

# Лекція 9 МЕС в АПК

## Гідроелектростанції

### **3.3. Типи турбін гідроелектростанцій**

Перетворення енергії води на електроенергію здійснюють за допомогою гідроагрегатів, до складу яких входять гідравлічна турбіна та електричний генератор, а також пристрої для контролювання і регулювання потоку енергії.

Гідравлічна турбіна – це машина, у якій енергія потоку води перетворюється на обертову енергію руху ротора або робочого колеса. Розрізняють два класи гідротурбін: активні й реактивні. Турбіну називають активною, якщо використовують динамічний тиск води, і реактивною, якщо статичний тиск із реактивним ефектом.

Ротори активних турбін обертаються під дією вільного струменя води на вході й на виході робочого колеса. У робочому колесі турбіни використовують тільки кінетичну енергію потоку:

$$W = \frac{(W_1^2 + W_2^2)}{2}, \quad (3.3)$$

де  $W_1, W_2$  – відповідно енергія потоку води на вході й на виході робочого колеса.

У ковшовій активній турбіні потенціальна енергія гідростатичного тиску в звуженій частині трубопроводу – соплі – повністю перетворюється на кінетичну енергію руху води. Робоче колесо турбіни виконано у вигляді диска, по колу якого розташовані ковшеподібні лопаті (рис. 3.2).

