План

1. Кавітація в турбінах і вибір відмітки робочого колеса. Допустима висота відсмоктування. Регулювання гідротурбін. Види турбінних камер, їх призначення. Конструктивні особливості відсмоктувальних труб

1.1 Кавітація в гідротурбінах і вибір відмітки робочого колеса

1.2 Допустима висота відсмоктування

1.3 Турбінні камери ГЕС

1.4 Відсмоктувальні труби ГЕС

1.5 Регулювання гідротурбін

2. Конструкція основних вузлів гідрогенераторів. Підбір гідрогенераторів і визначення їх основних розмірів. Компонування гідроагрегатів. Трансформатори. Вантажопідйомні механізми. Допоміжне обладнання ГЕС

2.1 Гідрогенератори ГЕС

2.2 Підбір гідрогенераторів

2.3 Компонування гідроагрегатів

2.4 Трансформатори ГЕС

2.5 Механічне та допоміжне обладнання ГЕС, вантажопідйомні механізми

Список рекомендованої літератури

**1. Кавітація в турбінах і вибір відмітки робочого колеса. Допустима висота відсмоктування. Регулювання гідротурбін. Види турбінних камер, їх призначення. Конструктивні особливості відсмоктувальних труб**

# 1.1 Кавітація в гідротурбінах і вибір відмітки робочого колеса

**Кавітація -** це динамічний процес, що характеризується місцевим розривом суцільності потоку рідини з утворенням паро-газових пустот і наступним їх змиканням.

Значна кавітація призводить до падіння к.к.д. турбін, пульсації тиску у потоці і шкідливих вібрацій всього гідроагрегату. Наслідком кавітації є *кавітаційна ерозія,* яка розрушує проточну частину турбіни.

Кавітація погіршує енергетичні і експлуатаційні характеристики гідромашин, що не допустимо при нормальній їх роботі. Виникає вона внаслідок зменшення тиску в рідині. Кавітація не виникатиме, коли у всіх точках проточного тракту тиск ра,і буде більший, ніж тиск насиченої водяної пари рвп:

ра,і>рвп.

**Коефіцієнт кавітації (σ)** показує, яку частину напору турбіни становить динамічне розрідження у проточному тракті:



де В - барометричний тиск, м;

Hs - висота відсмоктування (висота розміщення робочого колеса відносно рівня нижнього б’єфу), м;

Hd - напір, який відповідає тиску водяної пари при певній температурі, м;

H - напір на установці, м.

**Висотне розміщення турбіни, або відмітка робочого колеса (∇РК)** характеризується допустимою висотою відсмоктування (Hs) за умови безкавітаційної роботи при усіх можливих режимах в межах робочої зони на головній універсальній характеристиці. Визначається вона за залежностями:

∇РК=∇НБ+Hs,

∇PKK=∇+HKs,

де НКs - конструктивна допустима висота відсмоктування, м.

**Конструктивна допустима висота відсмоктування** залежить від геометричних розмірів та робочих характеристик робочого колеса турбіни і визначається за залежностями:

*для РО і діагональних турбін:*



*для вертикальних ПЛ-турбін:*



*для горизонтальних капсульних агрегатів:*



де b0 - висота направляючого апарату, м;

h1 - висота камери робочого колеса турбіни, м.

# 1.2 Допустима висота відсмоктування

Щоб у проточному тракті турбіни не виникала кавітація, необхідно обмежувати висоту відсмоктування:



де ∇ - абсолютна відмітка розташування турбіни над рівнем моря, м;

k – коефіцієнт запасу, k=1,05...1,1.

**Інші методи боротьби із кавітацією такі:**

1. виготовлення турбіни із нержавіючої сталі або захист її деталей шаром нержавіючої сталі;
2. вибір правильної форми робочого колеса;
3. вибір правильного режиму експлуатації;
4. додаткове заглиблення турбіни;
5. подача повітря у зони кавітації (аерація потоку).

# 1.3 Турбінні камери ГЕС

**Турбінні камери призначені** для підводу води від водоприймача ГЕС до направляючого апарату турбіни. До них висуваються наступні **вимоги**:

1. рівномірне по всьому периметру постачання водою направляючого апарату;
2. гідравлічні втрати у самій камері, у статорі і при вході потоку у направляючий апарат повинні бути мінімальними;
3. форма і розміри турбінної камери повинні відповідати умовам компонування блоку будівлі ГЕС.

