

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва  
та інженерної екології

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**САВЧУК МАКСИМ РОМАНОВИЧ**

УДК 621.331:631.363.2

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Обґрунтування параметрів та вибір обладнання малої гідроелектростанції**

141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

Подається на здобуття освітнього ступеня «бакалавр».  
Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання  
на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ М.Р. Савчук

Керівник роботи  
Пінкін Анатолій Анатолійович  
доцент

Житомир 2021

## АНОТАЦІЯ

**Савчук М. Р. «Обґрунтування параметрів та вибір обладнання малої гідроелектростанції».** -Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" Поліський національний університет, Житомир, 2021.

Досліджено потенційні можливості, шляхи та інструменти організації мікрогідроелектростанції для забезпечення потреб фермерського господарства.

Практична цінність: обґрунтована та розроблена електрична схема включення мікроГЕС в систему електропостачання.

Обґрунтована методика та приведений приклад розрахунку електрообладнання.

Ключові слова: гідроелектростанція, електрогенератор, електропостачання, енергозбереження, потужність.

## SUMMARY

**Savchuk M.R. "Substantiation of parameters and choice of equipment of a small hydroelectric power plant".** - Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for the bachelor's degree in 141 "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics" Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

Potential opportunities, ways and tools of microhydroelectric power plant organization to meet the needs of the farm are investigated.

Practical value: substantiated and developed electrical scheme for inclusion of micropower plants in the power supply system.

The method is substantiated and the example of calculation of the electric equipment is resulted.

Key words: hydroelectric power plant, electric generator, power supply, energy saving, power.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ПЕРСПЕКТИВИ МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ .....	6
1.1. Загальна характеристика малої гідроелектроенергетики в Україні та світі.....	6
1.2. Особливості та класифікація малих гідроелектростанцій.....	8
Розділ 2 ОБГРУНТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ МАЛОЇ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	13
2.1. Підбір турбіни.....	13
2.2. Підбір гідрогенераторів малої потужності .....	15
2.3. Підбір асинхронного двигуна.....	18
2.4. Механічне і вантажопідйомне обладнання.....	19
Розділ 3 ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ МАЛОЇ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	21
3.1. Підбір трансформатора .....	21
3.2. Розрахунок струмів трифазного короткого замикання .....	23
3.3. Обґрунтування вимикача та роз'єднувача .....	26
ВИСНОВКИ .....	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	29
ДОДАТКИ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

## ВСТУП

Гідроелектроенергетика надзвичайно перспективний напрямок розвитку. Тим більше, що в Україні надзвичайно великий потенціал малої гідроенергетики. Історично енергія води в нашій країні широко використовувалась через її високу доступність. З іншого боку, влаштування дамб у великих масштабах призводить до затопленні земель, зміни швидкості течії, замулювання русла.

На сьогодні існує надзвичайно розвинений вибір різного типу турбін для улаштування гідроелектростанцій з незначним впливом на рельєф і екологію.

**Актуальність теми:** Впровадження мікрогідроелектростанцій при грамотному проектуванні є суттєвим резервом електроенергії, особливо це важливо для сільського господарства як можливість додаткового заробітку або покриття власних потреб в енергії..

**Об`єкт дослідження:** Електрообладнання гідроелектростанції.

**Предмет дослідження:** Вибір елементів електроприводу та схеми підключення гідроелектростанції.

**Мета:** Проектування працездатної мікрогідроелектростанції, що може бути використана для потреб сільського господарства.

**Завдання дослідження:**

- обґрунтувати вибір турбіни та електрообладнання мікрогідроелектростанції;
- проаналізувати технічні характеристики електрообладнання;
- запропонувати електричну схему проектованої гідроелектростанції.

**Методи дослідження:** При розв`язанні поставленої задачі використовувалися бібліографічний, аналітичний методи.

**Впровадженні інженерні рішення:** Розроблена та розрахована принципова електрична схема гідроелектростанції.

**Практичне значення:** Вироблення електроенергії з енергії води.

**Наукові публікації автора за темою дослідження:**

1. Тези доповіді на тему «Класифікація та особливості проектування мікрогідроелектростанцій для потреб фермерських господарств» Голубенко А.А., Савчук М.Р. Інформаційні системи та комп'ютерно-інтегровані технології: ідеї, проблеми, рішення – 2021: [матеріали I міжнародної науково-практичної конференції, Житомир – 3-4 червня 2021 року] / за наук. ред. д.т.н., доц. Черепанської І.Ю. – Поліський національний університет. – Житомир.

2. Тези доповіді на тему «Обґрунтування режиму роботи мікрогідроелектростанції з асинхронними електрогенераторами». Савчук М.Р. Інформаційні системи та комп'ютерно-інтегровані технології: ідеї, проблеми, рішення – 2021: [матеріали I міжнародної науково-практичної конференції, Житомир – 3-4 червня 2021 року] / за наук. ред. д.т.н., доц. Черепанської І.Ю. – Поліський національний університет. – Житомир.

**Структура та обсяг роботи:** Робота містить анотацію, вступ, три розділи, висновки, література. Обсяг 26 сторінок А4 друкованого тексту.

# РОЗДІЛ 1

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ПЕРСПЕКТИВИ МАЛОЇ ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

### 1.1. Загальна характеристика малої гідроелектроенергетики в Україні та світі

Мала гідроенергетика є одним з екологічно чистим напрямком енергетики. В умовах сьогодення значно зростає інтерес до малих ГЕС і їх використання для потреб фермерських господарств. Підґрунтям використання малих ГЕС є те, що Україна має досить значний потенціал малої гідроенергетики (більше 63 тисяч малих річок), невеликих водотоків, а також можливість використання цього потенціалу в обласних центрах і в окремих важкодоступних районах без шкоди для екології та водного туризму. Використання малих ГЕС має значно багато переваг. Основними з них є відсутність порушення природного ландшафту і навколишнього середовища в процесі будівництва та експлуатації ГЕС, відсутність негативного впливу на якість води та можливість використання її для водопостачання населення, практично відсутність залежності від погодних умов і стійка подача дешевої електроенергії споживачу в будь-який час пори року.

Таблиця 1.1.

Зростання кількості малих гідроелектростанцій в Україні в останні роки [7]

Рік	Кількість МГЕС	Загальна потужність, кВт
2006	67	107000
2008	86	110740
2009	46	49200
2010	60	62600
2011	79	110740
2012	81	85000

2013	84	75000
2015	105	82000

Джерелами енергії для малої гідроенергетики виступають невеликі річки, струмки, природні перепади висот на озерних водоспадах і на зрошувальних каналах іригаційних систем, технічні водостоки, перепади висот питних та інших водопроводів, які призначені для перекачування різних видів рідких продуктів.

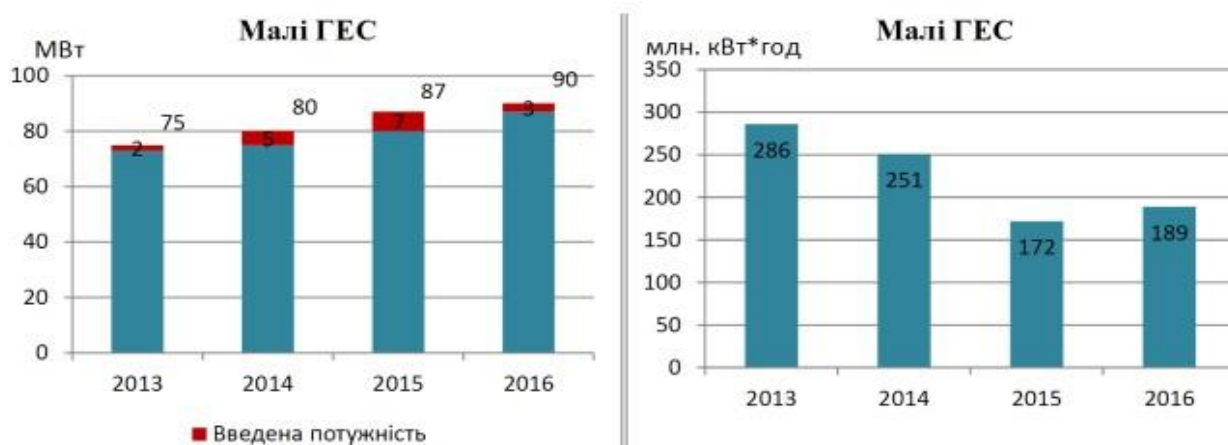


Рис. 1.1. Показники діяльності малих гідроелектростанцій в Україні [17]

На рис. 1.1. представлені показники діяльності малих гідроелектростанцій в Україні, де по введеній потужності спостерігається стійке зростання.