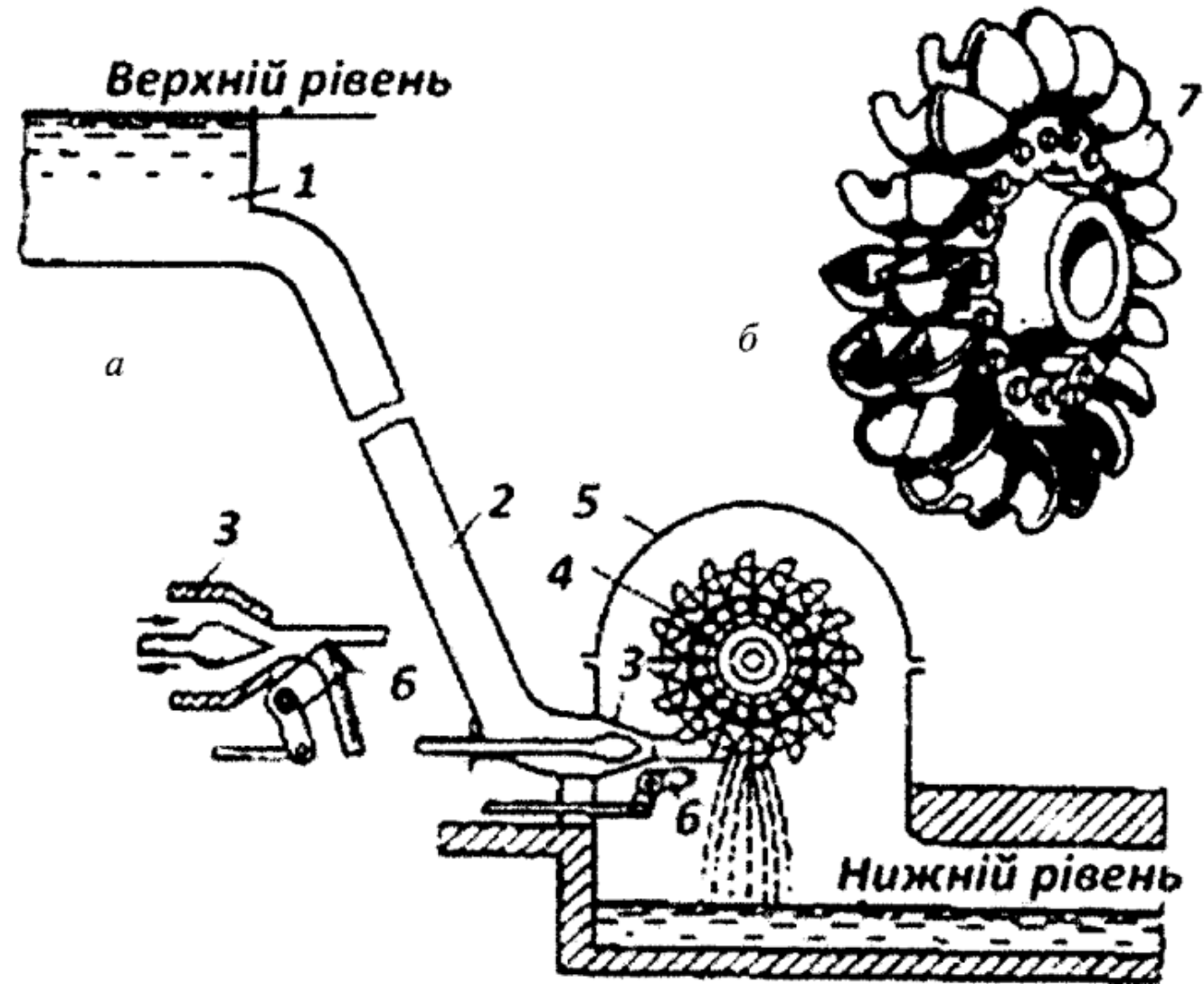
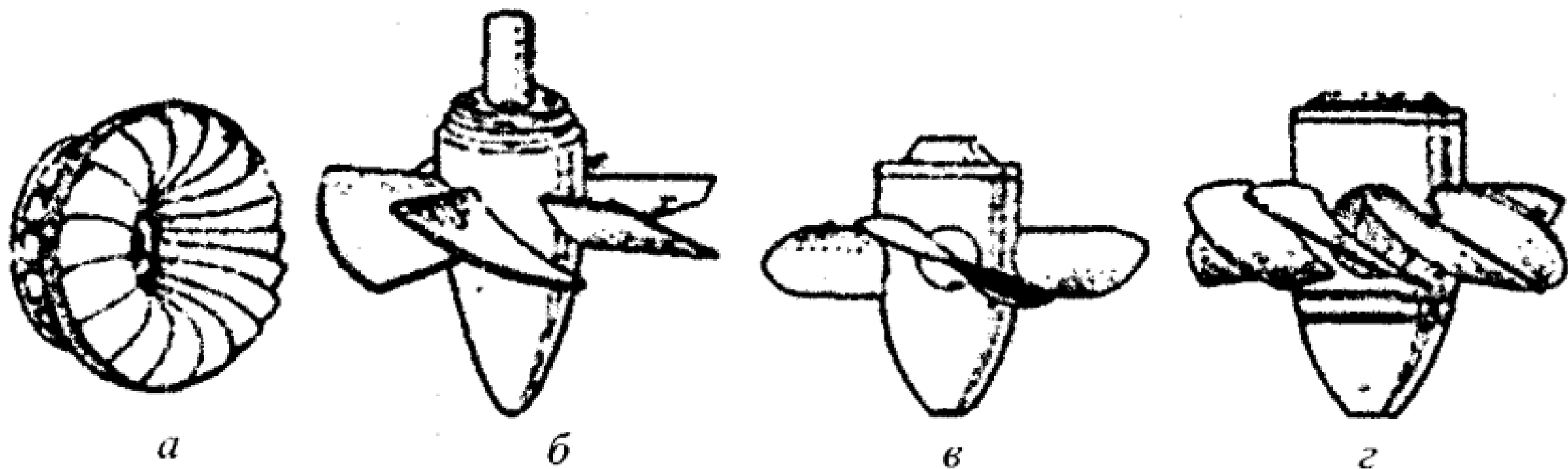


Рис. 3.2. Активна гідротурбіна (турбіна Пелтона):  
 а – схема турбінного пристрою; б – робоче колесо;  
 1 – верхній рівень води; 2 – трубопровід; 3 – сопло;  
 4 – робоче колесо; 5 – корпус; 6 – пристрій  
 спускання води; 7 – лопаті турбіни

Коли вода, обтікаючи поверхні лопатей, змінює напрям руху, виникають відцентрові сили, що діють на поверхні лопатей, і енергія руху води перетворюється на енергію обертання колеса турбіни. Якщо швидкість руху води, яка витікає з турбіни, дорівнює нулю, то вся кінетична енергія води, не враховуючи втрат, перетворюється на механічну енергію турбіни. Всередині сопла розташована регулювальна голка, переміщенням якої змінюють вихідний переріз сопла і витрату води.

У реактивній гідротурбіні на лопатях робочого колеса як кінетична, так і потенціальна енергія води перетворюється на механічну енергію турбіни (рис. 3.3).