Турбінні камери бувають чотирьох видів:

**- спіральні:** бетонні або залізобетонні (при Н=4...80 м) і металеві (при Н=40...700 м), які використовуються практично для всіх типів турбін;

**- прямоточні** - використовуються для осьових направляючих апаратів (капсульних гідроагрегатів);

**- відкриті безнапірні** - для малих низьконапірних турбін (D1<160 см і Н до 6,0 м);

**- кожухові** - для горизонтальних малих турбін (D1<100 см, Н<25,0 м).

**Металеві спіральні камери** мають кут обхвату ϕ0=340...3500, поперечний переріз має круглу форму. Ближче до кінця турбінної камери із зменшенням витрати площа поперечного перерізу зменшується .

**Бетонні та залізобетонні турбінні камери** мають менші кути обхвату ϕ0=180...2700, виконуються трапецієвидного типу і можуть бути такого виду:

а) розвинені вниз із постійною відміткою стелі;

б) розвинені вверх із постійною відміткою підлоги;

в) таврові із перемінними відмітками стелі та підлоги.

При напорах Н>50 м, у бетонних та залізобетонних камерах виконують сталеве лицювання стінок. В основному воно служить протифільтраційним заходом. Товщина сталевих листів коливається в межах 10...16 мм.

Вихідним положенням для розрахунків турбінних камер є рівномірний розподіл витрати у статор і направляючий апарат по його периметру.

Витрата у ϕ-му перерізі турбінної камери визначається за залежністю:

[м3/с],



а площа поперечного перерізу ϕ-ї ділянки рівна:

[м2],



де Qагр - витрата гідротурбіни, м3/с;

ϕ - кут повороту турбінної камери;

νсп.вх. - початкова швидкість у спіральній камері, м/с.

# 1.4 Відсмоктувальні труби ГЕС

Форма і розміри **відсмоктувуальних труб** визначають габаритні розміри підводної частини будівлі ГЕС з реактивними турбінами, а також відмітку закладання основи фундаменту.

Відсмоктувальні труби повинні забезпечувати:

1. перетворення кінетичної енергії, яка виходить із лопатевої системи гідроагрегата потоку в енергію тиску;
2. повне використання перепаду рівнів між верхнім і нижнім б’єфами ГЕС при розташуванні робочого колеса вище рівня води у відвідному каналі;
3. ефективні умови відводу води від гідромашини у відвідний канал ГЕС.

Існує два види відсмоктувальних труб:

**- прямоосні конічні,** які використовуються для малих турбін і горизонтальних капсульних агрегатів;

**- труби із вигнутим коліном,** що складаються із конуса круглого поперечного перерізу, коліна, яке переходить із круглого у прямокутний переріз, і відвідного дифузора прямокутного, постійно зростаючого перерізу.

Вихідний переріз відсмоктувальної труби повинен бути заглиблений під мінімальний рівень нижнього б’єфу не менше, ніж на 0,5 м і закінчуватися колектором із радіусом заокруглення не меншим, ніж 0,03D1.

Основними габаритними розмірами відсмоктувальної труби є висота h, довжина L і ширина дифузора на виході B5.

**Вимоги до проектування:**

1. дифузор повинен бути симетричним осі блоку, тому коліно часто влаштовується асиметричним;
2. при ширині дифузора на виході В5>10...12 м влаштовуються 1-2 проміжні бички товщиною 1,8...2,5 м;
3. в руслових ГЕС розмір В5 збільшується до ширини спіральної камери і проміжний бичок проектується наскрізним;
4. якщо мінімальне затоплення вихідної частини дифузора не забезпечується, конструктивно необхідно збільшити висоту конуса;
5. якщо затоплення дуже велике, дифузор рекомендується робити із зворотнім похилом до 130;
6. в межах дифузора влаштовуються пази ремонтного і аварійно-ремонтного затворів відсмоктувальної труби.

# 1.5 Регулювання гідротурбін

Потужність ГЕС рівна сумі потужностей працюючих агрегатів:

NГЕС=∑Na=∑Nтоηг.

При цьому розподіл навантаження між окремими агрегатами може бути різний. Оптимальним розподілом навантаження є таке, при якому сумарна витрата всіх турбін мінімальна, або середній к.к.д. має найбільше значення.