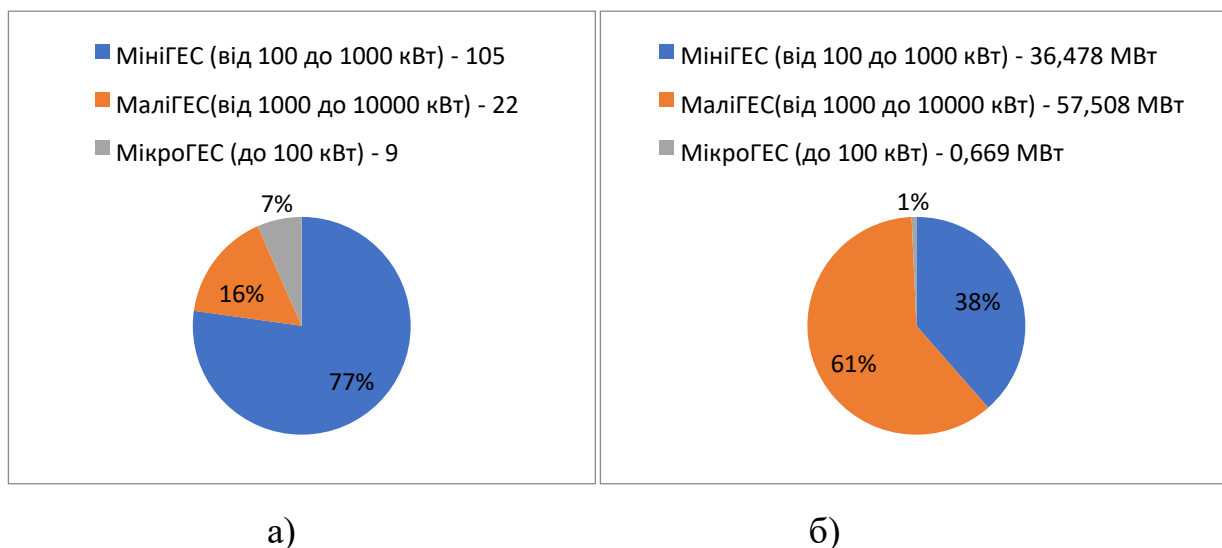


Рис. 1.2. Малі гідроелектростанції України в розрізі продуктивної потужності

На рис.1.2. показана структура гідроелектростанцій в Україні за потужністю, з діаграми видно, що перевагу віддають гідроелектростанціям малої та дуже малої потужності, при чому тенденція до їх зростання буде зберігатись в подальшому.

## 1.2. Особливості та класифікація малих гідроелектростанцій

Метою використання малих гідроелектростанцій є перетворення потенційної енергії води, пов'язаної з різницею рівнем спаду: між подачею і віддачею (спад брутто) електроенергії.

Відповідно до цього за рівнем спаду гідроелектростанції класифікуються як:

- високоспадні (спад на 100 м і більше);
- середньоспадні (спад на 30 ÷ 100 м);
- з низьким рівнем спаду (спад 2 ÷ 30 м).

Такий розподіл діапазону не є жорстким, а лише служить категоризацією гідроенергетичних об'єктів.



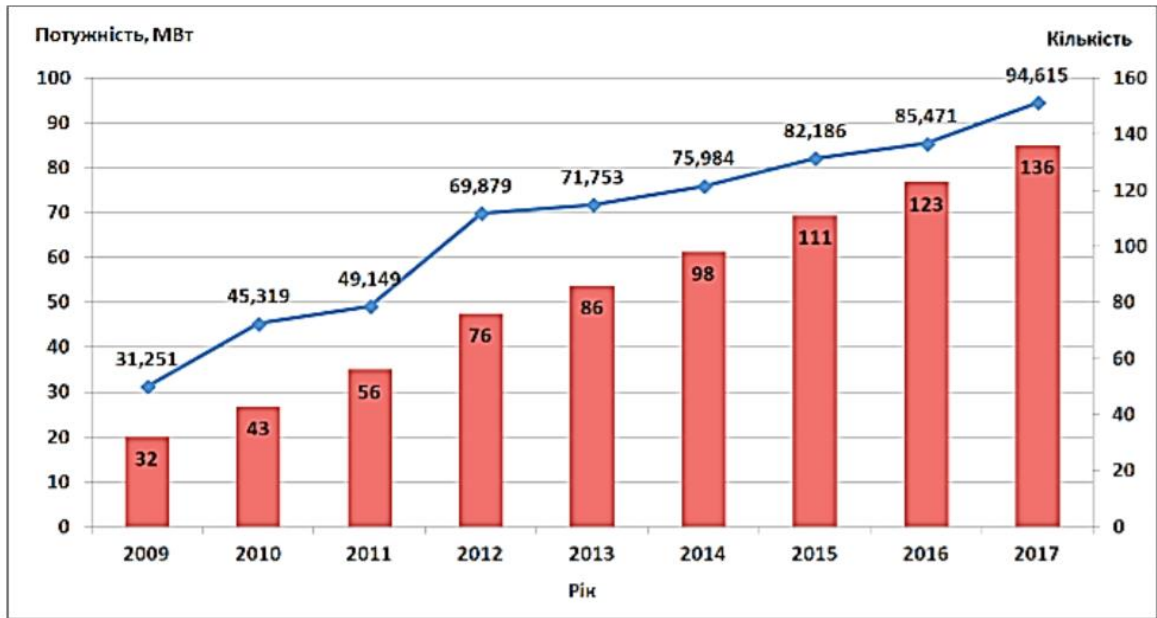


Рис. 1.3. Потужність (графік) та кількість мінігідроелектростанцій (стовпчикова діаграма), що працюють в Україні.

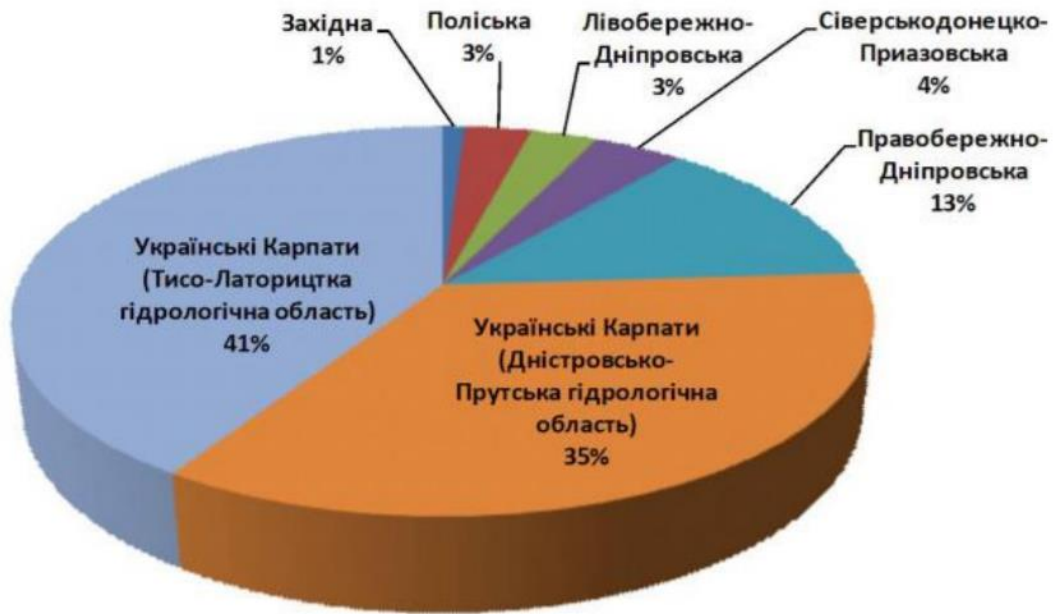


Рис. 1.4. Потенціал малих річок України для гідроелектроенергетики [4]

За своєю здатністю роботи із системою живлення гідроелектростанції поділяються на:

- поточкові ГЕС;

- ГЕС із цистерн з періодично регульованим потоком;
- гідроенергетичні;
- електричні насоси і живлення від перекачуваних водних сховищ.

