

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

«Малі електричні станції в АПК»

Навчально-методичний посібник для проведення практичних робіт з навчальної дисципліни «Малі електричні станції в АПК» за спеціальністю 141 – “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” студентів денної та заочної форми навчання.



Стаднік М. І.; Штуць А. А.; Колісник М.А.

Вінниця – 2019

Стаднік М. І.; Штуць А. А.; Колісник М.А.

Навчально-методичний посібник для проведення практичних робіт з навчальної дисципліни «Малі електричні станції в АПК» за спеціальністю 141 – “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка” студентів денної та заочної форми навчання – Вінниця.: РВВ ВНАУ, 2019. – 120.с.

Рецензенти:

Собчук Н.В., к.т.н., доцент кафедри електричних станцій і систем, Вінницького національного технічного університету

Висилівська Н.Р., д.т.н., професор кафедри машин та обладнання сільськогосподарського виробництва Вінницького національного аграрного університету

Рекомендовано до видання науково-методичною комісією Вінницького національного аграрного університету, протокол №__від _____2019 року.

Вступ

Із зростанням значення МЕС в енергобалансі країни актуальним стає розвиток технічного, інформаційного й методичного забезпечення експлуатації МЕС. Знання типів малих електростанцій, особливостей їх роботи та їх роль в електропостачанні а також порівняльна характеристика малих джерел електроенергії і принципи їх побудови є надзвичайно важливо для фахівців в галузі енергетики.

Важливим у цьому напрямку є комплексність і методологічна єдність у прийнятті рішень щодо покращення експлуатаційних характеристик МЕС при роботі їх в енергосистемі

Найважливіші задачі, що вирішуються енергетиками та енергобудівниками, складаються з неперервного збільшення обсягів виробництва, зменшення строків будівництва нових енергетичних об'єктів і реконструкції старих, зменшення питомих капіталовкладень, зменшення питомих витрат палива, збільшенні продуктивності праці, покращення структури виробництва електроенергії тощо.

Цей посібник присвячений вивченню МЕС з метою поширеного їх використання та підвищення ефективності останніх при роботі в енергосистемі.

МЕС в сільському господарстві

Енергію сонця, води, вітру в агро-промисловому комплексі доцільно використовувати в технологічних процесах – виробництво молочних продуктів, соків, консервування овочів та фруктів, промивка технологічного обладнання тощо. Використання теплових сонячних колекторів для забезпечення технологічною теплою водою є доцільним для підприємства агропромислового комплексу.

Економічно доцільним є використання сонячних сушарок на малих підприємствах сектору агро-переробки. Електрична енергія, отримана від

сонячних панелей, попри свою порівняно високу собівартість, може бути чи не єдиним джерелом живлення для віддалених від централізованих електромереж об'єктів. Але надійне та безперебійне електропостачання таких підприємств можна забезпечити лише за умови вірно підібраних комплексних рішень, - об'єднання сонячних, вітряних технологій з акумуляцією енергії, резервне живлення за допомогою традиційних генераторів та заходи з енергозбереження.

В процесі життя людей та господарської діяльності підприємств утворюються різні види органічних відходів, для утилізації яких використовуються біогазові станції. При цьому, сучасні технології дають можливість переробляти одночасно різні по виду і структурі біологічні відходи, отримуючи в результаті електроенергію, тепло і добрива.

В останні роки значно зросла зацікавленість до процесів виробництва біогазу - це проявляється не тільки в зростаючій кількості біогазових установок, що будуються і плануються, але і в зацікавленості все більшого числа фермерів, комунальних господарств, підприємств і приватних господарств, які уважно спостерігають за розвитком аграрного сектора.

Загальна частина

Організація підготовки і виконання практичних робіт

На практичних заняттях студенти набувають навиків з дослідження та налагодження різних установок, (приладів) а також поповнюють, поглиблюють і закріплюють теоретичні знання.

У практичних заняттях можна виділити чотири основні етапи: підготовчий, відтворення процесу, що вивчається, вимірювання характерних показників його проходження, аналіз та узагальнення отриманих результатів. Виконання кожного етапу потребує серйозної підготовки і свідомого ставлення до роботи.

Готуватись до кожної практичної роботи студент повинен завчасно,

вивчаючи відповідні розділи навчального посібника або підручника, конспекту лекцій та практичних занять, методичні вказівки, наведені в цьому практикумі, а також ознайомитися з паспортами обладнання, яке буде досліджуватися.

Студенти повинні добре засвоїти мету, зміст роботи, фізичну суть процесів, що вивчаються, та методику виконання практичної роботи. Після цього розглядається план-схема, заготовлюються форми таблиць для запису результатів, виконуються необхідні попередні розрахунки. Всі ці матеріали записуються у журнал спостережень (робочий зошит). Форма журналу може бути довільною, але в ньому повинні бути обов'язково відображені:

- 1) тема практичної роботи;
- 2) прізвища виконавців,
- 3) дата виконання,
- 4) план-схема,
- 5) технічні дані досліджуваної установки, засоби вимірювання,
- 6) таблиці для запису результатів дослідів і розрахунків з обов'язковим зазначенням одиниць вимірювання величин,
- 7) графи для відмітки про допуск до виконання практичної роботи та прийнятності отриманих результатів.

На початку практичного заняття студенти ознайомлюються з обладнанням робочого місця і після перевірки викладачем ступеня підготовки до занять допускаються до виконання лабораторної роботи.