**Система автоматичного регулювання (САР)** підтримує постійну частоту обертів агрегату (частоту струму у мережі) при зміні навантаження у ній. **Основними елементами САР** є *автоматичний регулятор швидкості*, який складається із колонки управління і маслонапірної установки та силові механізми – *серводвигуни*. **Маслонапірна установка** складається із масло-повітряного котла, масляних насосів і зливного бачка і забезпечує роботу систем регулювання та керування агрегатом.

Об’єм котла маслонапірної установки визначається за залежністю:

WK=(20...25)WCHA+(3...4)WCPK+3Wзатв+(9...10)WXB, м3,

де WCHA – об’єм двигунів направляючого апарату, м3;

WCPK – об’єм робочого колеса (для ПЛ-турбіни), м3;

Wзатв – об’єм дискових і шарових затворів, м3;

WXB – об’єм холостих випусків, м3.

# 

# 2. Конструкція основних вузлів гідрогенераторів. Підбір гідрогенераторів і визначення їх основних розмірів. Компонування гідроагрегатів. Трансформатори. Вантажопідйомні механізми. Допоміжне обладнання ГЕС

# 2.1 Гідрогенератори ГЕС

Машини, які перетворюють механічну енергію обертів турбіни в електричну, називаються **гідрогенераторами.** На ГЕС, як правило, встановлюються синхронні генератори трифазного струму вертикального виконання

#### Основними елементами гідрогенератора є нерухома частина *– статор* та *ротор,* який приводиться в обертовий рух робочим колесом турбіни, закріпленим на одному валу із ним. На роторі закріплюються полюси генератора. Вал генератора жорстко з’єднаний із валом турбіни.

#### Електричний струм знімається із статора. Активна сталь статора разом із полюсами ротора створює *магнітну систему.*

Генератори – це досить досконалі машини, які мають коефіцієнт корисної дії ηг=96...98,4 %.

В залежності від параметрів і умов роботи, вертикальні генератори виконують трьох типі*в: підвісного, зонтичного і з опорою на кришку турбіни.*

**Основні системи та пристрої генератора** такі:

*- система збудження –* призначена для живлення постійним струмом обмоток ротора, які створюють необхідне магнітне поле;

*- гальмівна система –* призначена для зменшення часу роботи з пониженою частотою обертів при зупинці агрегатів;

*- система охолодження* (буває повітряна, форсована і водяна);

*- система контролю захисту управління -* для повної автоматизації роботи гідроагрегатів і сигналізації про порушення умов нормальної роботи;

*- протипожежні пристрої;*

*- система для відтиснення води –* для видалення води з турбіни і верхнього конусу відсмоктувальної труби.

# 2.2 Підбір гідрогенераторів

**Основними розмірами гідрогенератора є**: діаметр розточки статора Di, довжина активної сталі la, діаметр активної сталі Da, число полюсів p.

Гідрогенератори ГЕС випускають, в основному, таких марок:



де букви, використані при маркуванні означають: С – синхронний, В – вертикальний, Г – горизонтальний, Ф – форсоване охолодження, К – капсульне виконання, В (остання літера) – вертикальне виконання капсульних агрегатів.

*Повна потужність генератора* визначається за залежністю:



де NГ – потужність генератора, МВт;

cos ϕ - коефіцієнт потужності (cos ϕ=0,8...0,9).

*Діаметр розточки статора* (Di, м) визначаємо за залежністю:



де n0 – синхронна частота обертів агрегату, об/хв;

К – коефіцієнт, що визначається механічною міцністю ротора при допустимій кільцевій розгінній швидкості uрозг≤uдоп.

Для дискових роторів uдоп=180…185 м/с. Коефіцієнт К у формулі рекомендується приймати у межах К=1750...2300. Отримане значення Di необхідно заокруглити до стандартного.

*Діаметр активної сталі* (Dа) пов’язаний із діаметром розточки статора співвідношенням:

Dа= Dі + а,

де запас а=50...90 см для вертикальних гідромашин і а=30...40 см для горизонтальних, у тому числі і для капсульних агрегатів.

*Довжина активної сталі* 1а визначається за залежністю, яка пов’язує геометричні і енергетичні параметри гідрогенератора:



де Sг i Nг – повна і активна потужності машини, відповідно кВА і кВт;

С – коефіцієнт використання активних матеріалів, .