За характером виконання малі гідроелектростанції можна розділити на:

- стаціонарні пригребельні (із з'єднанням греблі і будівлі ГЕС);
- стаціонарні безгребельні з трубопроводом напірної деривації. До них належать гірляндна ГЕС, водяне колесо, пропелер, ротор Дар'є;
- мобільні в контейнерному виконанні з використанням в якості напірної деривації пластикових труб або гнучких армованих рукавів;
- переносні потужністю до 10 кВт, при використанні їх в якості споруди невеликої греблі, так і з напірної деривації;
- занурювані безгребельні потужністю до 5 кВт (при швидкості течії води у водотоці близько 3-х метрів за секунду).

За потужністю гідроелектростанції умовно поділяють на:

- мікрогідроелектростанції (мікроГЕС) – потужністю до 100 кВт;
- мінігідроелектростанції (мініГЕС) – потужністю від 100 до 500 кВт;
- малі гідроелектростанції – потужністю від 500 кВт до 10 МВт;
- середні гідроелектростанції – потужністю від 10 до 1000 МВт;
- великі гідроелектростанції – потужністю більше 1000 МВт.

Для малої гідроенергетики використовується енергетичне обладнання, яке за своєю потужністю розділяється на агрегати потужністю до 100 кВт включно для мікроГЕС і на агрегати потужністю до 10 МВт включно для мініГЕС.

У своїй конструкції мікроГЕС зазвичай містить такі обов'язкові елементи: гідротурбіна, електромашинний генератор, система стабілізації вихідної напруги і ряд елементів, наявність і конструкція яких залежить від типу і особливостей станції (певні гідротехнічні споруди, запірні арматура, баластні навантаження і т.д.).

МікроГЕС із вільнопоточними гідротурбінами використовують тільки швидкісний натиск течії води і тому не потребує зведення спеціальних гідротехнічних споруд. На сьогодні існують різні за конструкцією і принципом роботи вільнопоточні гідротурбіни. Вони можуть використовувати енергію швидкісного напору океанських і морських течій, річкових потоків, існуючих каналів різного призначення і т.д.

З усього різноманіття конструкцій мікроГЕС найбільшого поширення мають безгребельні станції, які використовують напірний трубопровід. При постійних параметрах потоку води і незмінною конфігурацією робочих лопатей частоту обертання гідротурбіни можна регулювати шляхом зміни величини навантаження. Для мікроГЕС регулювання частоти енергоуспадкування найбільш легко здійснюється через регулювання величини електричного навантаження генератора. При цьому конструкція турбіни та інших гідротехнічних пристроїв істотно спрощується.

З огляду на особливості проектування, вибору місця, схеми розміщення і побудови мікроГЕС в господарстві повинні бути найбільш прості і технологічні, в залежності від географічного розташування, природних умов, можливостей і бажань майбутнього користувача. До таких мікроГЕС відносяться мобільні або переносні гідроенергетичні установки, які можна встановити практично в будь-якому місці. Вони, як правило, використовуються для енергопостачання автономних споживачів. До таких установок відносяться мікроГЕС рукавного типу і установки із вільно поточними турбінами.

МікроГЕС рукавного типу ефективні для використання води передгірних і гірських річок із значними ухілами дна річки і великими швидкостями потоку. Напір на таких мікроГЕС створюється за рахунок прокладки напірного рукава уздовж русла річки. Якщо річка має закрут, то можна використати дериваційну схему створення напору на випрямлення русла річки. Рукавні мікроГЕС є прості в установці і не вимагають спорудження греблі і будівлі ГЕС. Їх можна легко

транспортувати з одного місця на інше і монтувати за кілька годин з малими затратами.

В процесі експлуатації таких мобільних мікроГЕС забезпечується збереження навколишньої природи, збереження властивостей і якості води, збереження рибогосподарського значення водойм, а також збереження джерела водопостачання населенню.

Вироблена електроенергія мікрогідроелектростанцією є найбільш екологічним і економічним рішенням енергетичних проблем для територій, які забезпечують власне електропостачання, зокрема для фермерських господарств.

МікроГЕС є значно дешевше і вигідніше ніж будівництво ліній електропередач або експлуатація дизельних установок, яка не вимагає масштабних будівельних робіт, не впливає на екологію місця установки мікроГЕС, має низькі витрати і низьку окупність. Таким чином використання мікроГЕС є перспективним напрямком поновлюваних джерел енергії.

## Розділ 2

# ОБГРУНТУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ МАЛОЇ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

### 2.1. Підбір турбіни

Розрахунковий напір  $H_p$  та розрахункової витрати агрегату  $Q_a$  беремо як значення турбін:

$$Q_a = \frac{Q_{\text{ГЕС}}}{z}, \quad (2.1)$$

де  $z$  – кількість агрегатів малої ГЕС ( $z = 2 \div 3$  шт, а якщо витрата агрегату  $Q_a$  не потрапляє в область застосування турбін, то  $z$  збільшується).

Частковим графіком області застосування турбін (додаток 1) візьмемо гідроагрегат марки МГА, який має відповідні параметри:  $N_a$  (максимальна потужність, кВт);  $H_{\text{макс}}$  (максимальний напір, м);  $D_1$  (діаметр робочого колеса, м);  $n$  (кількість обертів за хвилину, об/хв);  $m_a$  (маса гідроагрегата, кг).

Потужність турбіни  $N_T$  визначається за формулою:

$$N_T = 9,81 \cdot Q_a \cdot H_p \cdot \eta_T, \text{ кВт}, \quad (2.2)$$

де  $\eta_T = 0,9 \div 0,92$  – к.к.д. турбіни.

Коефіцієнт швидкості турбіни  $n_s$  (об/хв) визначаємо за формулою:

$$n_s = n \cdot N_T^{0,5} \cdot H_p^{-1,25} \quad (2.3)$$

де  $n$  – кількість обертів турбіни (із параметрів вибраного гідроагрегата), об/хв.

