системи регулювання на діючих гідроагрегатах. Він повинен містити в собі:

- перевірку регулятора на відповідність технічним даним заводу-виробника;
- зняття характеристик зворотних зв'язків від сервомоторів напрямного апарата й робочого колеса;
- визначення часу відкриття й закриття напрямного апарата й розвороту й згортання лопатей робочого колеса;
- визначення часу закриття напрямного апарата від золотника аварійного закриття;
- визначення зусиль сервомоторів напрямного апарата й робочого колеса;
- визначення якості процесу регулювання частоти при роботі гідроагрегату на холостому ході й під навантаженням в ізольованому енергетичному районі;
- перевірку виконання гарантій регулювання при скиданнях навантаження.

При введенні гідроагрегатів в експлуатацію після модернізації зі збереженням колишньої системи регулювання обсяг випробувань залежить від характеру виконаних при модернізації робіт. Випробування по перевірці виконання гарантій регулювання при скиданнях навантаження повинні виконуватися на кожному послі, що вводиться, монтажу гідроагрегату.

У процесі пуску гідроагрегату повинні бути перевірені встановлювані регулятором пускове відкриття напрямного апарата й пусковий кут розвороту лопат робочого колеса, а також відкриття холостого ходу.

Випробування масло напірних установок (МНУ) проводяться в наступному обсязі:

- визначення витрат масла в системі регулювання й витоків повітря з акумулятора тиску;
- перевірка циклічності роботи масляних насосів МНУ.

## 2.4 Додаткові випробування

В обсяг натурних випробувань гідроагрегатів при здачі в експлуатацію можуть при необхідності додатково входити:

- випробування по з'ясуванню причин підвищеної вібрації й биття вала гідроагрегату;
- випробування повітряної системи переходу гідроагрегатів у режим синхронного компенсатора;
- випробування напрямних підшипників і підп'ятника гідроагрегату;
- випробування системи технічного водопостачання;
- випробування на міцність конструктивних елементів гідротурбіни й генератора;
- випробування по визначенню кавітаційного запасу гідротурбіни;
- гідравлічні випробування з вимірами пульсацій тисків у проточному тракті гідротурбіни;
- вібраційні випробування металевих напірних трубопроводів гідроелектростанцій;
- випробування по визначенню витрат через напрямний апарат гідротурбіни й ін.

Спеціальні випробування необхідно проводити відповідно до діючих галузевих методичних вказівок. У випадку їх відсутності програма випробувань розробляється спеціалізованою організацією, узгоджується із заводом-виготовлювачем, на устаткуванні якого проводяться випробування, і затверджується замовником.

## 2.5. Випробування гідрогенераторів

Кожний гідрогенератор і генератор-двигун, що працює в парі з гідротурбіною, після закінчення монтажу повинен пройти приймально-здавальні випробування відповідно до вимог РД 34.45-51.300-97 і ДЕРЖСТАНДАРТ 5616-89 .

Випробування гідрогенераторів і генераторів-двигунів повинні проводитися замовником разом із заводом-виготовлювачем по погодженій ними програмі. Замовник може залучати до проведення випробувань спеціалізовані науково-дослідні й налагоджувальні організації, що мають ліцензію на проведення випробувань.

По проведених приймально-здавальних випробуваннях складається технічна документація, яка при прийманні ГЕС в експлуатацію або при здачі заміненого або модернізованого гідроагрегату на діючої ГЕС представляється приймальної комісії замовника.

## 3 ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГІДРОМАШИНИ В УСТАНОВЛЕНОМУ РЕЖИМІ ТА ПРИ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСАХ

Визначення ККД включає спільні виміри витрати, питомої енергії води, електричної або механічної потужності й частоти обертання.

Допускається визначення ККД термодинамічним методом.

При проведенні натурних випробувань допускається визначення ККД за результатами індексних випробувань.

Для оцінки потужності потоку необхідно знати питому енергію води й масову витрату через контрольний перетин на СВД, при цьому враховують:

1. Оскільки масова витрата через контрольний перетин на СВД може відрізнитися від витрати через вимірювальний перетин, усі припливи й

відводи води із системи між цими перетинами, не пов'язані з нормальною роботою установки, під час випробування повинні бути перекриті.

Виправлення  $\Delta Ph$  урахує відбори потужності потоку, необхідні для нормальної роботи гідромашини.

При визначенні знака виправлення  $\Delta Ph$  (плюс або мінус) слід урахувати:

1) яка зміна (зменшення або збільшення) потужності потоку відбувається між контрольними й вимірювальними перетинами на СВД і СНД;

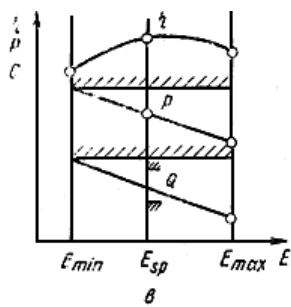
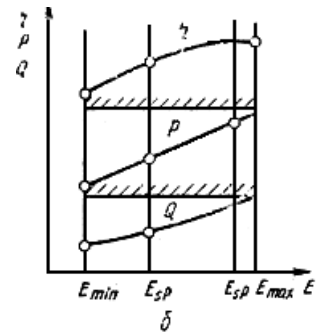
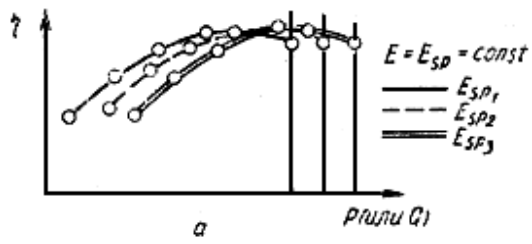
2) чи використовуються відбори потужності потоку для забезпечення нормальної роботи гідромашини;

2. Для оцінки виправлення  $\Delta Ph$  потрібно знати масову витрату, що приділяється або воді що підводиться й відповідні питомі енергії води, які можуть відрізнитися від питомої енергії води в гідромашині ( $E$ ), особливо в багатоступінчастих гідромашинах.

Спеціальні виміри витрат для визначення виправлення  $\Delta Ph$ , як правило, не проводять, тому що відбори води, що забезпечують нормальну роботу гідромашини, мають конкретне призначення (наприклад для охолодження підшипників), втрати, що тому відповідають, потужності потоку легко розраховують;

3. Для оцінок ККД при застосуванні термодинамічного методу визначення гідравлічної потужності не потрібно. Однак витрата води на допоміжні потреби необхідно враховувати

Для графічного відображення результатів випробувань у вигляді кривої план експерименту повинен містити не менш шести точок (див. рис. 3.1 а). Кожна точка кривої є результатом одного або декількох досвідів. Число спостережень при вимірі під час досвіду залежить від застосованого методу виміру, але при використанні показів вимірювальних приладів протягом досвіду повинне бути записане не менш п'яти показань для можливості наступної статистичної обробки результатів



а - регульована турбіна,

б - нерегульована турбіна;

в - насос

Рисунок 3.1 - Основні залежності  $n = n_{sp} = const$

## 3.1 ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Приклад плану випробувань експерименту представлено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 Приклад оформлення результатів випробувань

Найменування операції або сукупності операцій	План експерименту				Найменування результату операцій	Форма викладення результату
	Номер крапки плану (т.е. режиму роботи машини)	Умови досліджу (параметри режиму)		Число дослідів у точці плану (число точок експерименту)		
		$H$	$A_o$			
1. Випробування:				Наприклад 8 (щоб одержати криву)	Результат випробувань	Таблиця значень або крива залежності фізичних величин (характеристик)
1.1. Дослід 1	1	$H_1$	$A_{o_1}$	1	Дослідчене значення	Точка кривої
1.1.1. Вимір питомої енергії потоку води:				1	Результати виміру (обмірюване значення)	Число
1.1.2. Вимір витрати води:					Результат виміру (обмірюване значення)	Число
перше спостереження					Результат спостереження	Число
...					показання приладу, запис приладу, що реєструє)	
$n$ -е спостереження						
1.2. Досвід 2	2	$H_2$	$A_{o_2}$	1		



У цьому випадку доцільно регулювати тривалість інтервалу між спостереженнями так, щоб кожний вимір містив однакове число спостережень, але не менш п'яти.

При застосуванні методу гідроудару запис діаграми залежності тиску від часу починають через 15с часу останнього спостереження.

Визначення характеристик гідромашини проводять одним із двох способів. Спосіб А - у кожній точці плану експерименту проводять один досвід, за результатами якого будують криву експерименту.

Спосіб Б - в одній або декількох точках плану експерименту проводять кілька дослідів.

При застосуванні способу А заходом якості вимірів є відхилення індивідуальних крапок від кривої найкращого наближення.

При застосуванні способу Б заходом якості є відхилення результатів окремих дослідів від середнього арифметичного значення.

Якщо в технічному завданні встановлене максимальне значення ККД, то необхідні умови дослідів (режими випробувань) установлюють після попередніх індексних випробувань.

Застосування способу А застосовують, коли необхідно одержати ряд кривих для різних режимів роботи або коли умови досвіду не можуть підтримуватися постійними досить тривалий час.

У програмі встановлюють:

- діапазон режимів експлуатації, у якому необхідно провести випробування;
- число й порядок проведення дослідів;
- частоту обертання й положення регулювальних органів гідромашини;
- необхідність проведення додаткових індексних випробувань.

Спосіб Б застосовують, коли умови досвіду можуть підтримуватися постійними протягом тривалого часу, достатнього для визначення характеристик гідромашини в заданих режимах роботи.

В одній і тій же точці плану експерименту повинне бути проведене не менш п'яти дослідів. У різних точках плану експерименту повинне бути проведена однакова кількість дослідів.

У програмі встановлюють:

- число й порядок проведення дослідів;
- частоту обертання й положення регулювальних органів;
- необхідність проведення додаткових індексних випробувань.

Співвідношення регулювання для турбін подвійного регулювання визначають оптимальне співвідношення між відкриттями лопаток напрямного апарата й кутами установки лопат робочого колеса. Оптимальне співвідношення визначають шляхом проведення дослідів при п'яти або більшому числі відкриттів лопаток напрямного апарата для кожного фіксованого кута установки лопат робочого колеса. Оптимальне співвідношення визначають або за результатами попередніх індексних випробувань, або за результатами визначення абсолютного значення ККД

Випробування насосів виконують при комбінації значень відкриттів напрямного апарата й кутів установки лопатей робочого колеса, установлені в технічному завданні. Для насоса подвійного регулювання оптимальне співвідношення між відкриттями напрямного апарата й кутами установки лопатей робочого колеса визначають відповідно до п. 3.4. Для забезпечення необхідних умов дослідів допускається застосовувати зміну витрати шляхом дроселювання й (або) зміна частоти обертання.

Лінійне демпфірування. Для виключення впливу коливань вимірюваної величини на показання вимірювальних приладів при коливаннях значень вимірюваної величини із частотою більш 1 Гц застосовують лінійне демпфірування.

Результати досвіду вважають недостовірними, якщо в процесі виконання досвіду відбулася різка зміна значення вимірюваної величини.

Результати досвіду вважають достовірними, якщо в процесі виконання досвіду зміни значень обумовлених величин не перевищували:

- для потужностей - (1,5 % середнього значення);
- для питомої гідравлічної енергії - (1 % середнього значення);
- для частоти обертання - (0,5 % середнього значення).

Під час дослідів відносини середніх значень питомої гідравлічної енергії  $E$  и частоти обертання  $n$  до відповідних до значень, установлених у технічному завданні ( $E_{sp}$  і  $n_{sp}$ ), повинні перебувати в межах

$$E = (0,8, \dots, 1,2)E_{sp}; \quad (4.1)$$

$$n = (0,9, \dots, 1,1)n_{sp}. \quad (4.2)$$

Відношення  $n/\sqrt{E}$  повинне перебувати в межах  $(0,97, \dots, 1,03) \cdot n_{sp}/\sqrt{E_{sp}}$ .

Для реактивної турбіни кавітаційний запас  $NPSE$  повинен бути не менш значення, зазначеного в технічному завданні. Якщо фактична середня питома енергія  $E$  і (або) частота обертання відрізняються від значень, зазначених у технічному завданні, необхідно мати криву залежності мінімальної припустимої величини відносини  $NPSE/E$  як функції від  $E$ . Дійсне значення відносини  $NPSE/E$  не повинне лежати нижче цієї кривої.

Для активних турбін максимальний рівень нижнього б'єфа не повинен перевищувати значення, зазначеного в технічному завданні.

Перехідний процес (наприклад, скидання навантаження, втрата привода й т.п.) викликає зміни тиску й частоти обертання, що залежать від типу гідромашини та від характеру руху регулювальних органів (наприклад, лопаток напрямного апарата, голок і (або) затворів). У деяких випадках (наприклад, для насосів-турбін) можуть виникати значні по амплітуді пульсації тиску, прямо не пов'язані зі зміною режиму. Можливість появи додаткових пульсацій відображають у технічному завданні.

По можливості випробування гідромашини проводять при застережених найгірших умовах, які визначають розрахунковим шляхом для кожної гідростанції окремо.

Частота обертання турбіни. У більшості турбін найбільший миттєвий закид частоти обертання виникає після скидання максимального навантаження.

розгінна частота, що встановилась, обертів звичайно не досягається, тому що система захисту впливає на регулювальні органи.

Не рекомендується проводити випробування на розгінну частоту обертання, що встановилась.

Максимальний миттєвий тиск на стороні високого тиску (СВТ) і мінімальний миттєвий тиск на стороні низького тиску (СНТ) турбіни виникають у процесі скидання навантаження від номінального значення до нуля й зупинки гідромашини. Мінімальний миттєвий тиск на СНТ і максимальний миттєвий тиск на СВТ виникають у процесі руху регулювального органа на відкриття, починаючи із закритого положення або з положення, відповідного до холостого ходу гідромашини.

У насосів мінімальний і максимальний тиск на СВТ і на СНТ виникають після втрати привода при нормальному процесі закриття вхідного затвора.

Зміни тиску й частоти обертання залежать від руху регулювальних органів, тому значення цих трьох величин реєструють одночасно.

Погрішність зміни частоти обертання  $(fn)_t$  не повинна виходити за межі  $\pm 1,0\%$ .