Таким чином



При *використанні аналогів,* у яких необхідні параметри не співпадають, довжина активної сталі 1а.необ. може бути визначена з умови електричної подібності машин (при однакових С, Di, cos ϕ):



де індекс *“необ.”* означає необхідні параметри електричної машини, індекс *“ан.”* – параметри машини-аналога.

Після визначення параметрів la i Di уточнюємо тип конструкції електричної машини: при рекомендується генератор підвісного виконання, при - зонтичного. При і n0>400÷500 об/хв. приймається підвісне виконання, а при n0≤400÷500 об/хв – зонтичне.



Кількість полюсів генератора р=2П визначається із співвідношення:



де П – “пара полюсів”;

*f* – частота струму в енергосистемі, Гц.

В Україні прийнята частота *f*=50 Гц. Кількість полюсів приймається парною, а при великій кількості – кратна чотирьом, і узгоджується із допустимим питомим навантаженням на один полюс і розмірами дуги ободу ротора.

Крім того, при проектуванні ГЕС визначаються такі параметри генератора, як маховий момент (GD2, т·м2), маса ротора (Gp, т), загальна маса (G0, т), постійна механічної інерції агрегату (Та, с):



при повітряному охолодженні: G0=ψlaDi,

Gp≈(0,5...0,55)G0,



В залежностях приймаються такі позначення: j=4,9...5,1 – коефіцієнт для вертикальних агрегатів, для горизонтальних і капсульних j=2,6...2,8; ψ=44...50 і ψ=48...58 - коефіцієнти відповідно для зонтичних і підвісних генераторів.

Інші позначення пояснено раніше у тексті, причому la i Di у рівняння підставляються у метрах, активна потужність електромашини N у кВт, повна потужність S – у кВА. Значення Та повинне бути більшим необхідного із умов гарантій регулювання. При невиконанні цієї вимоги потрібно відкоригувати значення la i Di.

# 2.3 Компонування гідроагрегатів

Найбільш вагомими факторами в компонуванні гідроагрегатів є тип турбіни і розміщення осі гідроагрегата (вертикальне або горизонтальне). Вибір того чи іншого варіанту повинен обґрунтовуватися техніко-економічним розрахунком.

**У вертикальних гідроагрегатів ГЕС** генератор завжди розміщується над турбіною. Робоче колесо і ротор генератора жорстко закріплені на окремих валах, з’єднаних між собою. Вертикальне положення гідроагрегатів забезпечується підп’ятниками та радіальними опорами.

**Горизонтальні агрегати** використовуються у випадку застосування горизонтальних капсульних або прямоточних агрегатів .

При застосуванні **ковшових турбін** при потужності агрегату до 120 МВт застосовується вертикальне компонування із 6÷7 соплами, які подають воду до ковшової турбіни, а при потужності агрегату меншій 120 МВт застосовується вертикальне компонування із 2÷4 соплами, або горизонтальне із 1÷2 соплами.

# 2.4 Трансформатори ГЕС

Для передачі енергії від ГЕС в енергосистему, напруга, що надходить від генератора, з метою зменшення її втрат у ЛЕП, повинна бути збільшена. Електричні апарати, які перетворюють електричний струм однієї напруги у іншу, називаються **трансформаторами**.

На ГЕС в основному використовуються підвищувальні трансформатори (трифазові або група однофазових). Трансформатори потрібно розташовувати якомога ближче до гідроагрегатів біля машинної зали ГЕС: при русловому компонуванні – зі сторони нижнього б’єфу, при пригреблевому – між машинною залою і греблею на спеціальному майданчику.

Від трансформаторів електричний струм поступає на підвищуючу підстанцію до розподільчих пристроїв (відкритих /ВРП/ або закритих /ЗРП/), звідти – на лінію електропередач високої напруги, і далі – до споживачів.

При маркуванні трансформаторів використовуються такі *літерні позначення:* А – автотрансформатор, О – однофазовий, Т – трифазовий, М – із масляним охолодженням, Д – із охолодженням дуттям повітря, Ц – примусова циркуляція масла через охолоджувач, Ф – форсоване охолодження, Т (в середині марки) – триобмотковий, С – сухий, Г – грозотривкий, Т (остання літера марки) – тропічне виконання.

Наприклад, марка АТДЦТГ 240000/330 розшифровується, як: автотрансформатор трифазовий, з примусовою циркуляцією повітря і масла через охолоджувач, триобмотковий, грозотривкий, потужністю 240 тис. кВт із напругою на виході 330 кВ.