*Рис. 3.3. Типи реактивних турбін: а – радіально-осьова; б – пропелерна; в – поворотно-лопатева; г – поворотно-лопатева двоперова*

Кривизною лопатей змінюють напрям потоку води, за якого, як і в активній турбіні, кінетична енергія води в результаті дії відцентрових сил перетворюється на механічну енергію турбіни. Робоче колесо реактивної турбіни повністю занурене у воду, тобто потік води надходить одночасно на всі лопаті робочого колеса. Конструкція реактивних гідротурбін:

- ✓ радіально-осьові – лопаті зі складною кривизною, тому вода поступово змінює напрям із радіального на осьовий (для напору від 30 до 60 см);

- ✓ пропелерні – проста конструкція і високий ККД, але зі зміною навантаження ККД різко зменшується;

- ✓ поворотно-лопатеві – лопаті робочого колеса повертаються для зміни режиму роботи і підтримання високого значення ККД;
- ✓ двоперові – робочі лопаті спарені, що дає змогу підвищити витрату води, не поширені через складність конструкції;
- ✓ діагональні – робочі лопаті повертаються відносно своїх осей.



На рис. 3.4 наведено типи турбін, застосовувані у малій гідроенергетиці.

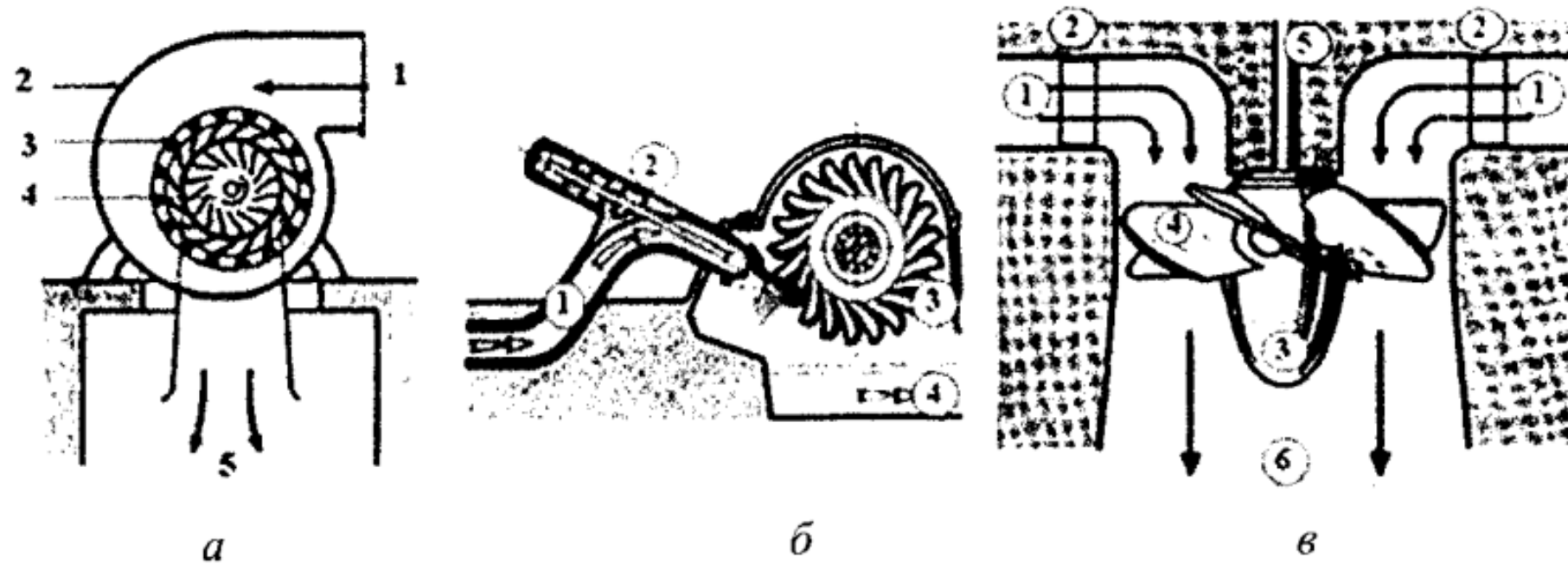


Рис. 3.4. Турбіни малої гідроенергетики:

*а – турбіна Френсіса (1 – подавання води, 2 – корпус турбіни, 3 – регулювальний напрямний апарат, 4 – робоче колесо, 5 – витік води); б – турбіна Пелтона (1 – подавання води, 2 – вхідний отвір, 3 – робоче колесо, 4 – витік води); в – турбіна Каплана (1 – подавання води, 2 – регулювальний напрямний апарат, 3 – ступиця робочого колеса, 4 – лопаті робочого колеса, 5 – вал робочого колеса, 6 – витік води)*

За напору понад 10 м переважно використовують турбіни Френсіса (рис. 3.4, *a*). Вони стійкі до кавітації (кавітація – утворення всередині рідини порожнин, заповнених газом, паром чи їх сумішшю (кавітаційних бульбашок), тобто порушення суцільності рідини), завдяки цьому не потрібно глибоко занурювати ротор. Вода з верхнього резервуара тисне на регулювальні лопаті й спочатку прискорює, а потім підтримує частоту обертання турбіни. Турбіна Френсіса – це реактивна турбіна: потік води, проходячи через неї, розширюється. Потенціальна енергія води перетворюється на кінетичну енергію обертання ротора.

— — — — —

Турбіни Пелтона (рис. 3.4, б) застосовують на малих ГЕС. Ця турбіна подібна до ківшового колеса, але з подаванням потоку води перпендикулярно до лопатей. Замість простих лопатей тут застосовують спеціально профільовані лопаті у формі двох чаш. Турбіни Пелтона з вертикальними і горизонтальними валами застосовують на ГЕС із великим напором води (понад 50 м).

Турбіна Каплана (рис. 3.4, в) – це різновид пропелерної турбіни. Змінюючи нахил лопатей під час роботи, можна регулювати потужність турбіни і підвищувати ККД. У турбіні Каплана від трьох до десяти лопатей, її застосовують за напору від 1,5 до 80 м. Максимальна потужність однієї турбіни близько 130 МВт.

На електростанціях турбіна і генератор розташовані на спільному валу. Частота його обертання не може бути довільною, а залежить від кількості пар полюсів ротора генератора та частоти змінного струму, яка повинна відповідати стандартній. Крім того, необхідно враховувати, що за невеликих частот обертання турбіни стають громіздкими та недешевими. Потужності турбін змінюються від декількох кіловат до 500 МВт, а частота обертання – від  $16^{2/3}$  до 1500 об./хв.

Останнім часом застосовують горизонтальні агрегати (капсульні), в яких генератор розташований у герметичній капсулі, що обтікається водою. ККД таких агрегатів близько 95–96 % завдяки кращим гідравлічним умовам обтікання (Київська, Канівська ГЕС).

Споруджуючи ГЕС, виконують комплекс народногосподарських завдань. Окрім виробництва електроенергії, передбачають регулювання стоку води, покращення судноплавства ріки, створення зрошувальних масивів, розвиток енергомістких виробництв тощо.

### **3.4. Малопотужна гідроенергетика**

В Україні почали застосовувати малі- та мікрогідро-електричні агрегати для автономних і малопотужних споживачів. Такі агрегати, встановлені на малих річках, потребують мінімальних капітальних затрат на будівельні та монтажні роботи та використовують великі потенційні можливості виробництва найдешевшої електроенергії.

Спорудження малих гребель і загат для енергоагрегатів дає змогу створити значні запаси води у верхів'ях річок з метою водорегулювання протягом року.