Для реєстрації змін тиску використовують електричні перетворювачі тиску або індикатори пружинного типу. Перетворювачі тиску повинні бути нечутливі до механічних вібрацій і повинні бути встановлені врівень зі стінкою водовода. Якщо перетворювач не може бути встановлений безпосередньо у водоводі, то сполучні трубки повинні бути прямими й

можливо більш короткими. Трубки виготовляють із металу, застосування гнучких трубок не допускається. До початку виміру зі сполучних трубок повинен бути вилучене повітря.

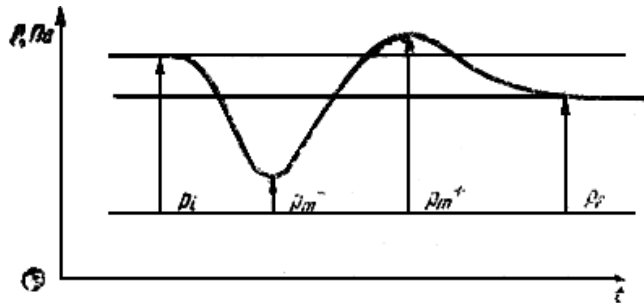


Рисунок 5.1 - Зміна тиску в контрольному перетині на СВТ насоса при втраті привода

Верхня межа вимірюваних частот пульсацій тиску встановлюється у програмі. Вимірювальна система (включаючи перетворювач і сполучні трубки) повинна передавати пульсації тисків, частота яких лежить нижче цієї межі без викривлень, викликаних демпфіруванням або резонансом. Пульсації тиску з більш високими частотами усувають фільтрами.

Погрішність виміру тиску  $fd$  повинна бути в межах  $\pm 100p \cdot 0.25\%$  (де  $p$  - тиск, Па):

- для регульованих турбін при заданій частоті обертання й при кожній заданій питомій енергії води – ККД від потужності або ККД від витрати; потужності від витрати; витрати й потужності від відкриття лопаток прямого апарата або сопел;

- для нерегульованих турбін або насосів при заданій частоті обертання – ККД від питомої енергії води; витрати від питомої енергії води (насоси) або потужності від питомої енергії води (нерегульовані турбіни).

З метою визначення комбінаторної залежності для гідромашин з рухливими лопатями прямого апарата (НА) діаграми залежностей повинні бути побудовані для різних кутів установки лопатей

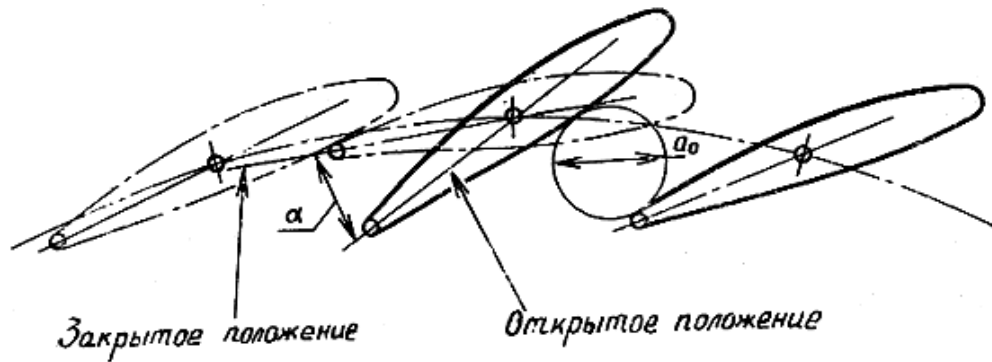


Рисунок 5.2 - Відкриті лопаті направляючого апарата

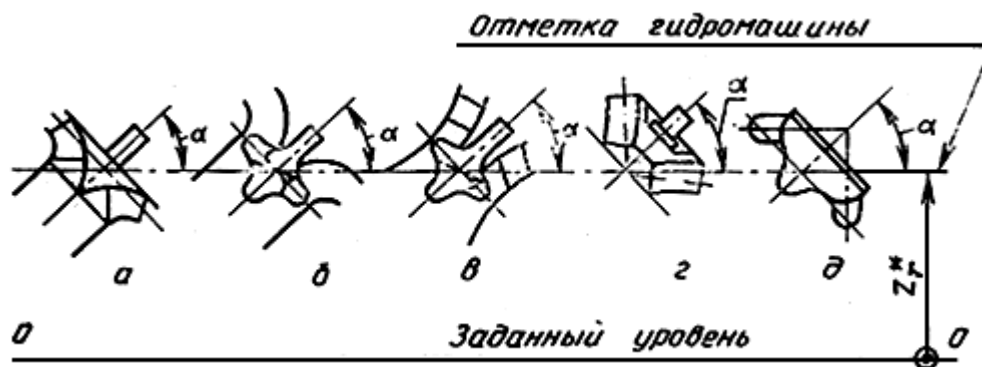
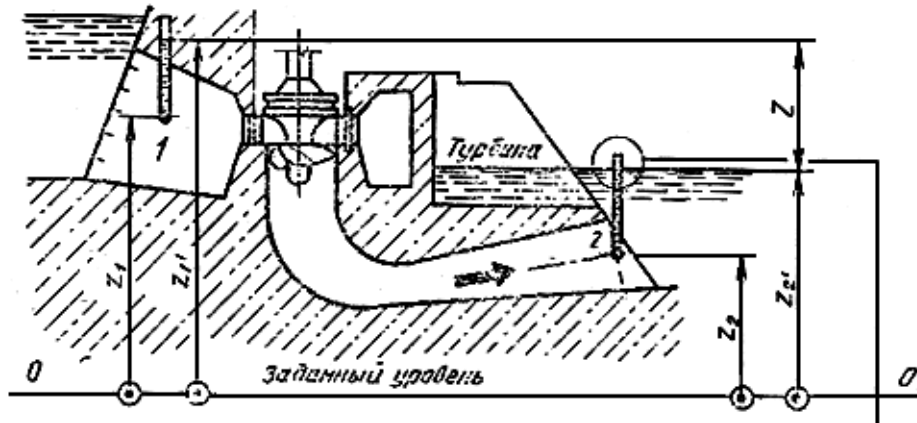


Рисунок 5.3 - Схема оцінки гідромашини ( $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$ )

а - радіально-осьові турбіни, насоси й насос-турбіни (для багатоступінчастих машин - щабель низького тиску); б – лопатеві, поворотно-лопатеві або пропелерні турбіни;

в - горизонтальні капсульні турбіни або осьові насоси (з регульованими або нерухливими лопатями робочого колеса); г - діагональні машини (змішаний потік, лопаті нерухливі); д - діагональні машини (змішаний потік, лопаті регулюються).

Оцінка гідромашини  $z_r$  не обов'язково відповідає точці з максимальною кавітацією:



а - пропелерна або поворотно-лопатева турбіна; б - осьовий насос

Рисунок 5.4 - Низьконапірні машини. Визначення питомої гідравлічної енергії машини

П'єзометри встановлено в точках 1 і 2;  $Z = z_1' - z_2'$

$$E = \bar{g}H = (p_{abs1} - p_{abs2}) / \bar{\rho} + (v_1^2 - v_2^2) / 2 + \bar{g}(z_1 - z_2) \quad (5.1)$$

Стисканням води можна зневажити, тому що різниця тиску між точками 1 і 2 мала:  $\rho_1 = \rho_2 = \bar{\rho}$ .

Отже:

$$p_{abs1} = \bar{\rho}\bar{g}(z_1' - z_1) + p_{amb1'} \quad (5.2)$$

$$p_{abs2} = \bar{\rho}\bar{g}(z_2' - z_2) + p_{amb2'} \quad (5.3)$$

$$p_{abs1'} - p_{abs2'} = -\bar{\rho}_a\bar{g}(z_1' - z_2') \quad (5.4)$$

і тому формула буде:

$$E = \bar{g}(z_1' - z_2')(1 - \rho_a / \bar{\rho}) + (v_1^2 - v_2^2) / 2 = \bar{g}z(1 - \rho_a / \bar{\rho}) + (v_1^2 - v_2^2) / 2 \quad (5.5)$$

Щільність води при температурі навколишнього повітря можна прийняти як  $\bar{\rho}$ .

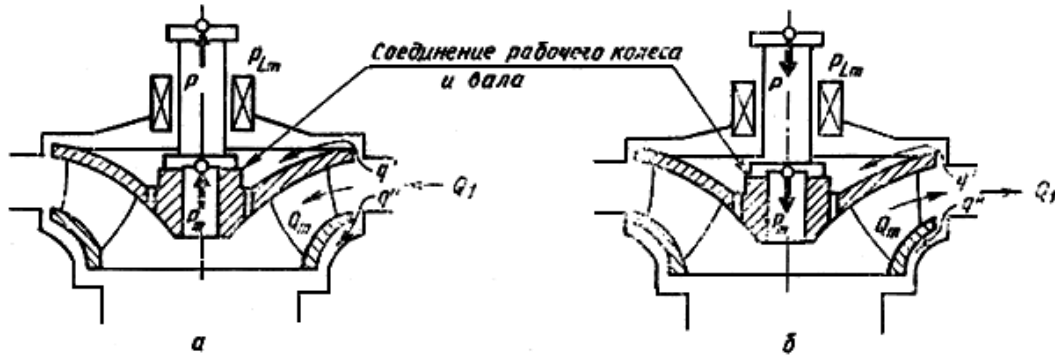


Рисунок 5.5 - Схема для визначення балансу потужності й витрати  
 а - турбіна; б - насос

### 3.2 ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ВОДИ

Для визначення абсолютної витрати рекомендують наступні методи:

- метод виміру швидкостей у ряді точок перетину за допомогою турбінних витратомірів;
- метод виміру швидкостей за допомогою трубок Піто;
- метод гідродару (метод Гібсона);
- методи міток, засновані, наприклад, на вимірі часу проходження міткою заданої відстані;
- використання стандартних водозливів;
- використання спеціальних пристроїв з виміром перепадів тисків;
- об'ємні методи.

Крім того, для визначення витрати можна використовувати акустичний метод а також термодинамічний метод виміру ККД який дозволяє обчислити витрату, маючи обмірювані ККД, питому енергію й потужність.

Вимір витрати при натурному випробуванні будь-яким методом буде достовірним лише в потоці, що встановився, тобто якщо зміни потужності генератора (двигуна), питомої енергії води й частоти обертання не перевищують значень, зазначених у п. 3.6 справжнього стандарту.

Якщо зрівняльний резервуар розташований між вимірювальним перетином і гідромашиною, то коливання рівня води повинні бути



установленні до початку досвіду. Якщо це важко виконати, то результат виміру витрати повинен урахувати обсяг води, який переходить у резервуар і назад під час виміру

Для зазначеного методу потрібно деяка кількість турбінних витратомірів, розташовуваних у заданих крапках поперечного перерізу водовода або відкритого каналу.

Для визначення витрати результати одночасних вимірів витратомірами локальних швидкостей, усереднених за часом, інтегрують по вимірювальному перетину.

Виміри можуть проводитися:

- у водоводі;
- у водоприймальному пристрої;
- у відкритому, що підводить або відводить, канали.

Виміри витрати допускається проводити тільки в штучних відкритих каналах з добре відомою формою поперечного перерізу. Використання природніх каналів не допускається.

Границі виміру за часом. Вимір швидкості в кожній точці перетину повинне тривати не менш двох хвилин. Якщо мають місце коливання швидкості, то час виміру повинний включати не менш чотирьох періодів коливань швидкості.

Точки перетину. Кількість точок перетину повинна бути достатня для того, щоб забезпечити задовільне визначення профілю швидкостей по всьому вимірювальному перетину.

У водоводі круглого перетину повинне бути не менш 13 точок виміру, одна з яких повинна бути в центрі перетину. Число точок  $Z$  на радіусі, крім центральної, визначають зі співвідношення  $4\sqrt{R} < Z < 5\sqrt{R}$ , де  $R$  - внутрішній радіус водовода в метрах.

При будь-якій наявній кількості витратомірів краще збільшувати число вимірювальних радіусів, чим збільшувати число точок на радіусі, при цьому слід уникати надмірного стиснення потоку. Стиснення в центрі може бути

зменшене консольним кріпленням радіальних несучих штанг до стінок водовода. Недоцільно проводити виміри більш ніж на 8 радіусах або більш ніж в 8 точках на радіусі, крім центральної точки.

У прямокутному або трапецеїдальному перетині повинне бути не менш 25 точок. Якщо розподіл швидкостей відрізняється від однорідного, число точок  $Z$  визначають зі співвідношення  $24\sqrt[3]{A} < Z < 36\sqrt[3]{A}$ , де  $A$  - площа вимірювального перетину у квадратних метрах.

Застосування турбінних витратомірів. Рекомендується застосовувати турбінні витратоміри тільки пропелерного типу. Вимірювальні сигнали від обертання пропелера передаються на прилади, що реєструють, та показують і для забезпечення можливості контролю миттєвого значення частоти обертання під час і після досліду.

Характеристики витратомірів не повинні змінюватися в процесі випробування.

Пропелери витратомірів повинні бути діаметром не менш 100 мм. У периферійній зоні можуть застосовуватися витратоміри з діаметром пропелера 50 мм. Відстань від вихідної крайки лопатей пропелера до вхідної крайки несучої штанги повинне бути не менш 150 мм. Кут між вектором місцевої швидкості й віссю витратоміра повинен бути не більш  $5^\circ$ . Якщо цих умов не дотримуватись, то слід застосовувати витратоміри, що самокомпенсуються, які вимірюють осьову складову.

Градування витратомірів. Витратоміри слід градувати в умовах, ідентичних умовам випробувань. Бажане градувати кілька витратомірів одночасно, установлених на тих же відстанях, які будуть мати місце під час випробувань.

Під час градування діапазон швидкостей потоку повинен по можливості включати весь діапазон місцевих швидкостей, очікуваних під час випробувань. Нормальний градуваний діапазон швидкостей охоплює швидкості - від 0,4 до 6 м/с (іноді до 8 м/с). При цьому верхня межа, як правило, обмежується вібраціями. Екстраполяцію обраної характеристики

більш ніж на 20 % максимальної швидкості слід робити тільки при узгодженні зі споживачем і виготовлювачем.