*При великих потужностях агрегатів* (Na>200 MBт) використовується з'єднання електричної схеми одного генератора з одним трансформатором і з одним виводом високої напруги (1Г-1Т-1В), або з'єднання одного генератора з одним трансформатором і з двома виводами високої напруги (1Г-1Т-2В).

*При необхідності отримання різних напруг на виводах:* 1Г-2Т-2В.

*При кількості агрегатів Za>10 і потужності агрегатів 60<Na<150 MBт* – спарений блок 2Г-2Т-1В.

*При кількості агрегатів Za>10 і потужності агрегатів Na<60 MBт –* збільшений блок 2Г-1Т-1В.

Підбираються трансформатори по каталогах за необхідною потужністю (S*тр*) і високою напругою (Uвн):



де zг – кількість генераторів;

Nго – потужність одного генератора, МВт;

сos ϕ - коефіцієнт потужності (для трансформаторів сos ϕ=0,9).

Крім того, слід пам’ятати, що трансформатори допускають тимчасове перевантаження 5÷10 %, або короткочасне аварійне до 20÷40 % при форсованому охолодженні.

# 2.5 Механічне та допоміжне обладнання ГЕС, вантажопідйомні механізми

До **механічного обладнання ГЕС** відносять:

⮛ затвори для перекривання проточного тракту водоприймачів, водоскидів, відсмоктувальних труб;

⮛ затвори на напірних станційних трубопроводах;

⮛ сміттєзатримуючі решітки у водоприймачах;

⮛ підйомно-транспортні механізми (козлові, напівкозлові і мостові крани, підвісні однорельсові тельфери та ін.);

⮛ стаціонарні підйомні механізми (лебідки, гідропідйомники для обслуговування затворів і т.п.);

⮛ машини і механізми для очистки сміттєзатримуючих решіток.

До **допоміжного механічного обладнання** відносяться захватні балки, траверси, контейнери, візки, підмостки та ін.

**Спеціальне механічне обладнання** – це пристрої, які призначені для виконання спеціальних робіт: трансформаторні візки, поворотні круги, пристрої захисту сміттєзатримуючих решіток і затворів від обмерзання та ін.

До **допоміжного обладнання** відносять:

✓ систему осушення (відкачки);

✓ систему технологічного водопостачання;

✓ систему водяного пожежегасіння;

✓ масляне господарство ГЕС;

✓ пневматичне господарство ГЕС;

✓ службові приміщення (управління, цехи, майстерні);

✓ під'їзні шляхи.

**Вантажопідйомне обладнання ГЕС** призначене для обслуговування, монтажу і демонтажу основного та допоміжного обладнання.

**Мостові крани** переважно використовуються у машинних залах ГЕС. Випускаються вантажопідйомністю (ВП) до 250 т (несерійні ВП 300...500 т), з нормальною (25...27 м) і збільшеною (до 32 м) висотою підйому головного крюка, і з прольотами 10...34 м.

**Козлові крани** виготовляються за індивідуальним замовленням з робочими параметрами такими ж, що й у мостових. **Вантажопідйомність крана** визначається за масою найбільш важкої деталі гідроагрегату (як правило, це ротор генератора).

# Список рекомендованої літератури

1. Введение в гидротехнику: Учебное пособие для вузов / А.Л. Можевитинов, Г.В. Смехов и др.- Под ред. А.Л. Можевитинова.- М.: Энергоатомиздат, 1984.- 232 с., ил.

2. Непорожний П.С., Обрезков В.И. Введение в специальность: Гидроэнергетика: Учебное пособие для вузов.- М.: Энергоатомиздат, 1990.- 352 с., ил.

3. Гидроэлектрические станции / Под ред. В.Я. Карелина, Г.И. Кривченко.- М.: Энергоатомиздат, 1987.- 464 с., ил.

4. Гидроэнергетическое и вспомогательное оборудование гидроэлектростанций. Справочное руководство. / Под ред. Ю.С.Васильева и Д.С. Щавелева.- М.: Энергоатомиздат..- Т.1, 1988.- 400 с, ил.

5. Кривченко Г.И. Гидравлические машины. Турбины и насосы.- М.: Энергоатомиздат, 1983.- 320 с, ил.