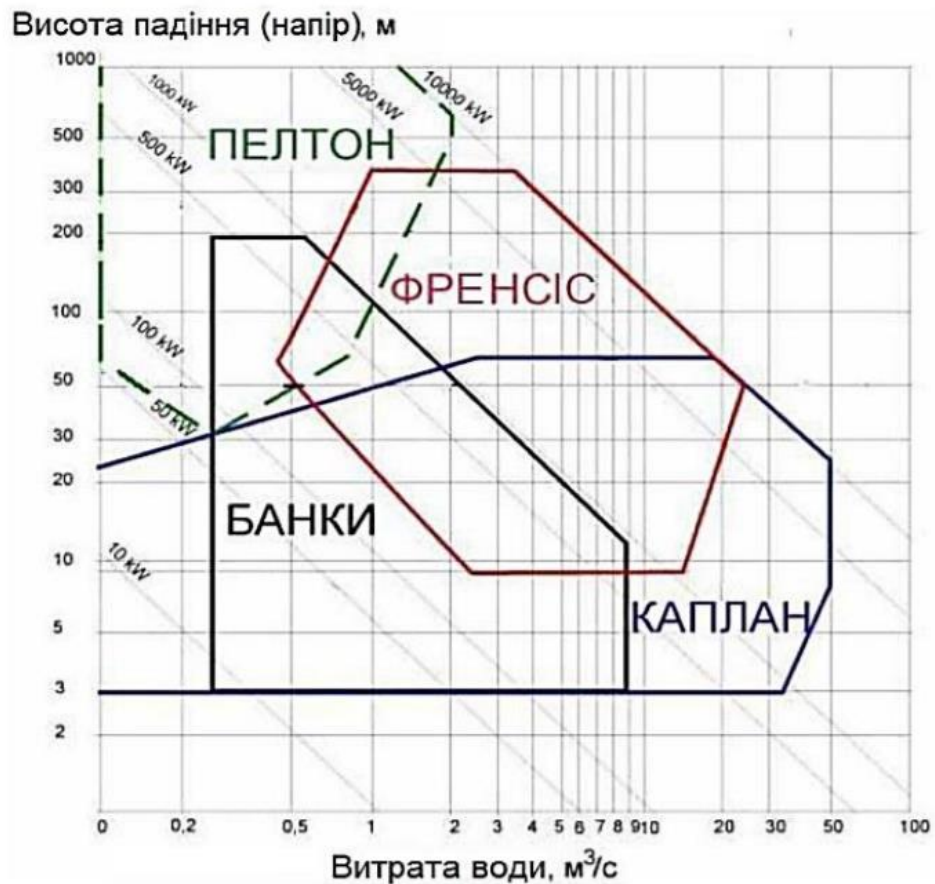


Рис. 2.1. Діаграма вибору турбін малої гідроелектростанції в залежності від характеристик джерела води [5]

Приведена витрата гідроагрегата  $Q$  ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) розраховуємо за формулою:

$$Q'_I = Q_a \cdot D_1^{-2} \cdot H_p^{-0,5} \quad (2.4)$$

де  $D_I$  – діаметр робочого колеса вибраної турбіни (м), який уточнюємо за формулою:

$$D_I = N_T^{0,5} \cdot (Q'_I)^{-0,5} \cdot H_p^{-1,5} \cdot \eta_T^{-0,5} \quad (2.5)$$

Діаметри малих і середніх турбін мають такі значення: 35, 50, 60, 71, 84, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 225, 250, 280 см.

Візьмемо стандартне значення робочого колеса  $D_I$  (см). Складаємо схему гідроагрегата рис. 2.2.

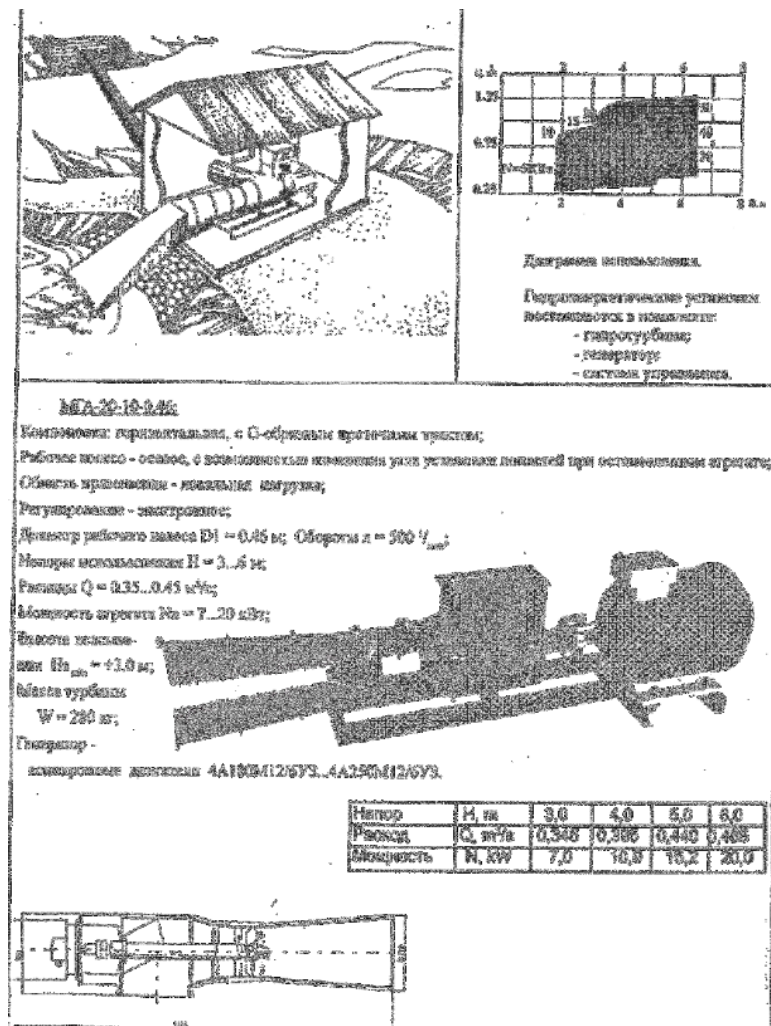


Рис. 2.2. Турбіна МГА-20-10-0,46

Для вибору типу гідротурбіни використовуються дані безпосередньо виміряні на греблі. Потрібні показники:  $Q = 16$  м<sup>3</sup>/с – середня багаторічна витрата води,  $H = 3$  м – напір води [21].

## 2.2. Підбір гідрогенераторів малої потужності

Існують генератори змінного або постійного струму. Обидва таких генератори можуть застосовуватись на малих ГЕС.

Потужність генератора  $N_G$  (кВт) визначаємо за формулою:

$$N_G = N_T \cdot \eta_G \cdot \eta_{пер} \quad (2.6)$$

де  $\eta_{\Gamma}$  – к.к.д. генератора (0,97÷0,98);  $\eta_{\text{пер}}$  – коефіцієнт корисної дії механічної передачі (0,95÷0,97).

Згідно довідникового матеріалу за відомим  $N_{\Gamma}$  (кВт), вибираємо генератор малої потужності марки СГИ–БК 150/14 У3, який має такі параметри:  $N_{\Gamma}$  (потужність, кВт);  $\eta_{\Gamma}$  (кількість обертів, об/хв.);  $U$ , (напруга В);  $m$  (маса, кг), наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Параметри гідрогенератора СГИ–БК 150/14 У3 [14]

Параметр	Значення
$N_{\Gamma}$ (потужність, кВт)	150
$U$ , (напруга В)	400
Коефіцієнт потужності $\cos \varphi$	0,8
$\eta_{\Gamma}$ (кількість обертів, об/хв.)	428
ККД	95,5%

При розгінній частоті обертів гідротурбіни  $(1,6\div 2,2) \cdot n_c$  (при  $n_c = n_T$ ) за допустиму лінійну швидкість беруть швидкість, яка дорівнює 160÷180 м/с (для сталей, що застосовуються на даний час). В такому випадку  $D_i$  (діаметр розточки статора) визначаємо за формулою:

$$D_i = \frac{160 \div 180}{\pi \cdot n_c} \quad (2.7)$$

Приведене до стандартного ряду  $D_i$  має такі стандартні діаметри: 250, 325, 425, 550, 650, 750, 900, 1000, 1100, 1250, 1400 см.

Приймаємо стандартне значення  $D_i = 550$  (см).