Систематична погрішність градуувальної характеристики з достовірною ймовірністю 95 % повинна бути менш 0,5 % при швидкостях від 0,4 до 6 м/с. Градування витратомірів після випробувань обов'язкова, якщо є ознаки ушкоджень.

У коротких водоводах або у водоприймачах вимірювальний перетин може розташовуватися в короткій конфузорній ділянці з нерівномірним і (або) нестійким розподілом швидкостей. Напрямок потоку може не збігатися з віссю витратомірів. Вплив цих факторів може бути зменшене застосуванням пристроїв, що випрямляють, або інших спеціальних способів.

Водовід вважається коротким, якщо довжина його прямої ділянки менше 25 діаметрів.

На вході у водоприймач може бути встановлене тимчасове сопло, що забезпечує:

- прямолінійний потік;
- приблизно однорідний і стійкий розподіл швидкостей;
- збільшення середньої швидкості й місцевих швидкостей потоку в стінок, що підвищує точність вимірів при малих витратах;

До недоліків цього способу можна віднести:

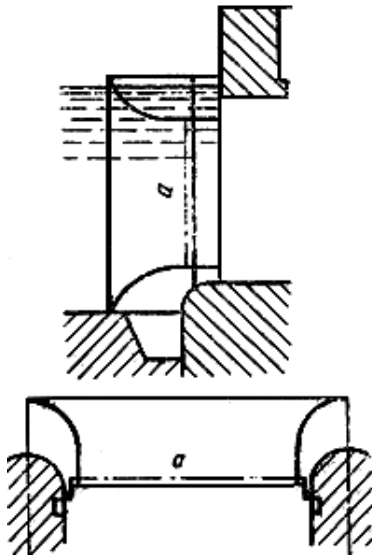
- значну вартість і трудомісткість виготовлення й установки;
- можливий вплив модифікованого водоприймача на характеристики гідромашини;
- необхідність обліку товщини турбулентного прикордонного шару, яка може бути менше, чим відстань від стінки, до найближчого до неї витратоміра.

Ця товщина повинна бути визначена експериментальним або розрахунковим шляхом, витрата в периферійній зоні повинен бути розрахований з урахуванням дійсного розподілу швидкостей.

Товщину ( турбулентного прикордонного шару розраховують по формулі

$$\delta = 0,37 \frac{x}{(v - x / v)^{0,2}}, \quad (6.1)$$

де  $x$  - відстань уздовж осі водовода від входу до вимірювального перетину;  
 $v$  - середня швидкість;



а - вимірювальний перетин

Рисунок 6.1 - Установка сопла на вході в низьконапірну турбіну

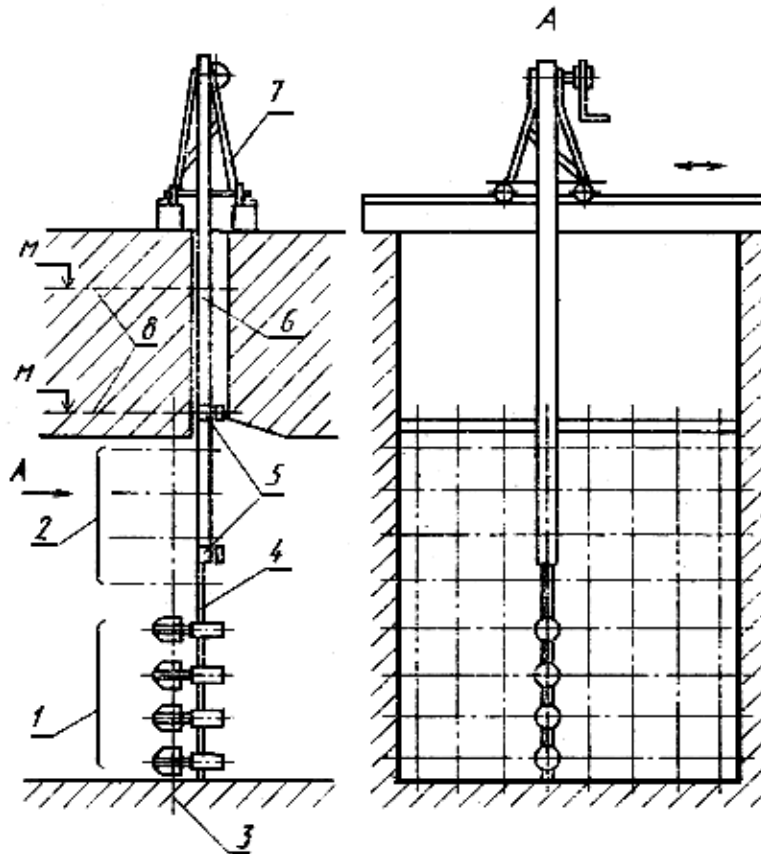


Рисунок 6.2 - Одинарний вертикальний ряд турбінних витратомірів, установлений на рухливій лебідці 1 - положення 1; 2 - положення 2; 3 - вимірювальний перетин; 4 - штанга кріплення витратомірів; 5 - напрямні затискачі; 6 - профільна штанга; 7 - візок; 8 - рівень води граничний

Рівень води визначають одним з методів. Коливання рівня води не повинні перевищувати 1% середнього значення глибини потоку, їх слід контролювати в продовження всього досвіду.

Швидкості близько бічних стінок і дна в каналах прямокутного поперечного перерізу розраховують по формулі

$$v_x = v_{a_0} (x/a_0)^{1/m}, \quad (6.2)$$

де:  $v_{a_0}$  - швидкість у найближчій до обмежуючої поверхні точки виміру;

$m$  - коефіцієнт, що розраховується по формулі

$$m = \lg\left(\frac{a_1}{a_0}\right) / \lg\left(\frac{v_1}{v_{a_0}}\right), \quad (6.3)$$

де:  $a_1$  і  $a_0$  - відстані від обмежуючих поверхонь найближчих точок виміру;

$v_1$  і  $v_{a_0}$  - швидкості, обмірювані в цих точках відповідно.

Близько вільної поверхні профіль швидкостей слід екстраполювати з умови його плавності. При обчисленні витрати для трапецеїдальних перетинів інтегрування спочатку проводять уздовж вертикальних ліній, а потім - побудовою залежності добутку  $v \cdot d$  від поперечної горизонтальної координати (чорт. 17), де  $\bar{v}$  - середня по вертикальній лінії швидкість;  $d$  - глибина води на цій же вертикалі.

Метод Піто застосовують у водоводах з досить більшими швидкостями води, вільної від зважених часток.

Коефіцієнт швидкості трубок Піто ухвалюють рівним одиниці. Місцеву швидкість  $v_i$  розраховують по формулі

$$v_i = \sqrt{2\Delta p_i / \rho}, \quad (6.4)$$

де:  $\Delta p_i$  - різниця між повним тиском або тиском потоку при швидкості, рівної нулю, і статичним тиском, обмірюваним трубкою Піто, розташованої в точці  $i$ .

Коефіцієнти швидкості всіх нестандартних пристроїв установлюють ретельним градуванням по всьому діапазону швидкостей.

## 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО УДАРУ

### 4.1 Загальне положення

Явище гідравлічного удару відкрив в 1869 г. Н.Е Жуковський. Збільшення тиску при гідравлічному ударі визначається відповідно до його теорії.

Жуковський довів, що швидкість поширення ударної хвилі  $c$  перебуває в прямо пропорційній залежності від зниження рідини, величини деформації стінок трубопроводу, обумовленої модулем пружності матеріалу  $E$ , з якого він виконаний, а також діаметра трубопроводу.

Отже, гідравлічний удар не може виникнути в трубопроводі, що містить газ, тому що газ легко стискається.

Залежність між швидкістю ударної хвилі  $c$ , її довжиною й часом поширення ( $L$  і  $\tau$  відповідно) виражається наступною формулою:

$$c = 2L/\tau \quad (7.1)$$

Гідравлічні удари. Система виміру за часом і тиску (метод Гібсона)

Цей метод ґрунтується на закон Ньютона й похідних законах механіки рідин (рівняння Альєві), що дають відношення між силою, що виникає в залежності від зміни різниці тиску між двома перетинами, і прискоренням маси води між цими перетинами, та прискоренням маси води між цими перетинами внаслідок руху затвора.

Необхідні прилади мають досить малу вагу, і для роботи із застосуванням цього методу потрібно тільки повільне закриття затвора.

Метод установки на вимірі стиснення, виконаний по обидва боки напірного трубопроводу під час перекривання скидання. Зона повинна бути однакою для обох сторін. Зона винна бути однакою для обох секцій. Метод затверджений МЕК 60041 для виміру ККД.

- фотографії майданчика верхнього б'єфа: загальний вид, великий план паза. Даний метод може виявитися дуже ефективним і рентабельним, якщо точки відбору тиску будуть легкодоступними у низовій стороні напірного трубопроводу ( саме верхня сторона робочого колеса). Місце контрольної точки відбору тиску на вході в спіральну камеру повинне бути точно відомо.

Для правильної оцінки порівняння різних методів потрібні наступні дані:

- креслення забірної шлюзу (отвору) і паза (затвора) з усіма розмірами забірної шлюзу й паза.

- чи є доступ до паза для рами під час вимірів;

- креслення елементів сміттєзатримувальних решіток ( і опорних балок);

- характеристики й креслення підймальних пристроїв ( особливо для підвішеної поперечини, якщо є така);

- креслення напірного трубопроводу з розмірами й вказівкою місця, де подвійний трубопровід переходить в одинарний;

Якщо потік, що рухається в трубопроводі, рідину миттєво зупинити (наприклад, перекрити краном, засувкою або зупинити насос), то в трубопроводі відбудеться гідравлічний удар. Завдання про гідравлічний удар уперше була вирішена вченим Н. Е. Жуковським.

Маса рідини, що рухається по трубопроводу, при різкому перекритті його продовжує рух по інерції. Спочатку зупиниться та частина, яка прийде в безпосереднє зіткнення з перешкодою, потім почнуть зупинятися наступні шари рідини, ущільнюючи шари, що зупинилися спереду. У результаті цього ущільнення тиск в зупиненій масі рідини буде зростати. Коли енергія руху рідини буде повністю використана в напрямку її руху, стисла маса рідини стане розширюватися й виникне зворотна, відбита, хвиля руху маси рідини.

Зони зупиненої рідини й області підвищеного тиску поширюються по трубопроводу, що назустріч рухається потоку зі швидкістю поширення звуку у воді.



Для розрахунків ударного підвищення тиски може бути застосована формула Жуковського.

$$\Delta p = \rho(v_0 - v) v_{уд} \quad (7.2)$$

$v_0$ - початкова швидкість;  $v$ - кінцева швидкість;  $\rho$ - щільність швидкості;  
уд- удар

Швидкість поширення звуку (ударна хвиля) у чавунних трубах залежно від їхнього діаметра й товщини стінок мають наступні величини:

діаметр труби, мм	50	100	200	300	600
товщина стінок, мм	7,0	8,5	10,5	12,5	18,0
швидкість поширення ударної хвилі, м/с	1348	1289	1209	1167	913

Цікаво відзначити, що швидкість поширення ударної хвилі в гумових трубах становить усього 30 м/с.

Проведені за останні роки дослідження показують, що величина ударного тиску залежить не тільки від швидкості води в трубопроводі, але й від величини статичного тиску в первісний момент і втрат напору на тертя й місцеві опори.

Досвідами встановлено, що швидке закриття крана або засувки майже завжди приводить до розриву суцільного потоку води або відриву його від затвора з утвором порожнеч, заповнених паром. Наступний вступ води в розріджений простір приводить до ударного підвищення тиску, і якщо втрати напору невеликі, то величина дійсного ударного тиску  $\Delta p$  близька до величини  $\Delta p$ , обумовленої по формулі Жуковського.

При подачі води в резервуари, розташовані на більш високих відмітках, чим насосна станція, явище гідравлічного удару можливо в момент раптової зупинки насоса.

При зупинці насоса рідина спочатку рухається в колишньому напрямку й у насоса створюється знижений тиск. Дійшовши до резервуара,

хвиля повертає назад і до насоса підходить уже з підвищеним тиском. Якщо зворотний клапан відсутній, та вода проходить через насос і починає обертати його у зворотну сторону. Крім того, при зворотному русі води вимиваються предмети, що випадково потрапили до водоводу, які можуть пошкодити насос. Щоб не допустити цього явища, після насоса, як правило, ставлять зворотний клапан, однак зворотний клапан закривається дуже швидко, що приводить до створення підвищених тисків (гідравлічного удару). Для запобігання цього явища закривання клапана слід робити повільно, і повне закривання повинне здійснитися тільки після повернення зворотної хвилі. При довжині трубопроводу  $L$  час на прохід хвилі туди й назад рівно  $2L/c$  і, отже, час закривання клапана повинне бути трохи більше  $2L/c$ , щоб звести удар до мінімуму.

Час закривання зворотного клапана можна відрегулювати за допомогою клапана – гасника гідравлічних ударів. Роль гасителів удару можуть виконувати також гідравлічні або електричні засувки з відрегульованим часом їх закриття, а також пружинні й важільно-вантажні запобіжні клапани. Найпростішим пристроєм для запобігання гідравлічних ударів можуть служити водяні колони, але вони зручні тільки при невеликих напорах.

Для ослаблення гідравлічних ударів застосовуються повітряні казани, які можуть установлюватися як у насосів, так і на напірних ділянках водоводів і мереж, а також вставки із труб, швидкість поширення ударної хвилі в яких значно нижче, чим у сталевих і чавунних трубах.

Електрохімічна корозія металевих трубопроводів. Згідно з електрохімічною теорією корозії між окремими частинами поверхні металів (у цьому випадку поверхні труб, покладених у ґрунт) і електролітом (ґрунт, ґрунтові води) внаслідок неоднакового стану поверхні металу, відмінності концентрації газів, особливо кисню, у поверхні металу виникає термопара, тобто місцевий елемент. Ділянка з меншим потенціалом буде анодом, з більшим — катодом.

На анодних ділянках позитивно заряджені іони металу переходять в електроліт (грунтові води, ґрунт), викликаючи руйнування металу.