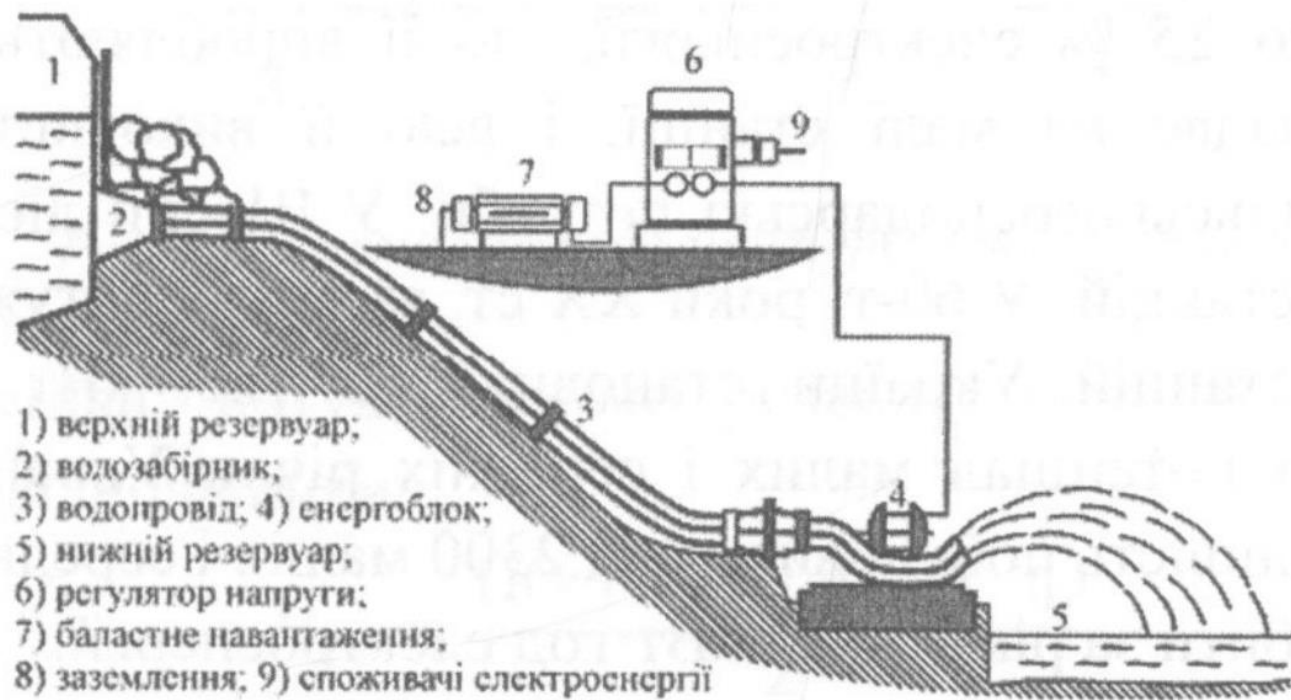
### 3.4.1. Мікрогідроелектростанції

Для індивідуальних автономних споживачів у країні виготовляють мікрогідроелектростанції різних типорозмірів (табл. 3.2).

Таблиця 3.3

#### Характеристики мікрогідроелектростанцій

Параметри	Групи типорозмірів мікрогідроелектростанцій			
	I	II	III	IV
Потужність, кВт	0,25–0,5	1–2	3–4	5–6
Напір, м	2–3,7	5,5–7	10–11,7	12
Витрата, л/с	12–32	4–46	70–72	76–78
Напруга, В	12/220	12/220	220	220/380
Маса, кг	10–35	45–47	7–74	80–85



a

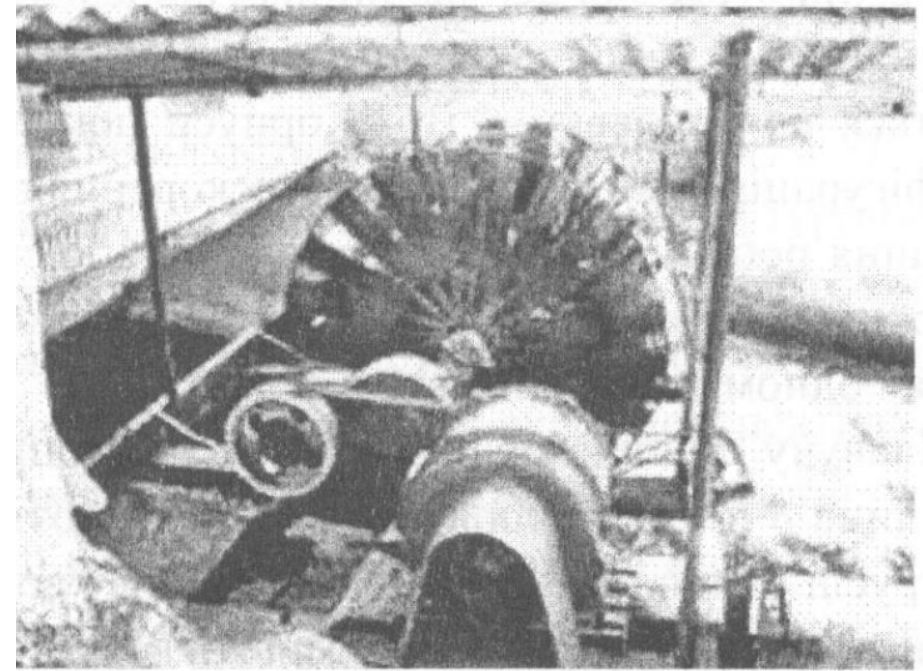


Рис. 3.5. Схема (а) та варіант виконання мікрогідроелектростанції (б)