Довжину активної сталі визначаємо за формулою:



$$l_a = \frac{N_{\Gamma} \cdot 10^3}{c \cdot D_i^2 \cdot n_c \cdot \cos \varphi} \quad (2.8)$$

де  $\cos \varphi$  – коефіцієнт потужності ( $0,8 \div 0,85$ );  $c$  – коефіцієнт використання активних матеріалів ( $c = 5 \div 7$  для генераторів з повітряним охолодженням,  $c = 11 \div 13$  для генераторів з повітряним охолодженням).

Довжина активної сталі  $l_a$  має такі стандартні значення: 33, 36, 40, 45, 50, 55, 60, 67, 75, 82, 90, 100, 110, 122, 135, 150, 165, 182, 200, 220, 245, 270, 300 см.

Приймаємо стандартне значення  $l_a = 110$ , см.

Маючи обчислені  $D_i$  та  $l_a$  визначаємо параметри гідрогенератора:

$D_K$  – діаметр корпусу генератора ( $D_K = 1,1 \cdot D_i + 75$ , см);

$D_{\text{шаг}}$  – діаметр шахти генератора ( $D_{\text{шаг}} = D_K + 150$ , см);

$h$  – висота генератора ( $h = l_a + 100$ , см);

$D_{\text{ш.т.}}$  – діаметр шахти турбіни ( $D_{\text{ш.т.}} = 1,4 \cdot D_1$ , см).

За визначеними розмірами генератора складаємо його схему (рис. 3.2).

Якщо найбільш економічна конструкція генератора  $n_{\Gamma}$  (частота обертів генератора) може бути не рівною  $n_T$  (частоті обертів турбіни), то турбіни з'єднуються з генератором за допомогою механічного конічного редуктора, який має к.к.д. передачі  $\eta_{\text{пер}}$  ( $0,95 \div 0,97$ ) і передаточне число  $i > 10$ .

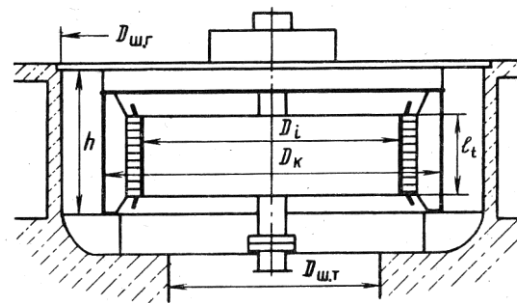


Рис. 2.3.. Схема гідрогенератора М 1:50 (100)

У такому варіанті потужність ГЕС визначається за формулою:

$$N_{\text{ГЕС}}^{\Gamma} = z \cdot N_{\Gamma}, \text{кВт} \quad (2.9)$$

У результаті проектування встановлено, що при використанні гідротурбіни Каплана синхронно працюючої з гідрогенератором СГИ–БК 150/14 УЗ потужність гідроелектростанції становитиме 300 кВт.

Повна потужність генератора розраховується за формулою (2.10):

$$S_{\text{Гном}} = \frac{P_{\Gamma}}{\cos \varphi} = \frac{300}{0,8} = 375 \text{ кВ} \cdot \text{А}, \quad (2.10)$$

де  $S_{\text{Гном}}$  – повна потужність генераторів.

### 2.3. Підбір асинхронного двигуна

У промисловості генератори малої потужності майже не виготовляються. Тому, в якості генератора може застосовуватися асинхронний горизонтальний двигун потрібної потужності. За додатком 3 при певному значенні  $N_{\Gamma}$ , кВт, вибираємо двигун марки АОЗ-400, і виписуємо відповідні параметри цього двигуна:  $n_{\text{дв}}$  – синхронна швидкість (об/хв);  $N_{\text{дв}} = 375$  кВт – потужність (кВт);  $\eta_{\text{дв}} = 0,995$  – к.к.д.;  $\cos \varphi = 0,97$ ;  $n_{\text{н}} = 600$  – номінальна частота обертів (об/хв).

Складаємо схему асинхронного двигуна (рис. 2.4).

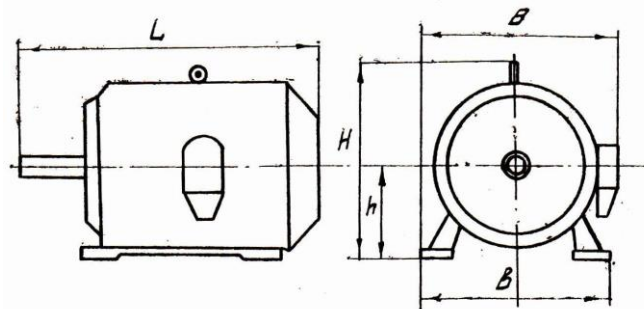


Рис. 2.4. Схема асинхронного двигуна АОЗ-400 М 1:50 (100)

Турбіни з генератором з'єднуються за допомогою механічного конічного редуктора, який має к.к.д. передачі  $\eta_{\text{пер}} = 0,95 \div 0,97$  і передаточне число  $i > 10$ , якщо  $n_{\text{дв}}$  (частота обертів двигуна), не рівна  $n_{\text{т}}$  (частоті обертів турбіни).

В такому випадку потужність ГЕС визначається за формулою:

$$N_{\text{ГЕС}}^{\text{ДВ}} = z \cdot N_{\text{дв}} = 375 \text{ кВт} \quad (2.11)$$

Вирішальним значенням беруть найбільшу із потужностей ГЕС ( $N_{\text{ГЕС}}^{\text{Г}}$  або  $N_{\text{ГЕС}}^{\text{ДВ}}$ ) і відповідно цьому значенню, у якості електричного обладнання, обирають гідрогенератор або асинхронний двигун

#### 2.4. Механічне і вантажопідйомне обладнання

Плоскими ковзаючими затворами, які складаються із окремо складених балок, обладнують водоприймач. Ці затвори обслуговує гвинтовий підіймач. За основний монтажний кран візьмемо підвісний однобалковий кран.

Згідно ваги найважчого обладнання (гідроагрегата, гідрогенератора або асинхронного двигуна) за табл. 3.1 вибираємо однобалковий кран відповідної вантажопідйомності і визначаємо відповідні основні його параметри.

Таблиця 2.2

Параметри однобалкових ручних кранів вантажопідйомністю 0,5...5 т [19]

Вантажопідйомність крана, т	Проліт $L_K$ , м	$H$ , мм	$h$ , мм	$L_I$ , мм	Номер профіля шляху
0,5	3,6-9,3	690	220	150	18 м; 24 м; 30 м
	10,2-11,4	730	280		
1,0	3,6-6,6	690	220	150	18 м; 24 м; 30 м
	7,2-11,4	780	280		
2,0	3,6-7,2	1020	280	200	24 м; 30 м; 36 м; 45 м
	8,1-11,4	1080	340		
3,2	3,6-5,7	1020	280	200	24 м; 30 м; 36 м; 45 м
	6,6-9,3	1080	340		

	10,2-11,4	1110	400		
5,0	3,6-5,7	1240	340	220	30 м; 36 м; 45 м
	6,6-9,3	1270	400		
	10,2-10,8	1316	440		

Складаємо схему однобалкового крана (рис. 2.5).