Для запобігання металу труб від руйнування застосовують катодний або анодний захист, улаштовують металеві й хімічні покриття, фарбують труби, використовують також і комбіновані методи, наприклад бітумне покриття й катодний захист, які в наш час одержали найбільш широке поширення. При катодному захисті вся поверхня трубопроводу робиться катодом, а анодом служать зариті поблизу трубопроводу сталеві предмети (шматки рейок, старих труб і ін.). Трубопровід приєднується до негативного полюса джерела струму, а шматок металу — до позитивного (активний захист). Руйнуватися буде анод (заземлення). Витрата енергії становить близько 2 кВт·год. у добу на 100 м<sup>2</sup> поверхні трубопроводу.

Катодний захист застосовують як доповнення до бітумного, тому що при непокриту бітумом трубопроводі витрата електроенергії настільки велика, що катодний захист стає економічно не вигідним. У якості джерел електроенергії можуть використовуватися генератори постійного струму, що приводяться в рух двигунами внутрішнього згорання, розташованими в окремих пунктах траси. У якості джерел струму можна застосувати вітросилові установки з автоматичним включенням акумуляторів при затишші.

Катодний захист можливий і без застосування стороннього джерела електроенергії — так званий катодний захист автономними анодами (пасивний захист). У цьому випадку для захисту трубопроводів поблизу їх заривають метал, що має більш негативний електрохімічний потенціал, чим потенціал сталі. Трубу з'єднують із цим металом (анодом) провідниками. У якості анодів застосовують круглі стрижні з магнію, цинку і їх сплавів довжиною 50-120 дециметрів, установлювані вертикально. Потенціал металу, що захищається, при катодній поляризації буде зрушуватися в негативну сторону щодо навколишнього електроліту. Захисний потенціал сталі, при

якому корозія відсутня, рівний 484-584 мВ (щодо нормального водневого електрода).

Результатом реакції є розчинення анодного металу з утворенням позитивно заряджених іонів. Процес іде по двом реакціям, на кожен з яких доводиться 50 % загальної витрати анодного металу.

З рівнянь випливає, що прикатодний шар води близько стінок трубопроводу залужується. Якщо в сусідніх шарах ґрунтової води втримуються сульфати або бікарбонати  $SO_4^{2-}$ , то при певному ступені залужування відбувається створення захисного шару при реакціях.

Захист (катодний, анодний) повинен здійснюватися комплексно для всіх металевих трубопроводів (водопровід, газопровід, теплопровід), покладених у ґрунтах, що й перебувають у безпосередній близькості друг від друга. Захист одного з них може привести до посиленої корозії інших трубопроводів.

Блукаючі струми. Якщо металевий трубопровід покладений поблизу трамвайних шляхів, електричних залізниць, метрополітену, силових установок, кабелів постійного струму і т.п., то він зазнає руйнуванню внаслідок дії блукаючих струмів. У тих місцях, де струм входить у трубопровід, він руйнує метал, тому що ці місця є катодними. Там же, де струм виходить із трубопроводу, поверхня останнього руйнується. У цьому випадку, як при ґрунтовій корозії, струм несе в ґрунт позитивно заряджені іони металу.

Основним заходом щодо запобігання руйнування труб від дії блукаючих струмів є усунення самих блукаючих струмів. Для цієї мети забезпечують безперервність рейкових шляхів, улаштовують фідера, що відсмоктують вологу від рейок, збільшують опір у місцях переходу струму від рейок у ґрунт і т.п. Із заходів, прийнятих безпосередньо для захисту трубопроводу, можна вказати на пристрій посиленої ізоляції, засипання трубопроводів з усіх боків піском і ізолювання стиків з гумовими прокладками з метою розриву електричної безперервності трубопроводу.

Блукаючі струми можуть впливати на трубопроводи, розташовані на відстані до 500 м від джерела блукаючих струмів. Захист трубопроводів від блукаючих струмів, як і при електрохімічній корозії, також повинен проводитися комплексно для всіх трубопроводів, розташованих у безпосередній близькості друг від друга.

Стрибок тиску в якій-небудь системі, заповненою рідиною, викликаний украй швидкою зміною швидкості потоку цієї рідини за дуже малий проміжок часу.

Гідравлічний удар здатен викликати утворення поздовжніх тріщин у трубах, що може привести до їхнього пошкодження, або ушкоджувати інші елементи трубопроводу. Також гідроудари надзвичайно небезпечні й для іншого устаткування, такого як теплообмінники, насоси й посудини, працюючі під тиском. Для запобігання гідроударів, викликаних різкою зміною напрямку потоку робочого середовища, на трубопроводах встановлюються зворотні клапани.

Явище гідравлічного удару відкрив в 1869 г. Н.Е Жуковський. Збільшення тиску при гідравлічному ударі визначається відповідно до його теорії.

Жуковський довів, що швидкість поширення ударної хвилі  $c$  перебуває в прямо пропорційній залежності від зниження рідини, величини деформації стінок трубопроводу, обумовленої модулем пружності матеріалу  $E$ , з якого він виконаний, а також діаметра трубопроводу.

Отже, гідравлічний удар не може виникнути в трубопроводі, що містить газ, тому що газ легко стискається.

Залежність між швидкістю ударної хвилі  $c$ , її довжиною й часом

Вимір витрати методом гідроудару (іноді називають методом Гібсона) засноване на законах гідродинаміки, які дають співвідношення між силою, викликуваної затримкою маси води ( $m$ , що рухається між двома перетинами), і зміною різниці тисків між двома перетинами. Практично його застосовують

тільки при безперервним зменшенні витрати в турбіні до нуля (закриття напрямного апарата, голки, засувки і т.д.).

У водоводі постійного поперечного перерізу  $A$ , що містить у собі масу рідини  $\rho LA$ , зміна швидкості  $dv/dt$  викликає перепад тисків між верхнім за течією (індекс  $u$ ) і нижнім (індекс  $d$ ) поперечними перерізами, що відстоять друг від друга на відстані  $L$ . Рівняння рівноваги сил у цьому випадку має вигляд:

$$\rho LA \frac{dv}{dt} = A \Delta p, \quad (7.2)$$

де:  $\Delta p = p_d - p_u$ .

З рівняння випливає:

$$A \int_0^t dv = \frac{A}{\rho L} \int_0^t (\Delta p + \xi) dt, \quad (7.3)$$

де:  $t$  - час, протягом якого відбувається зміна швидкості води, а  $\xi$  - втрата тиску внаслідок тертя на ділянці між двома перетинами.

Отже, значення витрати через турбіну до початку закриття запірною органа розраховують по формулі:

$$Q = Av_0 = \frac{A}{\rho L} \int_0^t (\Delta p + \xi) dt + q, \quad (7.4)$$

де:  $q$  - величина витрат через закритий запірний орган. Витрату  $q$  визначають окремо.

У процесі закриття запірною органа безупинно реєструють різницю тисків у двох перетинах.

#### 4.2 Метод гідравлічного дару

При застосуванні методу гідроудару слід дотримуватися наступних вимог:

- між двома перетинами, у яких вимірюють тиски, не повинне бути проміжної вільної поверхні води;
- витрати через закритий запірний орган у процесі випробування не повинні перевищувати 5% вимірюваних витрат. Витрати повинні бути визначено з точністю 0,2% вимірюваної витрати;
- у межах вимірювальної ділянки водовід повинен бути прямолінійним і мати постійний поперечний переріз, у ньому не повинне бути скільки-небудь істотних порушень форми, а відстань між перетинами повинне бути не менш 10 м;
- при максимальному значенні вимірюваної витрати сума динамічного тиску й втрати тиску між перетинами не повинні перевищувати 20% середньої зміни перепаду тиску в процесі закриття запірного органа;
- перетворювач перепаду тисків повинен бути розміщений так, щоб довжини сполучних трубок, що йдуть від п'єзометричних крапок, були по можливості однаковими;
- результати досвіду, у яким значення величини  $C$  негативне, слід виключати з розгляду;
- якщо застосовують прилад Гібсона, то в кожному досвіді слід вимірювати температури води й ртуті з точністю  $\pm 1$  °C;

У кожному перетині для виміру тиску повинне бути не менш 4 отворів діаметром від 3 до 6 м. у площині, перпендикулярній осі водовода (у водоводах діаметром менш 4 м. можна мати тільки 2 отвори). У водоводах круглого перетину точки відбору тиску слід розташовувати на рівних кутових відстанях друг від друга. Не рекомендується розташовувати точки відбору поблизу верху або низу перетину.

У водоводах прямокутного перетину точки відбору тиску слід розташовувати на вертикальних стінках на відстані чверті висоти перетину

від дна й від стелі. Усі точки відбору виконують і розташовують згідно з вимогами додатка дослідження. Точки відбору тиску слід розміщати на відстані  $2D$  (де  $D$  - діаметр водоводу) і більше від місця з істотною зміною форми водоводу.

Через індивідуальні вентиля відводи тиску в кожному перетині приєднують до загального колектора, що з'єднуються із приладом для запису діаграми залежності перепаду тисків від часу.

Для зменшення демпфірування внаслідок тертя, всі сполучні лінії повинні бути по можливості короткими, непружними й достатнього діаметра (не менш 18 мм для рідинних манометрів або 8 мм для перетворювачів тиску).

Усі з'єднання й лінії перевіряють на відсутність витрат і повітря. Перед кожним досвідом повинен бути проведений огляд і продувка трубок.

Для забезпечення необхідної точності записаних діаграм зміни тиску умови плинущу у водоводі повинні бути такими, щоб у кожному перетині різниця між тиском, обмірюваним у будь-якій окремій точці, і середнім тиском по вимірах у всіх точках не перевищувала 20 % динамічного тиску. Середнє з показань будь-якої пари протилежних точок не повинне відрізнятися від середнього з будь-якої іншої пари точок цього ж перетину більш ніж на 10 % динамічного тиску.



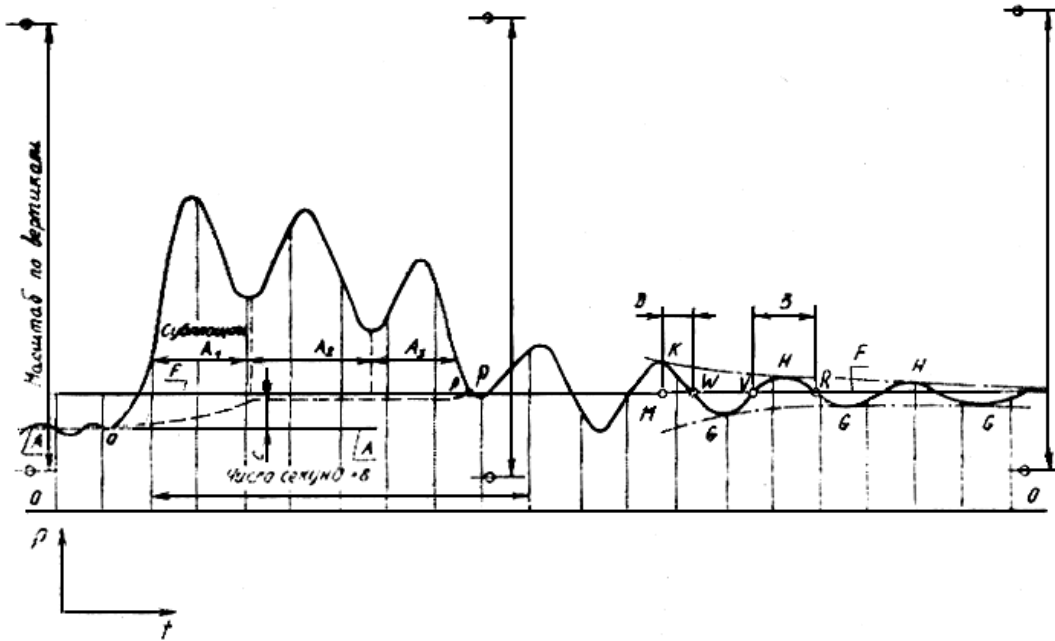


Рисунок 7.1 - Диференціальна діаграма залежності "тиск від часу"

Рекомендується записувати зміни в часі перепаду тисків на вимірювальній ділянці, обумовлене зміною кількості руху води й тертя між двома перетинами (диференціальний метод).

У цьому випадку тертя поза вимірювальною ділянкою й коливання рівня води у водоприймачі або зрівняльному резервуарі не впливають на значення перепаду тисків.

Добуток довжини вимірювальної ділянки на середню швидкість повинне бути не менш  $50 \text{ м}^2/\text{с}$ .

Перед початком випробування виконують градування перетворювачів тиску. Перед початком кожного дослідження перевіряють нуль вимірювальної системи.

Витрату встановлюють за допомогою механізму обмеження відкриття запірного органа. Коливання вимірюваної витрати повинні бути зведені до мінімуму втриманням запірного органа в нерухливому положенні, щоб режим стабілізувався. Потім записують зміни тиску в процесі безперервного поступового закриття запірного органа. Запис слід починати не менш ніж за

20 с. з до початку руху запірнього органа й припиняти не менш чому через 20 с. з його закінчення.

Диференціальний ртутний вимірник перепаду тиску (прилад Гібсона) дає діаграму залежності тиску від часу (див. рис. 18) у вигляді фотографії руху рівнів ртуті в U-Образному манометрі. Значення інтеграла  $\int \Delta p dt$  визначають планіметрією діаграми. При цьому необхідно, щоб усі довжини, висоти, відстані й площі були виражені в одній системі одиниць.