За сучасних цін на електроенергію собівартість енергії, виробленої на мікрогідроелектростанціях, в 1,5–2 рази нижча, ніж на вугільних теплових електростанціях. Для невеликих виробництв і для індивідуальних споживачів, які мають змогу використати гідроресурси зі своїх околиць, можна застосувати традиційну схему мікрогідроелектростанцій (рис. 3.5).

Досвід спорудження мікрогідроелектростанцій у багатьох країнах світу підтверджує їх ефективність, не тільки енергетичну, а й для збереження та відтворення вже порушених природних середовищ і екосистем.

### *3.4.2. Мінігідроелектростанції*

Близько 25 % електроенергії, що її виробляють на ГЕС в Японії, припадає на малі станції, і всю її використовують на побутові й сільськогосподарські потреби. У Швеції діє 1200 мінігідроелектростанцій. У 60-ті роки ХХ ст. загальна потужність мінігідроелектростанцій України становила 65 тис. кВт. Оцінивши енергетичний потенціал малих і середніх річок України, фахівці виявили можливість побудови понад 2300 малих і середніх ГЕС, які можуть виробити за рік 4 млрд кВт·год електроенергії.

Перспективним для малих ГЕС (МГЕС) є використання плавучих (рис. 3.6) і руслових дериваційних гідроелектростанцій.

Перспективним для малих ГЕС (МГЕС) є використання плавучих (рис. 3.6) і руслових дериваційних гідроелектростанцій.

У плавучих ГЕС турбінне колесо 1 встановлено на опорах 2 і 3, які спираються на поплавки 4 і 5. Корпуси поплавків повинні мати таку конфігурацію, яка забезпечує прискорення потоку води в зоні розташування робочих лопатей турбіни. Для посилення цього ефекту до нижньої частини поплавків прикріплено профільний збірник 6. На одному із поплавків встановлено електричний генератор 7. Плавучу станцію розташовують у потоці води річки і за допомогою линв 8 і 9 закріплюють до анкерів, розташованих на берегах чи в руслі річки. Гнучкі линви забезпечують підтримання станції на постійному рівні відносно поверхні потоку води, який змінюється залежно від пори року, випадання дощів чи інших чинників.