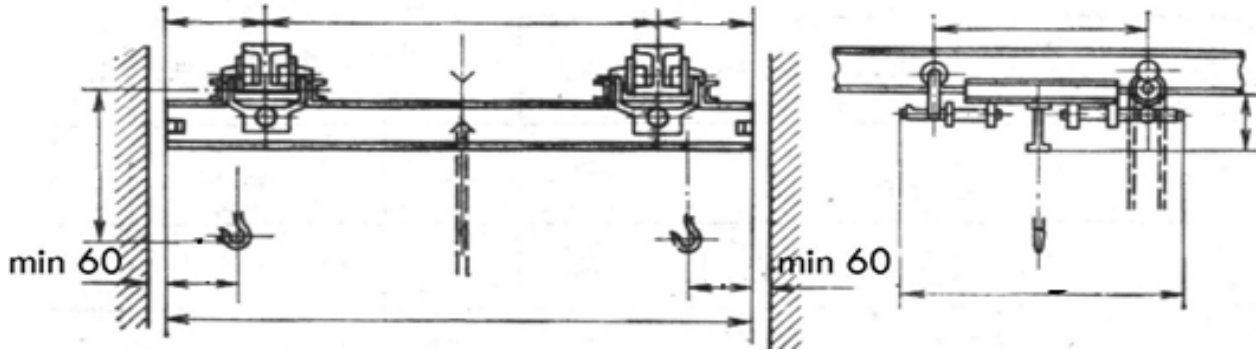


Рис. 2.5. Однобалковий кран з ручним приводом М 1:50 (100)

За вагою допоміжного обладнання вибирається електрична таль за табл. 2.2.

$$G_{\text{доп.об}} = (0,1 \dots 0,15) \cdot G_{\text{га}} \quad (2.12)$$

Вибираємо електричну таль потрібної марки і визначаємо її параметри. Електричні талі управляються з кабіни або з підлоги за допомогою кабелю, який оснащений коробкою з кнопками для пуску і зупинки електродвигунів.

### Розділ 3

## ОБГРУНТУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ МАЛОЇ ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

### 3.1. Підбір трансформатора

Трансформатор обирають відповідно необхідній потужності, кВ·А:

$$S_{mp} = \frac{z_{\Gamma} \cdot N_{\Gamma 0}}{\cos \varphi} \quad (3.1)$$

де  $\cos \varphi$  – коефіцієнт потужності (0,8÷0,85);  $z_{\Gamma}$  – кількість агрегатів малої ГЕС, шт;  $N_{\Gamma 0}$  – потужність прийнятого генератора або асинхронного двигуна, кВт.

Знаходимо розрахункову потужність трансформатора (формула 3.1):

$$S_{розр} = S_{\Gamma ном} - S_{в.п.} = 375 - 375 \cdot 0,04 = 360 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

де  $S_{в.п.}$  – потужність власних потреб станції, кВ · А.

Трансформатор вибираємо по каталогу ТОВ «Торгово-промислова компанія» «Чебоксари-Електра» [13] – ТСЗ 400/10 – УЗ: трансформатор стаціонарний сухий в захищеному виготовленні призначений внутрішнього та зовнішнього встановлювання. Каталожні дані приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Характеристика трансформатора ТСЗ 400/10 – УЗ

Тип трансформатора	S <sub>н</sub> , кВА	Каталожні дані					
		U <sub>ном</sub> , кВ		U <sub>к</sub> , %	ΔP <sub>к</sub> , кВт	ΔP <sub>х</sub> , кВт	I <sub>х</sub> , %
		ВН	НН				
ТСЗ - 400/10	400	10	0,4	3,5	2,8	0,9	3

Виконаємо перевірочний розрахунок обраного трансформатора за коефіцієнтом завантаження, який повинен бути  $\geq 0,9$ .

$$k_3 = \frac{S_{\text{розр}}}{S_T} = \frac{360}{400} = 0,9 \quad (3.2)$$

Отже, обираємо трансформатор ТСЗ 400/10 – УЗ. Складаємо схему трансформатора (рис. 2.5).

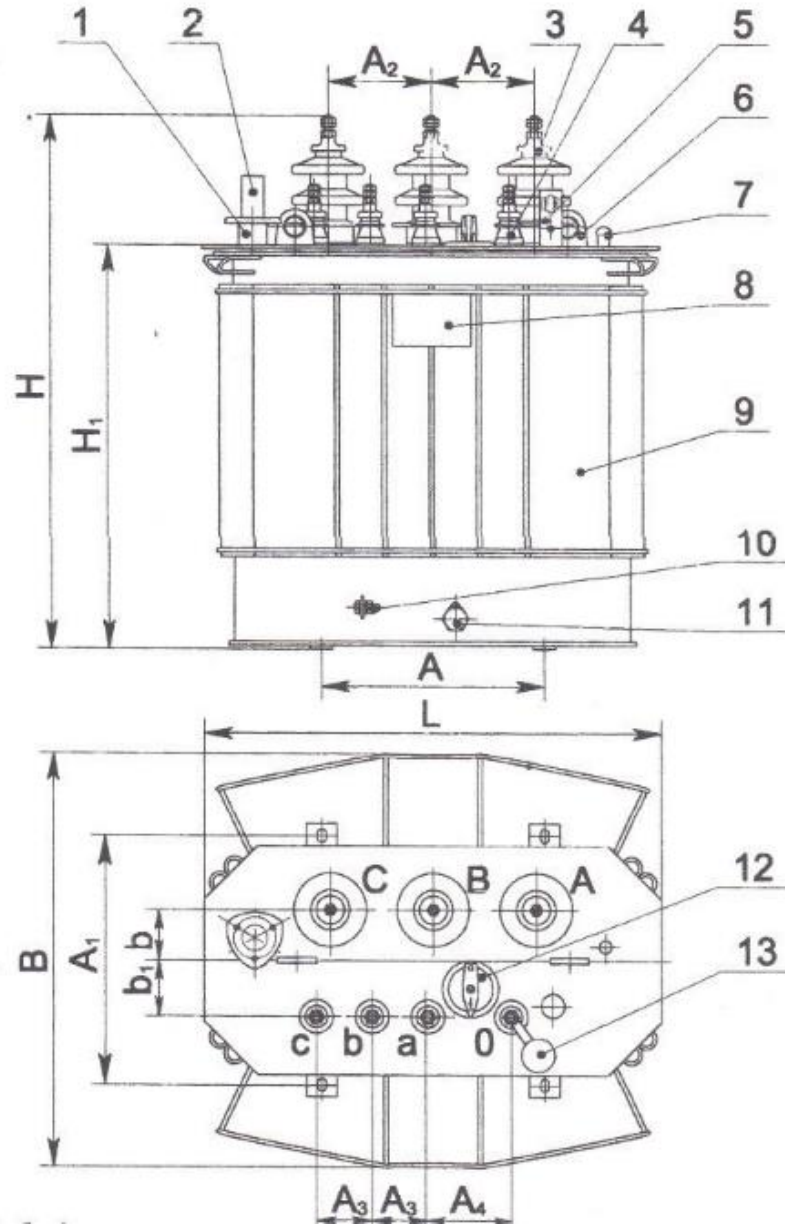


Рис. 3.1. Трансформатор ТСЗ 400/10 – УЗ

1 – патрубок; 2 – запобіжний клапан; 3 – ввід ВН; 4 – ввід НН; 5 – масловказівник; 6 – транспортний крюк; 7 – термометр; 8 – табличка; 9 – зак; 10 – зажим заземлення; 11 - пробка; 12 - перемикач; 13 - запобіжник

Вибираємо марку трансформатора ТСЗ 400/10 – УЗ з відповідними параметрами:  $L = 700$  мм,  $B = 400$  мм,  $H = 1200$  мм,  $H_1 = 1080$  мм,  $A = 300$  мм,  $A_1 = 600$  мм,  $A_2 = 150$  мм,  $m_{\text{мсл}} = 350$  кг,  $m_{\text{повн}} = 475$  кг.

## 2.2. Розрахунок струмів трифазного короткого замикання

Розрахуємо струми короткого замикання за методикою [6].