Обробку діаграми проводять у наступній послідовності:

- проводять горизонтальну лінію ПРО- ПРО нульову лінію, що представляє, приладу й діаграми;
- проводять горизонтальну лінію А-А, що представляє середнє значення втрат тиску при роботі агрегату до початку руху запірнього органа;
- проводять горизонтальну лінію F-F, що збігається із середнім значенням тиску після закриття запірнього органа;
- вимірюють від лінії F-F висоти піків  $H$  двох сусідніх хвиль і розраховують їхнє відношення  $E$  по формулі

$$E = H_i/H_{i+1}; \quad (7.5)$$

- розраховують відстань  $D$  по формулі:

$$D = B \frac{\arctg(2\pi/\ln E)}{\pi}, \quad (7.6)$$

де  $B$  - відрізок з діаграми півперіод, що представляє собою, хвилі тиску з урахуванням виправлення на ширину щілини;

- відстань  $D$  відкладають від попереднього перетинання хвилі з лінією F-F. Отримана крапка  $M$  позначає кінець діаграми;
- орієнтовно проводять лінію відновлення ПРО-М;

- визначають площа  $AT$  діаграми над лінією ПРО-М при нескінченно вузькій ширині щілини приладу. Площа діаграми може бути розбита на кілька ділянок  $A_1, A_2, \dots, A_n$ . Із площі кожного з ділянок діаграми необхідно відняти виправлення, що враховує фактичну кінцеву ширину щілини приладу. Значення виправлення визначається як добуток ефективної ширини щілини на різницю висот діаграми на границях ділянки розбивки;

- розраховують витрату ( $Q$ ) по формулі:

$$Q = \frac{g}{s \cdot y} \cdot \frac{A_T}{F} + q, \quad (7.7)$$

де:  $s$  і  $y$  - масштаб секунди й масштаб метра водяного стовпа на діаграмі;

$F$  - відношення  $L/A$  довжини вимірювальної ділянки площі поперечного перерізу водоводі (коефіцієнт трубопроводу);

$q$  - витрата через закритий запірний орган;

- визначають нову лінію відновлення в припущенні, що в цей момент часу, що залишився, втрату тиску виражають формулою:

$$h_i = G(1 - r_i)^x, \quad (7.8)$$

де:  $h_i$  - втрата, що залишилась, тиску або відстань від лінії відновлення до лінії F-F для  $i$ -ої ділянки;

$G$  - втрата тиску до початку закриття, тобто відстань між F-F і A-A;

$x$  - показник ступеня  $Q$  у вираженні для гідравлічних втрат ( $x = 2$  для чисел Рейнольда більш  $5 \cdot 10^6$ );

$$r_i = \frac{a_i}{A_T + A_L} - \text{відношення площ ділянок,}$$

$$a_i = \sum_{k=1}^k A_k$$

де  $A_k$  - наростаюча сума площ сегментів;

$AT$  - загальна площа діаграми;

$$A_L = qF \frac{s \cdot y}{g}$$

- площа, що відповідає витратам

8) слід виключити вплив температури на вимірювальну систему.

При визначенні витрати методом роздільних діаграм зміна тиску у двох вимірювальних перетинах водоводу реєструють роздільно. Можна користуватися й одним перетином, прийнявши за базове вільну поверхню у водоприймачі, якщо відсутній зрівняльний резервуар і якщо довжина ділянки водоводу з перемінним перетином не перевищує 2% довжини всього водоводу. Довжина ділянки між двома вимірювальними перетинами повинна бути не менш 50 м, і коефіцієнт трубопроводу на ділянці водоводу від зрівняльного резервуара до нижнього вимірювального перетину повинен бути в чотири й більш раз більше, чим на ділянці від зрівняльного резервуара до верхнього вимірювального перетину.

#### 4.3 Види гідравлічних ударів

Залежно від часу поширення ударної хвилі  $\tau$  і часу *перекриття* засувки (або іншої запірної арматур  $t$ , у результаті *якого* виник гідроудар, можна виділити 2 виду ударів:

- Повний (*прямий*) гідравлічний удар, якщо  $t < \tau$
- Неповний (*непрямий*) гідравлічний удар, якщо  $t > \tau$

При повному гідроударі фронт виниклої ударної хвилі рухається в напрямку, зворотному первісному напрямку руху рідини в трубопроводі. Його подальший напрямок руху залежить від елементів трубопроводу, розташованих до закритої засувки. Можливо й повторне кількаразове проходження фронту хвилі в прямому й зворотному напрямках.

При неповному гідроударі фронт ударної хвилі не тільки міняє напрямок свого руху на протилежний, але й частково проходить далі крізь не до кінця закритої засувки.

Гідроударом часто називають наслідок заповнення над поршневого простору в моторі водою, що приводить до раптової зупинки й поломці мотора через те, що рідина практично нестислива.

#### 4.4 Розрахунки гідравлічного удару

Прямий гідравлічний удар буває тоді, коли час закриття засувки  $t_3$  менше фази удару  $T$ , обумовленої по формулі:

$$T = \frac{2l}{C_u} \quad (7.9)$$

Тут  $l$  - довжина трубопроводу від місця удару до перетину, у якому підтримується постійний тиск,  $C_u$  - швидкість поширення ударної хвилі в трубопроводі, визначається по формулі Н.Е. Жуковського, м/с:

$$C_u = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{1 + \frac{E}{E_{tr}} \frac{D}{h} k}} \quad (7.10)$$

де  $E$  - модуль об'ємної пружності рідини,  $\rho$  - щільність рідини,  $\sqrt{\frac{E}{\rho}}$  - швидкість поширення звуку в рідині,  $E_{tr}$  - модуль пружності матеріалу стінок труби,  $D$  - діаметр труби,  $h$  - товщина стінок труби.

Для води відношення /залежить від матеріалу труб і може бути прийняте; для сталевих - 0.01; чавунних - 0.02; з/б - 0.1-0.14; азбестоцементних - 0.11; поліетиленових - 1-1.45

Коефіцієнт  $k$  для тонкостінних трубопроводів застосовується (сталеві, чавунні, а/ц, поліетиленові) рівним 1. Для залізобетонних  $a = \frac{f}{h}$  коефіцієнт армування кільцевою арматурами ( $f$  - площа перетину кільцевої арматур на 1 м довжини стінки труби). Звичайно  $a = 0.015 - 0.05$  Підвищення тиску при прямому гідравлічному ударі визначається по формулі:

$$P = \rho c u V_0 \quad (7.11)$$

де:  $V_0$  - швидкість руху води в трубопроводі до закриття засувки.

Якщо час закриття засувки більше фази удару ( $t_3 > T$ ), такий удар називається непрямым. У цьому випадку додатковий тиск може бути визначене по формулі:

$$P = \frac{2pV_0 t}{t_3} \quad (7.11)$$

#### 4.5 Способи запобігання виникнення гідравлічних ударів

Виходячи з формули Жуковського (визначальної збільшення тиску при гідроударі) і величин, від яких залежить швидкість поширення ударної хвилі, для ослаблення сили цього явища, або його повного запобігання, можна зменшити швидкість руху рідини в трубопроводі, збільшивши його діаметр.

- Для ослаблення сили цього явища слід збільшувати час закриття затвора тобто повільне закриття.
- Установка пристроїв, що демпфірують.

#### 4.6 Міточний метод вимірювання витрат через турбіну

Для виміру витрати в закритих водоводах рекомендують концентраційний і міточний методи.

Концентраційний метод полягає в безперервній подачі в головний водовод відомої витрати розчинної у воді речовини й у вимірі концентрації цієї речовини, що виходить на деякій відстані від місця подачі. При цьому геометричні характеристики водовода й відстань повинні забезпечувати рівномірне перемішування. Слід урахувати, що додаткове перемішування розчинного речовини може бути отримане включенням гідромашини в мірну довжину або встановленням перемішувачів (турбулізаторів). Природня концентрація розчинного речовини в природній воді повинна бути постійна й не перевищувати 15% концентрації поданого розчинного речовини в місці відбору проби для виміру.

Витрата ( $Q$ ) розраховують по формулі:

$$Q = q \frac{C_1 - C_2}{C_2 - C_0}, \quad (9.1)$$

де:  $q$  - витрата розчину розчинного речовини, що подавалась в потік;  
 $C_0$  - початкова природня концентрація розчину речовини в природній воді;

$C_1$  - концентрація розчинної речовини в подаваному розчині;

$C_2$  - концентрація речовини в місці відбору проби.

При дотриманні вимог до вимірювальної апаратури й умовам плинну оцінювана систематична погрішність із довірчою ймовірністю 95% повинна бути в межах від (1 до 2 )%.

Міточний метод (, що раніше називався методом соляної хмари Алена) заснований на вимірі часу проходження мітки між двома поперечними перерізами, розташованими на відомій відстані друг від друга.

Уведення розчиненої речовини слід проводити на достатньому видаленні від вимірювальних перетинів ( тобто точок початку й кінця відліку часу).

Витрату розраховують по формулі:

$$Q = V/\bar{t}, \quad (9.2)$$

де:  $V$  - обсяг водовода між перетинами;

$\bar{t}$  - середній час проходження розчиненого речовини між перетинами.

Позитивність методу полягає в тому, що немає необхідності знати концентрацію розчиненої речовини.

При дотриманні вимог до вимірювальних приладів і умовам потоку оцінювана систематична погрішність із довірчою ймовірністю 95% повинна бути в межах від (1 до (1,5%).

#### 4.7 Ультразвуковий метод вимірювання витрат води через турбінну

Однією зі складних і важливих проблем гідроенергетики є розробка витрато вимірювальних систем, що відповідають вимогам надійності й необхідної точності визначення величин витрат і об'ємів водоспоживання.

Практично всі вітчизняні ГЕС оснащені спіральними турбінними витратомірами, що діють за принципом виміру перепаду тиску в спіральній камері по методу Вінтера-Кеннеді.

Витрата по даному методу обчислюється у вигляді:

$$Q=K \cdot h^n \quad (7.1)$$

де:  $K$  - постійний коефіцієнт;

$h$  – перепад тиску у двох крапках спіральної камери;

$n$  – показник ступеня.



Цей метод рекомендований вітчизняними й міжнародними стандартами [1,2], однак має істотні недоліки, до яких, у першу чергу, слід віднести:

- значний розкид величин  $K$  і  $n$  навіть на однотипних гідротурбінних установках багато агрегатних гідроелектростанцій;
- інерційність вимірювальної системи при зміні навантажень агрегату;
- втрату згодом герметичності імпульсних трубок, що з'єднують ніпелі відбору тисків із вторинною апаратурою;

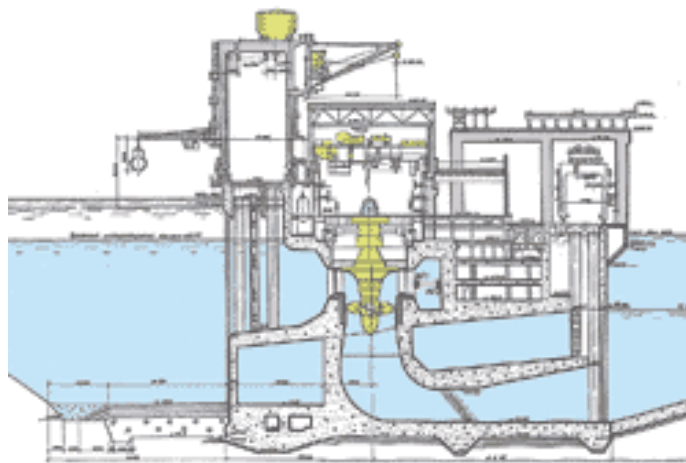


Рисунок 7.1 Поперечний переріз ГЕС

втратили працездатність на більш ніж 90% гідроенергетичних об'єктів, і інструментальний вимір витрати турбін практично не проводиться, що не відповідає вимогам енергозбереження й раціональної експлуатації гідроенергетичного встаткування. У зв'язку із цим в останні роки стали одеревідновлення працездатності імпульсних трубок практично виключене, оскільки вони прокладаються в бетонному масиві й недоступні для ремонту; крім того така система має, крім низької надійності, високою погрішністю.

У цей час штатні спіральні витратоміри жувати поширення ультразвукові системи визначення витрати, позбавлені недоліків традиційних спіральних витратомірів.

Особлива проблема виникає при застосуванні ультразвукових витратомірів на гідроелектростанціях руслового компонування. Особливість таких об'єктів полягає в тому, що вони не мають водоводів, що розділяють водоприймач і спіральну камеру (рис. 10.1). Це виключає можливість використання ультразвукових витратомірів методами, застосовуваними для установок з досить довгими трубопроводами постійного перетину.

Відомий спосіб застосування ультразвукових витратомірів на низьконапірних гідроелектростанціях, що не мають підвідних водоводів [5]. При цьому способі ультразвуковий витратомір встановлюється на рамі, розташовуваної в пазах сміттєзатримувальних решіток або в пазах аварійно-ремонтних затворів. Такий спосіб може бути використаний тільки для випробувань гідротурбінного устаткування й не може бути експлуатаційним, коли потрібно виконувати безперервний контроль над величинами витрати й обсягом стоку протягом тривалого часу, тому що пази сміттєзатримувальних решіток і аварійно-ремонтних затворів не можуть бути довгостроково зайняті стороннім устаткуванням.

Як приклад: у наш час на ГЕС уперше в практиці вітчизняної гідроенергетики зроблене оснащення гідроагрегату руслової ГЕС акустичної витратовимірювальною системою.

Нижньокамська ГЕС має типове компонування руслової ГЕС. Штатні спіральні витратоміри більшості агрегатів Нижньокамської ГЕС були непрацездатні практично із самого початку експлуатації ГЕС і в цей час виведені з експлуатації.

Ультразвуковий витратомір встановлений у спіральній камері на одному з гідроагрегатів. Робота була виконана ВАТ «НІЕС» при активній участі фахівців Нижньокамської ГЕС. Ультразвуковий витратомір УЗР-2 розроблений ВАТ «НІЕС».

До складу витратоміра входять:

- два акустичні перетворювачі (АП);

- електронний блок, виготовлений на базі мікроконтролера промислового типу;
- лінії зв'язку.

Витратомір може працювати в автономному режимі, а також передавати результати вимірів в автоматизовану систему вимірів через інтерфейс RS485 і струмовий вихід 4+20 мА.

Один з акустичних перетворювачів АП1 встановлюється на стінці спіральної камери, другий перетворювач АП2 - на одній зі статорних колон. Вибір місць установки акустичних перетворювачів визначився виходячи з оптимальної комбінації умов розташування акустичного променя в області спіральної камери, що стабільно сформувався потоком і мінімальної довжини кабелів при виводі їх із проточної частини.

Акустичний перетворювач АП2 встановлювався в торці статорної колони таким чином, щоб акустичний промінь був спрямований горизонтально на стінку спіралі з кутом установки статорної колони. У місці перетинання осі акустичного променя з бетонною стінкою спіралі встановлювався акустичний перетворювач АП1. Довжина акустичного променя склала близько 6 м.