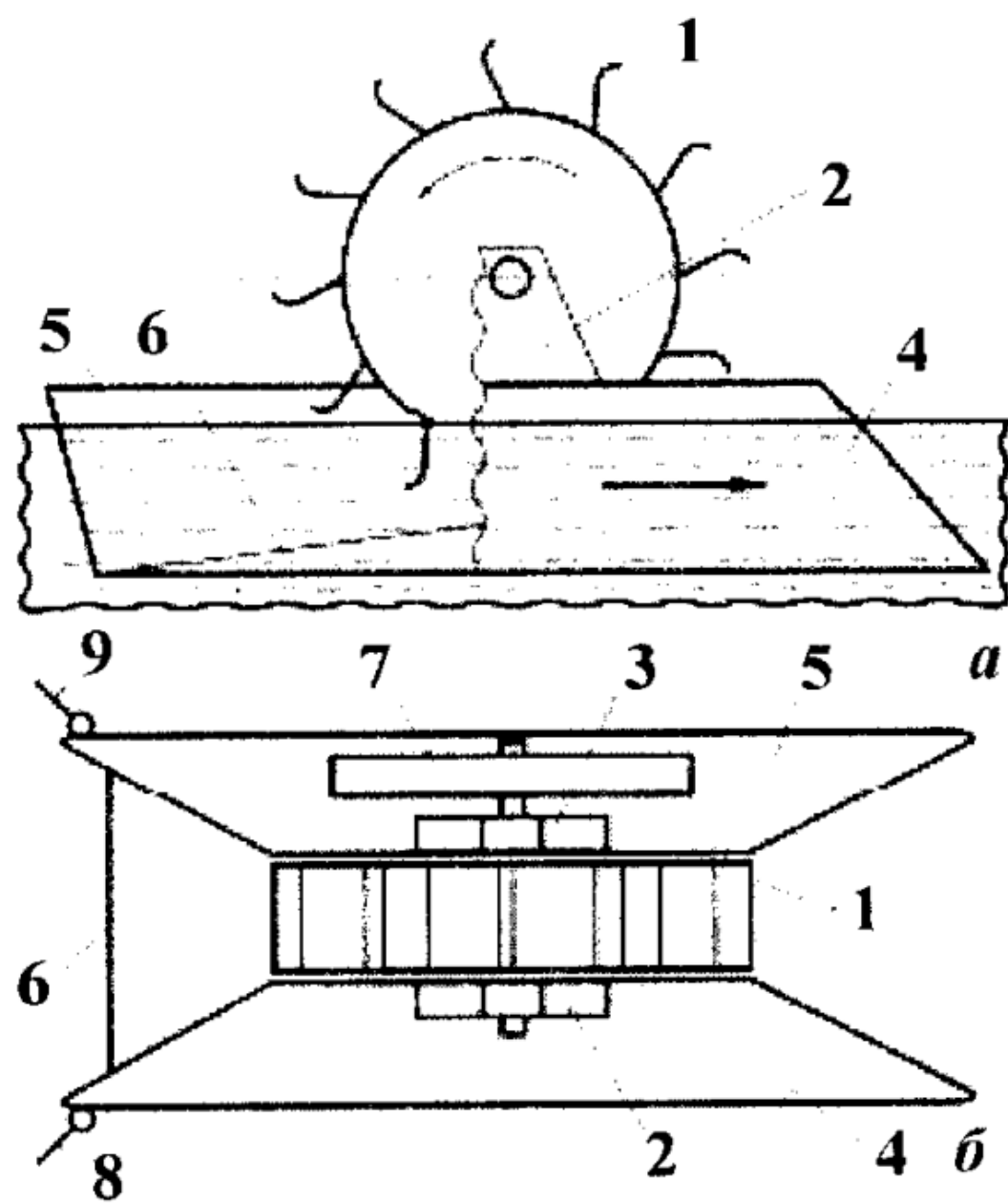


Рис. 3.6. Схема плавучої мінігідроелектростанції

Ефективну потужність, яку розвиває така турбіна, визначають за співвідношенням

$$N_{\text{ЕФ}} = \frac{(K \cdot F \cdot \rho_{\text{В}} \cdot \vartheta^3 \cdot n \cdot \eta)}{2}, \quad (3.4)$$

де  $K$  – коефіцієнт, що залежить від форми тіла;  $F$  – площа найбільшого перетину тіла в площині, перпендикулярній до напрямку потоку рідини ( $F = 0,02 - 0,1 \text{ м}^2$ );  $\rho_{\text{В}}$  – густина води,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\vartheta$  – відносна швидкість лопаті у воді;  $n$  – кількість лопатей, занурених у воду;  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії турбіни (0,5–0,75).

Робоче колесо турбіни в таких ГЕС розвиває швидкість 30–100 об./хв. На таких станціях необхідно використовувати тихохідні електрогенератори, з яких перспективними є машини постійного і змінного струму, зокрема, синхронні.

Реальні можливості реконструкції малих ГЕС, що не діють, а також побудови нових станцій визначив Укргідропроект у 1985 р.: планували до 2000 р. побудувати 14 і відновити 55 станцій загальною потужністю 165 МВт. Сьогодні не втрачено можливості

реалізації цих планів. Потужності українських підприємств (Турбоатом, Мотор-Січ, Електроважмаш, Сумський насосний завод) здатні забезпечити серійне виробництво гідротурбін, гідронасосів, гідрогенераторів та іншого обладнання для малої енергетики. Тільки за рахунок виробництва гідротурбін потужністю від 25 до 500 кВт (напори 5–15 м) можливо забезпечити 50 % потреб України в агрегатах для МГЕС.

Питомі витрати на спорудження нових мінігідроелектро-станцій і МГЕС становлять \$ 600–700, на відновлення станцій – \$ 350–400. Власна машинобудівна база держави повністю забезпечує можливість спорудження таких гідроелектростанцій на малих і середніх річках України загальною потужністю 1000 МВт зі щорічним виробництвом до 4 млрд кВт·год електроенергії.

Понад 25 % цієї електроенергії можна одержати у західному регіоні (на ріках Тиса і Прут).