Опір генератора:

$$x_{\Gamma} = x_d'' \cdot \frac{U_{\text{баз}}^2}{S_{\text{ном}}}, \quad (3.3)$$

$$r_{\Gamma} = \frac{x_{\Gamma}}{\omega \cdot T_{\Gamma}}, \quad (3.4)$$

де,  $x_d'' = 0,35$  – індуктивний опір генератора;  $U_{\text{баз}}$  – базисна напруга генератора;  $S_{\text{ном}}$  – повна потужність генератора;

$T_{\Gamma} = 0,045$  с – постійна часу для гідрогенератора

$$x_{\Gamma} = 0,35 \cdot \frac{400^2}{\frac{150 \cdot 10^3}{0,8}} = 0,299 \text{ Ом}$$

$$r_{\Gamma} = \frac{0,299}{314,2 \cdot 0,045} = 0,021 \text{ Ом.}$$

Опір трансформатора:

$$x_{\text{Т}} = \frac{U_{\text{к}}}{100} \cdot \frac{U_{\text{вн}}^2}{S_{\text{ном}}}, \quad (3.5)$$

$$r_{\text{Т}} = \Delta P_{\text{к}} \cdot \frac{U_{\text{вн}}^2}{S_{\text{ном}}^2}, \quad (3.6)$$

де,  $U_{\text{вн}}$  – напруга обмотки вищої напруги;  $U_{\text{к}}$  – напруга короткого замикання трансформатора;  $\Delta P_{\text{к}}$  – втрати короткого замикання трансформатора;  $S_{\text{ном}}$  – повна номінальна потужність трансформатора.

$$x_T = \frac{3,5}{100} \cdot \frac{10^2 \cdot 10^6}{400 \cdot 10^3} = 8,75 \text{ Ом},$$

$$r_T = 2800 \cdot \frac{10^2 \cdot 10^6}{400^2 \cdot 10^6} = 1,75 \text{ Ом}.$$

Загальний опір системи:

$$x_c = \frac{U_6^2}{S_{к.з.}} = \frac{10^2 \cdot 10^6}{11 \cdot 10^6} = 9,1 \text{ Ом}, \quad (3.7)$$

де,  $U_6$  – базисна напруга системи;  $S_{к.з.}$  – потужність короткого замикання системи.

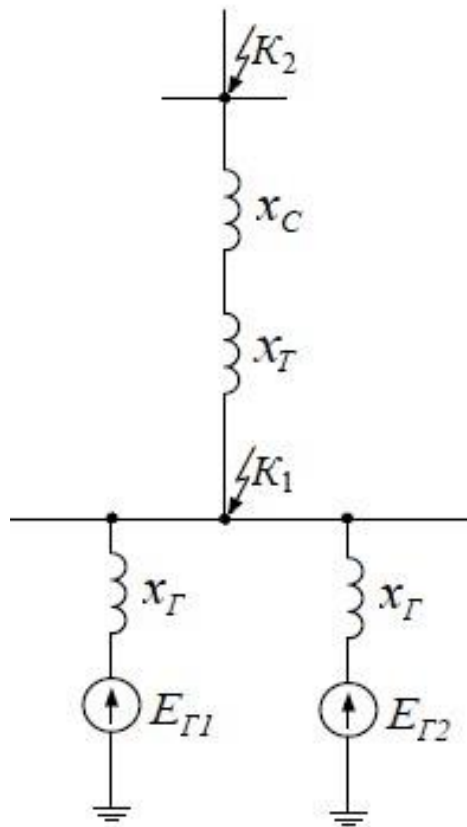


Рис. 3.2. Розрахункова схема заміщення для струмів КЗ

Опір вище точки  $K_1$ :

$$X_\Gamma = \frac{X_\Gamma \cdot X_\Gamma}{X_\Gamma + X_\Gamma} = 0,15 \text{ Ом} \quad (3.8)$$

Періодична складова струму КЗ в точці  $K_1$ :



$$I_{K1} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot (X_{\Gamma})} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot (0,15)} = 38,7 \text{ кА}$$

Періодична складова струму КЗ в точці К<sub>2</sub>:

$$I_{K2} = \frac{U_{BH}}{\sqrt{3} \cdot (X_L + X_C + X_T)} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot (0,15 + 9,1 + 8,75)} = 0,321 \text{ кА}$$

Ударний коефіцієнт:

$$k_y = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} \quad (3.9)$$

де,  $T_a$  – постійна затухання в часі.

$$k_{y1} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,04}} = 1,78,$$

$$k_{y2} = 1 + e^{-\frac{0,01}{T_a}} = 1 + e^{-\frac{0,01}{0,26}} = 1,96,$$

Ударний струм розраховуємо за формулою 5.11:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot k_y \cdot I_K \quad (5.11)$$

$$\text{Для точки К}_1: i_y = \sqrt{2} \cdot 1,78 \cdot 38,7 = 97,3 \text{ кА}$$

$$\text{Для точки К}_2: i_y = \sqrt{2} \cdot 1,96 \cdot 0,321 = 0,89 \text{ кА}$$

Проводимо розрахунки для аперіодичної складової струму КЗ, вважаючи, що амплітуда ЕРС та періодична складова струму незмінні у часі, рівний часу відключення (формула 5.12):

$$i_a = \sqrt{2} \cdot I_K \cdot e^{-\frac{\tau}{T_a}}, \quad (5.12)$$

де,  $\tau$  – розрахунковий час який потрібен для визначення КЗ.

$$i_{a1} = \sqrt{2} \cdot 38,7 \cdot e^{-\frac{0,06}{0,04}} = 12,2 \text{ кА},$$

$$i_{a2} = \sqrt{2} \cdot 0,321 \cdot e^{-\frac{0,1}{0,26}} = 0,31 \text{ кА}.$$

Максимальний струм на зовнішньому боці ВН:

$$I_{max}^{10} = \frac{1,05 \cdot S_{НОМ}}{\sqrt{3} \cdot U_{BH}} = \frac{1,05 \cdot 360 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10^4} = 21,8 \text{ А}$$

Максимальний струм на стороні НН:

$$I_{max}^{0,4} = \frac{1,05 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} = \frac{1,05 \cdot 375 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 568,3 \text{ А}$$

Струм у колі вимикача:

$$I_{в.п}^{0,4} = \frac{1,05 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}} = \frac{1,05 \cdot 15 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 22,73 \text{ А}$$

### 3.3. Обґрунтування вимикача та роз'єднувача

Вимикач вибираємо, виходячи з умов:

$$U_{ном} \geq U_{ном.в.}$$

$$I_{ном} \geq I_{роб.мах.}$$

$$B_{к.норм} \geq B_{к.розр.}$$

Обґрунтування роз'єднувача відбувається з урахуванням теплового режиму, напруги та струму в аварійному режимі.

Таблиця 3.2

Характеристика вимикача ВА-СЄЩ-TS 630 [14]

Умови вибору	Розрахункові параметри	Каталожні дані
$U_{м.ном} \leq U_{ном.}$	0,4кВ	0,4 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	568,3 А	630 А
$I_{п0} \leq I_{пр.СКВ}$	38,7 кА	50 кА
$i_{уд.} \leq i_{СКВ}$	97,3 кА	150 кА
$I_{ат} \leq I_{а.ном}$	38,7 кА	35,3кА
$B_K \leq I_{т2ном.} \cdot t_T$	149,77 кА <sup>2</sup> ·с	5000 кА <sup>2</sup> ·с

Таблиця 3.3

Характеристика роз'єднувача РЕ 13-43 [14]

Умови вибору	Розрахункові параметри	Каталожні дані
$U_{м.ном} \leq U_{ном.}$	0,4кВ	0,4 кВ
$I_{розр} \leq I_{ном}$	568,3 А	1600 А
$I_{п0} \leq I_{пр.СКВ}$	38,7 кА	125 кА
$i_{уд.} \leq i_{СКВ}$	97,3 кА	100 кА
$B_K \leq I_{тном.}^2 \cdot t_T$	0,037 кА <sup>2</sup> ·с	3200 кА <sup>2</sup> ·с

З урахуванням обраного електрообладнання складаємо головну електричну схему малої гідроелектростанції, представлену на рис.3.3.