АП2 монтувався в накладну кріпильну конструкцію, що прикріплюється до статорної колони за допомогою зварювання. Перетворювач АП1 встановлювався на бетонній стінці спіральної камери в накладну кріпильну конструкцію, що прикріплюється до бетонної поверхні анкерами.

Прокладка кабелів на бетонній поверхні виконувалось в сталевих захисних трубах, що приварюються до металевої смуги. Смуги закріплювалися до бетонної поверхні анкерами. Вивід кабелів зі спіральної камери в приміщення будинку ГЕС проводився через не використовувану заставну трубу п'єзометра спіральної камери.

Електронний блок ультразвукового витратоміра встановлювався на панелі гідротехнічних споруджень агрегатного щита керування.

Оцінка працездатності витратоміра проводилася в процесі енергетичних випробувань. Енергетичні випробування були виконані при двох значеннях напору турбіни 8,2 м і 11,5 м. Випробування проводилися при роботі агрегату по існуючій комбінаторній залежності й у пропелерних режимах.

У перші роки експлуатації ГЕС проводилися випробування турбін індексним методом з використанням традиційного спірального витратоміра практично при таких же напорах. Ці результати подібні отриманим із застосуванням ультразвукового витратоміра, що забезпечують стабільний і більш точний вимір величини витрати. Звідси випливає, що ультразвуковий витратомір можна використовувати не тільки при енергетичних випробуваннях з метою визначення оптимальних комбінаторних залежностей, але й у якості штатного витратоміра.

Ультразвуковий витратомір пройшов пробну експлуатацію в комп'ютерній мережі ГЕС. Зауважень по роботі не виявлене. Прилад надійно працював при різних гідравлічних режимах, пусках, наборах і зниженнях навантаження на гідроагрегату. За результатами застосування ультразвукового витратоміра на русловій низьконапірній гідроелектростанції можна зробити висновки й рекомендації.



Рисунок. - 7.2 Ультразвуковий витратомір УЗР-2

Застосовуються для виміру витрат й обсягу стоку води в енергетичних водоводах ГЕС і ГАЕС.

Традиційні турбінні витратоміри, установлені в спіральних камерах гідротурбін, мають низьку надійність через можливість засмічення й втрати герметичності імпульсних трубок, прокладених у бетонному масиві будівлі ГЕС (ГАЕС). У зв'язку із цим на більшості вітчизняних ГЕС спіральні витратоміри вийшли з ладу й експлуатація енергетичного встаткування ведеться без обліку його дійсних характеристик.

Ми пропонуємо послуги з оснащення ГЕС і ГАЕС вітчизняними ультразвуковими витратомірами з установкою вимірювальних УЗ перетворювачів усередині водоводу на його стінках на високонапорних гідроелектричних станціях, або в спіральній камері агрегатів на середньо та низьконапірних ГЕС.

УЗР вимірює витрату води, що протікає через водовід.

Забезпечує введення й запам'ятовування вимірювальної інформації з уведеної в нього програми, статистичну обробку інформації, а також вивід її на дисплей і цифрової з інтерфейсом RS-232 (RS-485) або аналоговий (струмовий 4...20 мА) виходи.

Період виміру, обчислення й видачі інформації на дисплей і виходи становить не більш 15 секунд. У кожному періоді вимірюється не менш 50 миттєвих значень витрати, з яких статистичною обробкою виходить середнє.

Видача інформації на цифровий вихід здійснюється кодами ASCII .

Відстань у мережі між УЗР і акустичними перетворювачами (АП) повинне бути не більш 200 метрів. УЗР забезпечує діагностику його основних вузлів, стану ліній підключення АП і первинну статистичну обробку вихідних сигналів АП.

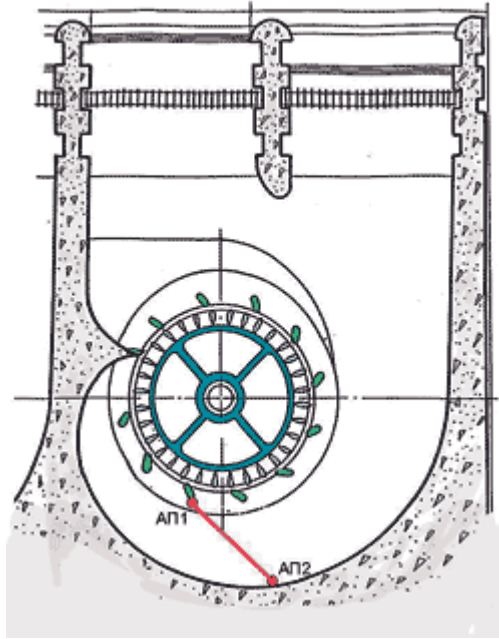


Рисунок. - 10.3

Розріз спіральної

камери

Для збільшення надійності роботи УЗР у кожному водоводі встановлюється 4 АП УЗР- 2 кожний зі своїм кабелем. При виході з ладу робочого каналу УЗР вручну може бути переведений на резервний.

Середній наробіток на відмову не менш 24000 годин.

Состав комплекту поставки:

Блок УЗР ... 1 шт.

Роздавальна коробка ... 1 шт.

Посібник з експлуатації...1 экз.

Акустичні перетворювачі АП ...4 шт.

Коаксіальні кабелі від кожного АП

Таблиця 7.1 - Специфікація

<b>Специфікація</b>	<b>УЗР-2</b>
Діапазон виміру витрати води, м <sup>3</sup> /с	10...800
Основна погрішність	±2.0 % від діапазону
Діапазон температур	-0°C до +40°C
Живлення напругою ~ струму частотою 50±3 Гц, В	170 ± 250
Діаметр водоводу до, мм	10000
Режим роботи	цілодобовий
Габаритні розміри вимірювального блоку, мм	345x200x180
Маса вимірювального блоку, кг	5
Термін служби, років	14

Вперше у вітчизняній практиці на русловій ГЕС реалізований вимір витрати турбіни акустичним способом за допомогою ультразвукового витратоміра, встановленого в спіральній камері.

Застосування ультразвукового витратоміра дозволяє оптимізувати комбінаторну залежність, що підвищує ККД турбіни на 2-4%.

Ультразвуковий витратомір у спіральній камері функціонально повністю заміняє традиційний спіральний витратомір, маючи при цьому ряд переваг:

- акустична система монтується накладним способом у короткий термін і при необхідності може бути відремонтована або замінена;
- ультразвуковий витратомір відповідає сучасним вимогам автоматизації вимірів.

Експериментальна експлуатація ультразвукового витратоміра показала можливість його використання для постійного обліку витрати й стоку води з передачею показань у комп'ютерну мережу.

## 4.8 Досліджуванні установки їх компоненти и обладнання

На індуктивний датчик малогабаритний ДДМ-6

Таблиця 7.2 - Основні технічні дані й характеристики.

Найменування параметра і його розмірність	Норма
Діапазон вимірюваних тисків, м.вод.ст	Від -1 до +1
Нелінійність градуювальних характеристик у діапазоні вимірюваних тисків, z	10
Поріг відчуття , z від максимального тиску не більш	1
Габарити, мм	D10-50
Маса, г	25

Таблиця 7.3 Результати приймально-здавальних випробувань

Найменування	Вимоги за договором	Фактична величина
1.Максимальний статичний тиск, м.вод.ст	Р.макс.= від -1 до +1	Рст.макс= від -1 до + 1
2.Поріг чутливості,%не більш	1 від Рст.макс.	0.45 від Рст.макс
Габарити	Згідно з договором	Відповідає

Таблиця 7.4 Перелік апаратури для випробування датчика.

Найменування	Тип
1.Індикатор двоканальний індуктивний	ИД-2И
2.Індикатор стрілочний кл.05	М-252
3.Манометр зразковий поршневий	МОП-60
4.Ламповий мегометр	МОМ-3



Таблиця 7.5 Таблиця випробування датчика на тиски й результати перевірки при  $t = +20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Рст.м.вод	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
.ст	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8	-0.9
Увих,мВ	9.5	18.5	28.5	38.5	48.5	58.5	68.5	77.5	87.5
	-9.0	-18.5	-27.5	-35.5	-43.5	-51.0	-59.0	-66.5	-74.5

Таблиця 7.6 Комплект поставки

N	Найменування	Кількість
*		
1.	Датчик ДДМ-6	1 шт
2.	Захисний ковпак	1 шт
3.	Паспорт ДДМ-6-4	1 шт
4.	Укладальна коробка	1 на партію

Свідчення про приймання.

Датчик відповідає технічним даним на датчики ДДМ-6 згідно договору. Визнаний придатним для експлуатації.

Датчик повинен зберігатися у твердій упаковці з мембраною, захищену ковпачком і ватою, у чистому сухому складському приміщенні при температурі  $+5 - +25^{\circ}\text{C}$ , з відносною вологістю не більш 70%, без різких коливань температури й при відсутності агресивних речовин.

2У. Гарантійні зобов'язання.

Постачальник гарантує придатність датчика ДД-6 при дотриманні споживачем умов зберігання, транспортування й експлуатації. Строк гарантії придатність 6 місяців визначається від дня відправлення продукції замовникові.

При порушенні правил зберігання, транспортування й експлуатації постачальник гарантію знімає.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

Відповідно до ГОСТ 12.0.003-91 "Небезпечні і шкідливі виробничі фактори" всі виникаючі у виробничих умовах небезпечні та шкідливі фактори поділяються за природою дії на наступні групи: біологічні, психологічні, фізичні, хімічні. На ГЕС присутні в основному тільки фізичні виробничі фактори:

- 1) рухомі машини та механізми;
- 2) незахищені рухливі елементи виробничого обладнання;
- 3) підвищений рівень шуму, підвищена температура поверхонь обладнання;
- 4) підвищена або знижена температура повітря робочої зони;
- 5) підвищений рівень вібрації;
- 6) великі значення напруги і струму в електричному ланцюзі

При роботі гідроенергетичного обладнання основними шкідливими факторами є шум і вібрація.

Шум найбільш несприятливий фактор, що впливає на людину. У результаті стомлення через сильний шум збільшується кількість помилок при роботі, підвищується небезпека виникнення травм і знижується продуктивність праці. Шум складається з величезної кількості гармонійних коливань різних частот. Шуми різної частоти діють на організм по-різному, що враховується при нормуванні шумів. Шум звукового діапазону уповільнює реакцію людини на поступаючі від технічних пристроїв звукові сигнали які надходять від технічних пристроїв, це призводить до зниження уваги і збільшення помилок при виконанні різних видів робіт. Шум пригнічує центральну нервову систему (ЦНС), викликає зміни швидкості дихання і пульсу, сприяє порушенню обміну речовин, виникненню серцево-судинних захворювань, виразки шлунка, гіпертонічної хвороби. При впливі шуму високих рівнів (більше 140 дБ) можливий розрив барабанних перетинок, контузія, а при ще більш високих (більше 160 дБ) - й смерть.

Джерелами шуму можуть служити будь-які коливання у твердих, рідких і газоподібних середовищах; в техніці основні джерела шуму - різні двигуни і механізми. Загальноприйнятою є така класифікація шумів:

- за джерелом виникнення;
- механічні;
- гідравлічні;
- аеродинамічні;
- електричні.

Підвищена шумність машин і механізмів часто є ознакою наявності в них несправностей або нераціональності конструкцій. Джерелами шуму на ГЕС є транспорт, технологічне обладнання та гідроагрегати. Збудниками шуму гідроагрегата служать в основному коливальні процеси гідродинамічного і механічного походження. Так як кавітаційні явища притаманні всім реактивним гідротурбін, у міру розвитку кавітації зростає шум у проточній частині гідротурбін, збільшується вібрація кришки турбіни та інших опорних частин гідроагрегату. Для запобігання цього ведеться постійний пошук найбільш кавітаційно-стійких матеріалів для виготовлення робочих коліс і проточної частини гідротурбін. Однак основною мірою захисту реактивних гідротурбін від кавітації є достатнє заглиблення робочих коліс.

Класифікація шумів, що впливають на людину

1. За характером спектра шуму виділяють:

-широкосмуговий шум з безперервним спектром шириною більше 1 октави;

- тональний шум, в спектрі якого є виражені тони.

2. За тимчасовими характеристиками шуму виділяють:

- постійний шум, рівень звуку якого за 8-годинний робочий день який змінюється в часі не більше ніж на 5 дБА;

- непостійний шум, рівень якого за 8-годинний робочий день, робочу зміну змінюється в часі більш ніж на 5 дБА при вимірюваннях на часовій характеристиці шумоміра "повільно".

3. Непостійні шуми поділяють на:

- коливний у часі шум, рівень звуку якого безперервно змінюється у часі;

- переривчастий шум, рівень звуку якого ступінчато змінюється (на 5дБА і більше), причому тривалість інтервалів, протягом яких рівень залишається постійним, становить 1 с і більше;

- імпульсний шум, що складається з одного або декількох звукових сигналів, кожен тривалістю менше 1 с, при цьому рівні звуку відрізняються не менш ніж на 7 дБ.

- обрані машини з найменшою вібрацією;

- зафіксовані робочі місця(зони), на яких працюючі можуть піддаватися впливу вібрації;

- визначено вимоги вібробезпечних за санітарними нормами з урахуванням тимчасових обмежень впливу вібрації, закладених в технологічний процес і зафіксованих в проектній документації;

- розроблені схеми розміщення машин з урахуванням створення мінімальних рівнів вібрації на робочих місцях;

- вироблена і вказана в проектно-технологічній документації оцінка очікуваного вібраційного навантаження на персонал.

- обрані будівельні рішення основ і перекриттів, що забезпечують виконання вимог вібраційної безпеки праці;

Оскільки гідроагрегат працює на високих обертах, то можлива поява вібрації. З метою зниження вібрації в машинному залі необхідно використовувати вібропоглиначі матеріали для віброізоляції полу, а також робоче колесо гідротурбіни ретельно відбалансувати і встановити лабіринти ущільнення.

*Санітарні норми.* Виробнича санітарія - це система санітарно-технічних гігієнічних і організаційних заходів, що перешкоджають впливу на працюючих шкідливих виробничих факторів.