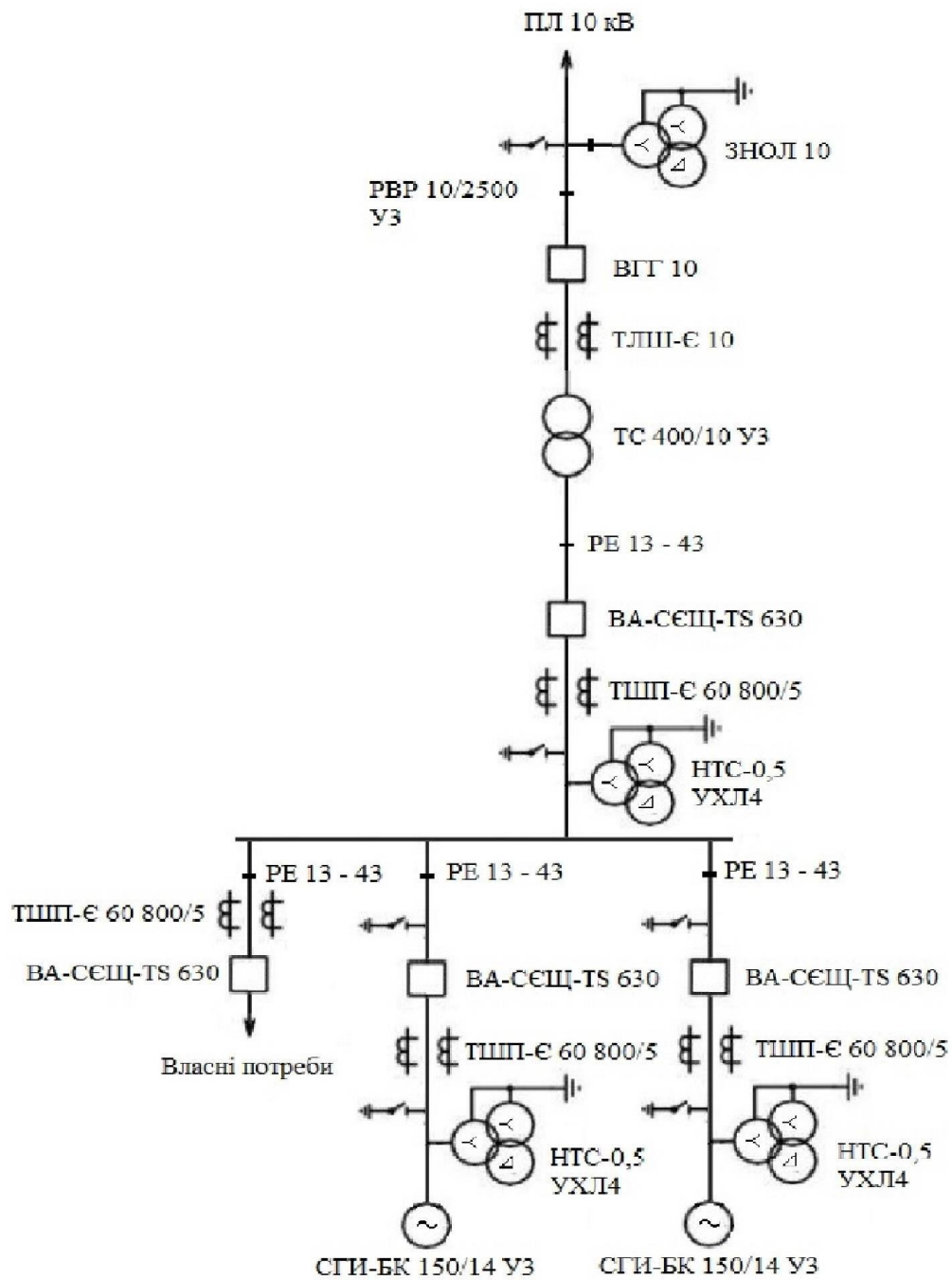


Рис.3.3. Головна електрична схема малої гідроелектростанції

## ВИСНОВКИ

Актуальність обраної теми висока, оскільки в умовах економічної ситуації, що склалася, господарства мають задіяти всі ресурси для отримання додаткових вигод.

З огляду на особливості проектування, вибору місця, схеми розміщення і побудови мікроГЕС в господарстві повинні бути найбільш прості і технологічні, в залежності від географічного розташування, природних умов, можливостей і бажань майбутнього користувача.

Під час виконання кваліфікаційної роботи були виконані всі поставлені завдання, а саме:

- обґрунтовано вибір турбіни з урахуванням перепаду води, швидкості руху води в річці, глибини, екологічних умов;
- під обрану турбіну було підібрано гідрогенератор і додаткове електрообладнання мікрогідроелектростанції;
- розраховані опорні технічні характеристики електрообладнання та виконаний підбір трансформатора, вимикачів, розраховані струми короткого замикання;
- запропоновано електричну схему проектованої гідроелектростанції.

В результаті отримано цілісну картину можливості створення об'єкта малої гідроенергетики, що стане додатковим джерелом задоволення власних енергетичних потреб господарства та додатковим джерелом прибутку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник / Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К. : Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
2. Белікова Л.Я. Електричні машини: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів / Л.Я. Белікова, В.П. Шевченко. – О. : Наука і техніка, 2012. – 480 с.
3. Жулай Є. Л. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів, та потокових ліній. – К. : Вища освіта, 2001. – 285 с.
4. Закон України "Про електроенергетику" // Відомості Верховної Ради України, 1998. – №1.
5. Кашенко П.С. Електропривод сільськогосподарських машин. Методичні вказівки щодо виконання курсового проекту. – Немішаєве.: НМЦ, 2002. – 77 с.
6. Куценко Ю.М. Електричні машини і апарати: навчальний посібник / Ю.М. Куценко, В.Ф. Яковлев та ін. – К. : Аграрна освіта, 2013. – 449 с.
7. Климентовський Ю. А. Технічні засоби автоматики / Ю. А. Климентовський, А. М. Гладкий. – К. : Вид-во „ДВІД”, 2003. – 238 с.
8. Марченко І.І., Лисенко В.М., Тищенко Л.П., Лукач В.С. Проектування систем електрифікації та автоматизації сільського господарства. К. : Вища школа, 1999 – 201 с.
9. Дисконт, 1995. – 260 с.
10. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – К. : Основа, 1998.
11. Малі ГЕС України. URL: [http://uk.wikipedia.org/wiki/Малі\\_ГЕС\\_України](http://uk.wikipedia.org/wiki/Малі_ГЕС_України)
12. Мороз А. В. Етапи становлення та сучасний стан малої гідроенергетики України. Відновлювана енергетика. 2013. № 4 (35). С. 59-63.

13. Пояснювальна записка до проекту Закону України «Про внесення змін до деяких законів України щодо стимулювання розвитку малої гідроенергетики України». URL:
14. <http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc34?id=&pf3511=27675&pf35401=9>  
2020
15. Малі річки України: довідник / за ред. А. В. Яцика та ін. Київ: Урожай, 1991. 193 с.
16. Кудря С. О., Яценко Л. В. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України: Ін-т електродинаміки, Київ: НАН України, 2001. 41 с.
17. Стан і перспективи розвитку малої гідроенергетики, сонячної, вітрової та інших джерел поновлюваної енергії зарубіжних країн та України. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/01/4.-Stan-i-perspektyvy-rozvytkuPDE.pdf>
18. Постачання та використання енергії за 2016 рік. Статистичний бюлетень.
19. Державна служба статистики України. Київ. 2017. URL: [http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/publenerg\\_u.htm](http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/publenerg_u.htm)
20. Звіт про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг у 2016 році. URL: [http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Catalog3/Richnyi\\_zvit\\_NKREKP\\_2016.pdf](http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Catalog3/Richnyi_zvit_NKREKP_2016.pdf)
21. Ключова інформація для інвесторів у зелену енергетику («зелений» тариф). Інформаційний бюлетень// Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. Київ, 2016. 8 с. URL: <http://www.nerc.gov.ua/?id=26426>