Виробнича санітарія включає оздоровлення повітряного середовища і нормалізація параметрів мікроклімату в робочій зоні, захист робітників від шуму, вібрації, і забезпечення нормативів освітлення, а також підтримка відповідно до санітарних вимог території підприємства, основних і допоміжних приміщень.

Відповідно до вимогГОСТ12.1.005-88 «Стандарти системи безпеки праці» нормуються оптимальні і допустимі умови мікроклімату (температура повітря, його вологість, а також швидкість в робочій зоні).

*Повітря.* Атмосферний тиск у приміщенні машинного залу повинен бути  $1013,25 \pm 266$  ГПа. При зниженому тиску повітря погіршується відведення теплоти від апаратури, знижуються ізоляційні властивості повітря. Повітря, використовуване для вентиляції машинного залу, повинно очищатися від пилу. Запиленість повітря не повинна перевищувати 1 мг / мі, а розміри порошин - 3 мкм.

У приміщенні машинного залу необхідно передбачити систему опалення. Вона повинна забезпечувати достатнє, постійне і рівномірне нагрівання повітря в приміщенні в холодний період року, а також безпеку щодо пожежі і вибуху. При цьому коливання температури протягом доби не повинні перевищувати 2-3 ° С. Для опалення приміщення машинного залу рекомендується використовувати водяні або повітряні системи центрального опалення.

Робочі гідроагрегати є джерелами надлишкового тепла в приміщенні машинного залу, тому необхідно передбачити систему кондиціонування приміщення в теплий період року.

Для забезпечення комфорту на робочих місцях застосовуються робочі крісла із змінними висотою і кутом нахилу. Також крісла обертаються навколо своєї осі. Монітори комп'ютерів розташовуються на підставці,

забезпеченою шарніром. Це дозволяє повертати монітор в будь-яку сторону, а також регулювати кут його нахилу. Відстань від підлоги до поверхні столу - 0,8 м. Відстань від очей працівника до екрана монітора 0,5-0,6 м.

*Освітлення.* Світло, освітлення відноситься до одного з основних зовнішніх факторів, що постійно впливають на людину в процесі праці. Позитивний вплив освітлення на продуктивність праці і його якість не викликає сумніву. Так, сонячне освітлення збільшує продуктивність праці в середньому на 10 %, а штучне на 13 %, при цьому можливість браку знижується на 20-25 %.

Правильно спроектоване і виконане освітлення на підприємстві забезпечує можливість нормальної виробничої діяльності. Від освітлення в значній мірі залежать: збереження зору працівника, стан його центральної нервової системи, безпека на виробництві та продуктивність праці.

Раціональне освітлення повинно забезпечувати достатню і постійну в часі освітленість поверхонь, необхідний розподіл яскравості в навколишньому просторі, відсутність сліпучого дії джерела світла, сприятливий спектральний склад і правильний напрямок світлового потоку.

*Пожежна безпека* - це стан об'єкта, при якому з встановленою ймовірністю виключається можливість виникнення розвитку пожежі(до такої міри, коли контроль вже неможливий) і впливу на людей небезпечних факторів пожежі, а також забезпечується захист людей та матеріальних цінностей.

На всіх енергетичних підприємствах наказом повинен бути встановлений відповідний протипожежний режим. Усі працівники повинні проходити спеціальні протипожежні навчання в системі виробничого навчання та перевірку знань.

Енергетичні об'єкти повинні бути забезпечені необхідною кількістю води для пожежогасіння.

Критеріями вибору типу і необхідної кількості вогнегасників для захисту об'єкта є:

- рівень пожежної небезпеки об'єкта (будинку, споруди, приміщення);
- клас пожежі горючих речовин та матеріалів, наявних у ньому;
- придатність вогнегасника для гасіння пожежі певного класу та відповідність умовам його експлуатації;
- вогнегасна здатність вогнегасника конкретного типу;
- категорія приміщення за вибуховопожежною або пожежною небезпекою;
- наявність у приміщенні модульної установки автоматичного пожежогасіння;
- площа об'єкта.

Так як. машина зала має клас пожежі Е (пожежа, яка пов'язана з загоранням електричних установок), то необхідно встановлювати 2 порошкових або вуглекислотних вогнегасника.

Мережі протипожежного водогону повинні забезпечувати потрібні за нормами витрату та напір води. У разі недостатнього напору на об'єктах необхідно встановлювати насоси, які підвищують тиск у мережі. Мережі підземного протипожежного водогону на електростанціях та підстанціях слід передбачати стійкими до корозії (напірні пластмасові та ін.).

До протипожежного водопостачання належать водойми (ставки, річки, озера, басейни, канали, градирні, резервуари), насосні станції, мережа трубопроводів на території об'єкта з гідрантами (зовнішній протипожежний водогін), а також мережа трубопроводів у будинках, спорудах з пожежними кранами (внутрішній протипожежний водогін).

Евакуаційні шляхи в межах приміщення повинні забезпечувати можливість безпечного руху людей через евакуаційні виходи з даного приміщення без урахування застосовуваних у ньому засобів пожежогасіння та індивідуальних засобів захисту від небезпечних факторів пожежі.

Двері евакуаційних виходів і інші двері на шляхах евакуації повинні відкриватися у напрямку виходу з будівлі.

Одним з основних засобів виявлення спалаху в машинному залі є пожежна сигналізація. Пристрої ПС повинні встановлюватися на Центральному пункті управління МГЕС.

Електроустановки електричних станцій і мереж в літній грозовий період можуть опинитися під впливом грозових атмосферних електричних розрядів. Для цього необхідно виконати таку захист: ОРУ і відкриті підстанції напругою 20-500 кВ, як правило, необхідно захищати від прямих ударів блискавки за допомогою стрижневих або тросових блискавковідводів, розташованих поблизу обладнання, що захищається або над ним. Зазначені громовідводи мають заземлення, яке зазвичай поєднується із заземленням електрообладнання.

*Електробезпека.* Найбільш часто має місце така причина електричного ураження на виробництві, як дотик працівників до корпусів електроустаткування які обслуговується ними та які знаходяться під напругою.

Ураження людини електрострумом або електричною дугою може відбутися в наступних випадках:

- при двофазному дотику, тобто одночасному дотику до двох фаз електроустановки, що під напругою;  $I_n = U_{\text{Л}}/R_n$ ;
- при однофазному дотику, тобто дотику людини, що має гальванічний зв'язок із землею, до однієї фази електроустановки, що під напругою: мережа з заземленою нейтраллю;  $I_h = U_{\text{ф}}/R_h$ ; - мережа з ізольованою нейтраллю;  $I_h = U_{\text{ф}}/(R_h + R/3)$
- при дотику доне струмопровідних частин електроустановок, що знаходяться під напругою, в результаті пошкодження ізоляції, наприклад, до аварійного корпусу



- включення під напругу кроку, тобто між двома точками ланцюга струму, що знаходяться один від одного на відстані кроку, на яких одночасно стоїть людина;  $I_h = U_{iu} / R_h$

- при дії атмосферної електрики під час розряду блискавки;
- в результаті дії електричної дуги;
- при звільненні іншої людини, що знаходиться під напругою.

Найбільшу небезпеку становить двофазний дотик, так як в цьому випадку людина опиняється під робочою напругою мережі. Найбільша ж кількість електротравм пов'язана з однофазним дотиком людини до струмоведучих частин, при цьому напруга, під яким опиняється людина, не перевищує фазної напруги.

Сучасна система електробезпеки повинна забезпечувати захист людини від ураження електричним струмом у двох найбільш ймовірних і небезпечних випадках:

- при прямому дотику до струмоведучих частин електроустаткування, що під напругою;
- при непрямому дотику.

Під непрямим дотиком розуміється дотик людини до відкритих провідних частин обладнання, на яких в нормальному режимі (справному стані) електроустановки відсутня електричний потенціал, але при будь-яких несправностях, що викликали порушення ізоляції або її пробій на корпус, на цих частинах можлива поява небезпечного для життя людини електричного потенціалу.

Відкрита провідна частина (ОПЧ) - доступна дотику провідна частина електроустановки, нормально не знаходяться під напругою, але що може виявитися під напругою при пошкодженні основної ізоляції.

Стороння провідна частина (РПЛ) - провідна частина, яка не є частиною електроустановки (металоконструкції будівлі, металеві труби водопостачання, газопостачання, опалення та ін).

Основне правило електробезпеки полягає в тому, що струмопровідні частини електроустановки повинні бути недоступні для випадкового дотику, а доступні дотику відкриті і сторонні провідні частини не повинні перебувати під напругою, що становить небезпеку ураження електричним струмом як у нормальному режимі роботи електроустановки, так і при пошкодженні ізоляції.

Захисне заземлення або занулення повинно забезпечувати захист людей від ураження електричним струмом при дотику до металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції.

Захисне занулення є досить ефективним засобом, який успішно застосовується для запобігання можливого ураження людей електричним струмом у разі їх дотику до металевих частин корпусу електроустановки, яка випадково перебуває під напругою (наприклад, при пошкодженні ізоляції).

Суть захисної дії занулення полягає в перетворенні аварійного замикання струмоведучих частин установки на корпус у звичайне однофазне коротке замикання. Подібне замикання (між фазним і нульовим захисним провідниками) призведе до появи в ланцюзі великих струмів короткого замикання, що викличе негайне спрацьовування захисного пристрою, тобто автоматичне відключення пошкодженої електроустановки від мережі живлення. В якості захисних пристроїв в цьому випадку можуть використовуватися:

- Плавкі вставки (запобіжники) або автомати (АВ), що встановлюються для захисту від струмів короткого замикання;
- Магнітні пускачі;
- Контактори.

Оскільки при зануленні металевих частин електроустановок одночасно здійснюється і їх заземлення (через нульовий захисний провідник і глухо заземленою нейтраллю), то в аварійному режимі, з моменту

виникнення замикання на корпус і до відключення електроустановки від мережі, попутно виявляється і захисну дію цього заземлення.

Таким чином, захисне занулення корпусів електроустановок вирішує одночасно два завдання по захисту людини від ураження електричним струмом: виробляє швидке автоматичне відключення пошкодженої частини електроустановок від лінії живлення і знижує величину небезпечної напруги на занулених металевих частинах, які випадково опинилися під напругою.

При цьому відключення установки від мережі проводиться тільки в разі замикання окремих струмоведучих частин на корпус. Зниження ж напруги дотику до безпечної величини відбувається у всіх випадках присутності небезпечної для життя людини напруги на занулених струмопровідних частинах, в тому числі і при замиканні на корпус, електромагнітному (електростатичному) впливі сусідніх електричних полів від інших електроприймачів і т. п.

Замір опору ізоляції є головною ланкою у визначенні стану ізоляції, а, відповідно, і в забезпеченні безпеки використання електромереж та обладнання.

Для зняття показань стану ізоляції використовують спеціальний прилад - мегомметр. Він складається з генератора струму та механізму, що вимірює напругу. При роботі з мегомметром обов'язково потрібно використовувати затискачі з ізольованими рукоятками. Якщо ізоляція досліджується на напругувище 1000 В, необхідно надягати діелектричні рукавички. До струмоведучих частин під час перевірки опору торкатися не можна.

Контур заземлення необхідний для захисту персоналу від ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції обладнання, тобто короткому замиканні на землю, коли можлива поява великої напруги дотику і крокової напруги. Якість контуру заземлення характеризується його опором, яке для електроустановок з великими струмами замикання на землю має бути не більше 0,5 Ом. Контур заземлення виконується з протяжних (зі смуг) і

глибинних(з прутків і куточків) заземлювачів. До контуру приєднуються всі без винятку корпуси і кожухи обладнання.

Наслідки від ураження електричним струмом залежать від шляху, по якому пройшов струм у тілі потерпілого. На електростанціях найбільшу небезпеку має струм, що пройшов через серце, головний або спинний мозок, легені. Найпоширенішими шляхами струму в тілі людини є: рука - рука, права рука - ноги, ліва рука - ноги, нога - нога, голова - ноги і голова - руки. Найбільш небезпечними є шляхи голова - рука і голова - ноги (шлях струму через мозок), найменш небезпечним - шлях нога - нога. Найбільш вразливими місцями на тілі людини, дотик до яких навіть при дуже малих токах і напружених може викликати смертельний результат, є ділянка на руці вище кисті, шия, скроня, спина, передня частина ноги і плече.

Профілактичні роботи та поточний ремонт повинні проводитися з повним відключенням напруги. Без зняття напруги дистанційного живлення в порядку поточної експлуатації можуть виконуватися такі роботи: прибирання приміщення, чищення і обтирання кожухів і корпусів підсилювального обладнання; з частково знятою напругою - регулювання і зміна іскрових розрядників.

Всі розпорядження, що стосуються включення і вимкнення напруги живлення, а також, фактичний час включення і виключення напруги повинні бути записані в журналі робіт станції. На ключах, рубильниках або кнопках, за допомогою яких знято напругу дистанційного живлення, повинні бути повішені плакати з написом «Не включати - працюють люди!» Зняти плакат і включити напругу може тільки особа яка повісила плакат (або його заміняє по зміні) після отримання повідомлення про закінчення робіт.

Аварійні роботи можуть проводитися і на не відключеному обладнанні, але не менше ніж двома особами. При цьому слід працювати в діелектричних калошах або стоячи на діелектричному килимку, інструментом з ізольованими ручками.

Для захисту персоналу, що обслуговує електроустановку, від ураження електричним струмом служать ізолюючі захисні засоби: при напрузі до 1000 В - діелектричні рукавички, монтерський інструмент з ізолюючими ручками, пристроє які показують напругу; при напрузі вище 1000 В - ізолюючі та вимірювальні штанги, ізолюючі сходи та інші пристрої і пристосування. До додаткових ізолюючих засобів при напрузі до 1000В відносяться діелектричні боти і калоші, гумові килимки та доріжки; при напрузі вище 1000В - діелектричні рукавички, боти, килимки, а також ізолюючі підставки.

До захисних засобів відносяться також переносні тимчасові і постійні огороження, щити, ізолюючі ковпаки, тимчасові заземлення та попереджувальні плакати.

Огорожі у вигляді суцільних або ґратчастих дерев'яних щитів і ширм встановлюються на відстані не менше 0,3-0,5 м від струмопровідних частин. Переносні тимчасові заземлення застосовують для захисту від ураження струмом при випадковому появі напруги на відключених струмопровідних частинах апаратури. При цьому також вивіщується плакат «Не включати працюють люди!».

*Екологічна безпека.* До найбільш значущих екологічних та соціальних аспектів будівництва та експлуатації ГЕС належать:

- створення водосховища і пов'язані з цим вилучення земель, мінеральних ресурсів, трансформація ландшафтів, кліматичні зміни;
- підготовка ложа водосховища, у тому числі, повалення лісу та санація території;
- скиди ГЕС в процесі експлуатації і пов'язані з цим зміни гідрологічного, температурного і льодового режиму річки в нижньому б'єфі гідровузла;
- викиди забруднюючих речовин в атмосферу на етапі будівництва і експлуатації;

- утворення і управління відходами на стадії будівництва та експлуатації;

- небезпеки та ризики для населення та персоналу, пов'язані зі станом гідротехнічних споруд та порядком будівництва та експлуатації ГЕС;

- переселення населення із зони затоплення;

Негативний вплив на геологічне середовище може бути виражена в таких процесах, як:

- формування нової берегової лінії;

- підтоплення і заболочування території, активізація екзогенних процесів;

- спливання торфовищ на водосховищі;

- вилучення мінеральних ресурсів;

- зміни гідрогеологічного та гідрогеохімічного режимів;

- наведена сейсмічність.

Створення водосховища призведе до збільшення зони впливу водних мас на формування місцевих кліматичних умов. Створення відкритого водного простору (водосховища) змінить термодинамічні та оптичні властивості підстилаючої поверхні ландшафтів.

Вплив гребель на парниковий ефект встановила Всесвітня комісія з гребель (ВКГ). На всіх обстежених водосховищах відбувається утворення газів, що викликають парниковий ефект, аналогічно тому, як це відбувається на озерах внаслідок гниття рослин і припливу вуглецю з водозбору.

Створення водосховища буде супроводжуватися наступними процесами:

- формування нових процесів водного, льодового та термічного режимів;

- зміна процесів переносу і седиментації наносів;

- формування нового гідробіологічного режиму та підвищення біологічної продуктивності водойми;

Одна з переваг гідроенергетики як методу генерації електрики полягає в тому, що експлуатація ГЕС не призводить до суттєвих викидів в атмосферу. У порівнянні з тепловими електростанціями, що працюють на вугіллі або навіть природному газі, ГЕС в процесі експлуатації не викидає в атмосферу концентровані хімічні речовини. Однак різні будівельні роботи на етапі спорудження греблі призводять до викидів забруднюючих речовин в атмосферу. Зокрема, джерелами викидів будуть автомобілі та інше обладнання, що використовується при будівельних роботах.

Утворення відходів і поводження з ними є одним з найбільш значущих аспектів на етапі будівництва. Джерелами утворення відходів при будівництві є будівництво греблі та підготовка ложа (включаючи лісозводку і санацію території населених пунктів і об'єктів тваринництва). Основним, найбільш масовим видом відходів на будівництво ГЕС є будівельне сміття, що утворюється на буд майданчику і території будівельних баз.

На етапі експлуатації ГЕС утворення відходів носить менш масштабний характер і зводиться до звичайного для будь-якого великого об'єкта переліку видів відходів.

Для більшості гідротехнічних об'єктів переселення населення є самим значним аспектом, що визначає основні впливи на суспільство. Масштабне гідро енергобудівництво об'єктивно пов'язано з вилученням земель під водосховище, що часто вимагає переселення населення з відведеної під нього території.

Основні соціальні впливи, пов'язані з закінченням переселення, зводяться до наступним:

- зміна якості та способу життя переселеного населення і руйнування місцевих громад;
- втрата частини культурної спадщини;
- ліквідація поселень і урбанізація території;
- соціальні впливи на поселення-реципієнти;

- зміна структури зайнятості населення (в т.ч. обмеження кар'єрних перспектив).

Захист від блискавки - це комплекс технічних рішень і спеціальних пристосувань для забезпечення безпеки будівлі, а також майна і людей, що знаходяться в ньому. небезпека для будівель (споруд) в результаті прямого удару блискавки може призвести до:

- пошкодження будівлі (споруди) і його частин;
- відмови електричних і електронних частин що знаходяться в середині споруди;
- загибелі та травмування живих істот, що знаходяться безпосередньо в будинку (споруді) або поблизу нього.

Зовнішній блискавкозахист являє собою систему, що забезпечує перехоплення блискавки і відведення її в землю, тим самим, захищаючи будівлю (споруду) від пошкодження і пожежі. У момент прямого удару блискавки в будівельний об'єкт правильно спроектоване і споруджене блискавкозахисний пристрій повинен прийняти на себе струм блискавки і відвести його по струмоводу в систему заземлення, де енергія розряду повинна безпечно розсіятися. Проходження струму блискавки має статися без збитку для об'єкту захисту, і бути безпечним для людей, що знаходяться як усередині, так і зовні цього об'єкта.

Існують наступні види зовнішнього блискавко захисту:

- блискавко приймаюча мережа;
- натягнутий блискавко приймаючий трос;
- блискавко приймаючий стрижень.

*План локалізації та ліквідації аварійних ситуацій і аварій «ПЛАС».*

Мета ПЛАС – визначається захистом персоналу підприємства, спецпідрозділів, населення, центральних і місцевих органів виконавчої влади з локалізації чи ліквідації аварійних ситуацій, аварій та зменшення їх наслідків.



ПЛАС складається:

1) Аналітичної частини, в якій наводиться аналіз небезпеки розглянутого об'єкта. При проведенні аналізу небезпеки об'єкту визначаються величини надлишкового тиску при вибуху газопароповітряних сумішей у приміщенні, на відкритому майданчику і в обладнанні, а також межі зон дії вражаючих чинників при факельному горінні газу, пожежі протоки ЛЗР / ГР та ін. Аналітична частина ПЛАС проходить незалежну експертизу в ЕТЦ.

2) Оперативної частини, в якій описуються дії персоналу, посадових осіб підприємства, спецпідрозділів, спрямовані на локалізацію та ліквідацію можливої аварійної ситуації / аварії. Метою описаних дій є:

- попередження виникнення аварійних ситуацій;
- попередження переходу аварійних ситуацій в аварію;
- локалізація і ліквідація аварій на відповідних стадіях їх розвитку з метою зведення до мінімуму наслідки аварій для людей матеріальних цінностей та довкілля, запобігання її поширенню на інші виробництва і виведення людей з цих зон з урахуванням потенційно безпечних зон.

ПЛАС необхідно узгодити з територіальними органами Держгірпромнагляду, СЕС, ДСНС і при необхідності з органами місцевого самоврядування.

## ВИСНОВОК

Дана дослідницька робота дозволить використання більш точного й дешевого способу дослідження можливості виміру витрати води через гідротурбіну за допомогою явища гідравлічного удару. У ході правильного розв'язання даного актуального питання наступні всі виміри можна буде застосовувати на виробництві, тому що цей спосіб виміру витрати води є економічно вигідним і найбільш точним. Дані методи виміру витрати води, до які використовують на виробництві, такі як ультразвуковий вимір витрати, так і лазерний за допомогою спеціальних приладів, які дуже дорогі в закупівлі й не відрізняються особливою точністю.

При виконанні роботи було визначено два типа гідрудару:

- Повний (прямий) гідравлічний удар
- Неповний (непрямий) гідравлічний удар

При повному гідрударі фронт виникла ударної хвилі рухається в напрямку, протилежному первинному напрямку руху рідини в трубопроводі. Його подальший напрямок руху залежить від елементів трубопроводу, розташованих до закритої засувки. Можливо і повторне неодноразове проходження фронту хвилі в прямому і зворотному напрямках.

При неповному гідрударі фронт ударної хвилі не тільки змінює напрямок свого руху на протилежне, але і частково проходить далі крізь не до кінця закрити засувку.

При цьому дотримувались необхідності використання запобіжних заходів щодо явища кавітації при закритті та відкритті трубопроводів , а саме:

- введення в потік повітря під тиском, або повільна швидкість закриття
- збільшення діаметра водопроводу.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Логинов Ф. Г. Днепрогэс восстанавливается. — Гидротехническое строительство, 1946, № 3.
2. Логинов Ф. Г. Возрождение Днепрогэса. — К.: Гостехиздат Украины, 1951. — 152 с.
3. Асарин А.Е., Бестужев К.Н. Водоэнергетические расчёты. М., Энергоатомиздат, 1986.
4. Использование водной энергии. Под ред. Щавелева Л., «Энергия», 1976.
5. Справочник по водным ресурсам УССР. Под ред. Стрельца Б.И. К., Урожай, 1988.
6. Губін Ф.Ф. Гідроелектричні станції. Москва., 1972 р.- 230с
7. Гидроэнергетика и комплексное использование водных ресурсов СССР. Под ред. Непорожного П.С. М., Энергия, 1982
8. Гидрологические основы гидроэнергетики. Под ред. Резниковского А.Ш. М., Энергоатомиздат, 1989.
9. Гидроэлектрические станции. Под ред. Карелина В.Я. и Кривченко Г.И. М., Энергоатомиздат, 1987
10. Гидроэлектрические станции. Под ред. Губина Ф.Ф. и Кривченко Г.И. М., Энергия, 1980
11. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций. Справочное пособие в 2 томах. Под ред. Ю.С. Васильева, Д.С. Щавелева. М., Энергоатомиздат, 1988.
12. Ильиных И.И. Гидроэлектростанции. М., Энергоиздат, 1982.
13. Клингерт Н.В., Хохарин А.Х., Фрейшист А.Р. Стальные трубопроводы гидроэлектрических станций. М., Энергия, 1973.
14. Пашков Н.Н., Долгачёв Ф.М. Гидравлика. Основы гидрологии. М., Энергоатомиздат, 1985.
15. Полонский Г.А. Глубинные затворы гидротехнических сооружений. М., Энергия, 1978.

16. Полонский Г.А. Механическое оборудование гидротехнических сооружений . М.,Эннергоиздат,1982.
17. Самойленко Є.Г. Гідроенергетичне обладнання гідро та гідроакумулюючих електростанцій. Запоріжжя, ЗДІА, 2006.
18. Справочник конструктора гидротурбин. Под ред. Ковалёва Н.Н. Л., Машиностроение, 1984.
19. Справочник по водным ресурсам УССР. Под ред. Стрельца Б.И. К.,Урожай,1988.
20. Справочник по гидравлическим расчётам. Под ред. Киселёва П.Г. М., Энергия,1974.
21. Технічна експлуатація електричних станцій і підстанцій. Правила ГДК 34.20.507-2003. К., «ГРІФРЕ», 2005.
22. Фрейшист А.Р., Хохарин М.Х., Мор А.М. Стальные трубопроводы гидроэлектрических станций. М.,Энергоиздат, 1982.
23. Чугаев Р.Р. Гидравлика: учебник для гидротехнич. спец. вузов. – М. Л.; Госэнергоиздат, 1963.-528с.
24. Чугаев Р.Р. Гидравлика (техническая механика жидкости): учебник для гидротехнич. спец. вузов. – Л .: Энергия, 1975.-600с .
25. Чугаев Р.Р. Гидравлика (техническая механика жидкости): учебник для гидротехнич. спец. вузов. – Л .:Энергоиздат, 1982-672с.
26. Левицький Б.Ф., Лещій Н.П. Гидравліка, загальний курс: для ст.інженерно-технічних спец.вузов . – Львів : Світ, 1994.- 264.
27. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений. Справочное пособие. – М .: Энергоатомиздат, 1988-626с.
- 28 . Железняков Г.В. Гидрология и гидрометрия: для дорожно-стр.спец.вузов. – М.:Высшая школа, 1981.-264с.
29. Справочник по гидравлическим расчетам// под ред. П.Г. Киселёва. – М.Энергия, 1972. – 312 с.
30. Пашков Н.Н., Долгачев Ф.М. Гидравлика, основы гидрологии: учебник для гидроэнергетич.техн. –М.:Энергоатомиздат, 1985. – 384 с.

31. Гидравлическое сопротивление. [URL:gidravli.narod.ru/gidrosopt.html](http://gidravli.narod.ru/gidrosopt.html)  
(дата звернення: 15.09.2018)
32. Ландау Л.Д. Гидроэнергетика/ Л.Д Ландау, Е.М.Лифшиц, - т.4. – М: Наука, 2001.-300с.
33. Кочин Н.Е. Теоретическая гидромеханика/ Н.Е. Кочин, И.А Кибель, Н.В.Розе, - 6 -е изд.,ч.1. – М: Энергоиздат, 1983.-287с.
34. Меркулов В.И. Управление движением жидкости/ В.И. Меркулов.- М: Машиностроение, 1981.-171с.
35. Милович А.Я. Основы динамики жидкости/ А.Я. Милович. – М: Энергоиздат, 1993.-159с.
36. Перник А.Д. Проблемы кавитации/ А.Д.Перник, 2-е изд. – Л.:Судостроение, 1966.-35с.
37. Картвелишвили Н.А. Гидравлический удар и надёжность напорных трубопроводов ГЭС/ Н.А.Картвелишвили, И.А. Чернятин, Г.В. Автономов. – М: Наука, 1967. – 356с.
38. Влияние выбраного материала труб на величину давления в трубопроводе при возможном гидравлическом ударе. URL: <http://cyderlenika.ru/article/n/vliyanie-vybranogo-materiala-trud-na-velichiny-davleniya-v-tryboprovode-pri-vozmozhnom-gidravlicheskom-udare> (дата звернення 05.10.2018).
39. Про затвердження державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» від 08.04.2014//Міністерство Охорони Здоров'я.  
[URL://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14](http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14) ( дата звернення 09.10.2018).
- 40.Охорона праці на підприємстві.  
[URL:http://ptavdop.com.ua/publications/komentarii-zakonodatelstva/ohrana-truda-na-predpriytii-glavnie-trebovaniya](http://ptavdop.com.ua/publications/komentarii-zakonodatelstva/ohrana-truda-na-predpriytii-glavnie-trebovaniya) (дата звернення: 20.10.2018).