Складання електричної схеми виконується одним членом бригади, але перевірити правильність складання повинен кожний студент бригади. За вказівкою викладача складання силових кіл і кіл керування виконується різними членами бригади.

Електричні схеми для проведення досліджень складаються частинами.

Спочатку складають головні (силові) кола, потім кола керування, сигналізації та вимірювання. Під час складання схем спочатку складаються

послідовні (струмові) кола, а потім приєднуються паралельні (вольтметри, обмотки напруг ватметрів і лічильників електричної енергії, кола керування, сигналізації тощо). При цьому кола напруги повинні підключатись без проміжних електричних зв'язків. Це полегшує перевірку схеми членами бригади та викладачем. Під час складання і перевірки схеми особливу увагу слід приділити відповідності вимірювальних приладів роду струму та границям вимірювання, правильній полярності підключення, цілісності і надійності контактів з'єднувальних провідників. Після закінчення складання схеми і перевірки її членами бригади викладач приймає схему і дає дозвіл на вмикання установки, що випробовується, та проведення дослідів.

Під час проведення досліду необхідно фіксувати всі характеристики досліджуваного процесу. У першу чергу записують ті параметри, які під час досліду змінюються найшвидше, не допускаючи суб'єктивного впливу на результат вимірювань. Неуважність часто призводить до викривлень і помилок. У разі отримання в одному статичному ряді величин, що сильно різняться між собою, слід записати всі дані, а потім, якщо необхідно, повторити дослід і вказати обставини, які супроводжують зазначене вимірювання. Це дозволить встановити причину викривлень і кваліфікувати вимірювання як відповідне реальному ходу процесу або як похибку (грубу помилку).

Під час експерименту необхідно робити попередню обробку результатів та їх аналіз для того, щоб бути впевненим у правильності проведення досліду і скоротити час на оформлення звіту.

Виконувати практичну роботу необхідно в певній послідовності згідно з програмою роботи, методичними вказівками та рекомендаціями керівника занять. У випадку виникнення непорозумінь під час виконання роботи необхідно звернутися до керівника занять.

Експериментальна частина роботи вважається виконаною лише після перевірки і затвердження результатів дослідів викладачем. Схему

дослідження до цього моменту розбирати не можна, оскільки, якщо результати дослідів будуть визнані незадовільними, то досліди необхідно буде повторити.

Після закінчення виконання експериментальної частини роботи з дозволу викладача необхідно розібрати схему, покласти на місце вимірювальні прилади, з'єднувальні провідники та інше обладнання, здати викладачу або лаборанту видані прилади, привести в порядок робоче місце.

Результати вимірювань та спостережень, отримані в процесі виконання практичної роботи, частково опрацьовують на поточному занятті, а остаточно – на аудиторних самостійних заняттях під керівництвом викладача. Тому, студенти при собі повинні мати обчислювальну техніку, засоби для креслення електричних схем і побудови графіків тощо. На заключному етапі складається звіт про виконану практичну роботу.

Правила з техніки безпеки під час виконання практичних робіт у лабораторіях

Під час виконання практичних робіт необхідно точно виконувати правила техніки безпеки. На першому практичному занятті викладач проводить інструктаж з техніки безпеки, під час якого в загальних рисах характеризує основне обладнання лабораторії і більш докладно – об'єкти, які являють собою велику небезпеку. Увага студентів звертається на те, що багато електронагрівальних установок є небезпечними не тільки через можливість ураження електричним струмом, але й отримання променевих та контактних опіків.

Студенти повинні бути ознайомлені зі схемою електроживлення робочих місць, розміщенням апаратури для відключення живлення всієї лабораторії, місцями знаходження вогнегасників і засобів виклику 101 і 103.

Крім того, студенти мають дотримуватись основних правил з техніки безпеки під час експлуатації електроустановок:

1). вмикати складну схему установки, яка підлягає випробуванню, можна лише після дозволу керівника занять і переконавшись у тому, що жоден з оточуючих не може потрапити під напругу;

2). при кожному вмиканні установки під напругу попереджувати оточуючих словом “подаю напругу”;

3). забороняється виконувати будь-які зміни в електричних колах установки під напругою, якщо це не передбачено програмою роботи;

4). при появі будь-яких ознак ненормальної роботи обладнання (дим, запах гару, іскріння, підвищений шум тощо) слід негайно вимкнути живлення установки і повідомити про це керівника занять. Без дозволу викладача повторне вмикання установки не дозволяється.

Після проведення інструктажу всі студенти розписуються в спеціальному журналі і після цього несуть особисту відповідальність за дотримання правил з техніки безпеки та збереження обладнання лабораторії.

Практична робота №1

Сонячна електроенергетика

Мета роботи: ознайомитись з принципом роботи та будови малих СЕС

Теоретичні відомості

Сонячна енергія може бути перетворена в електричну двома основними шляхами: термодинамічним і фотоелектричним.

При термодинамічному методі електричну енергію за рахунок використання сонячної енергії можна отримати використанням традиційних схем в теплових установках, в яких теплота від згоряння палива замінюється потоком концентрованого сонячного випромінювання. Принципова схема отримання електричної енергії в сонячній теплоелектростанції наведена на рис. 1.1.

Існують сонячні теплоелектростанції трьох типів:

- баштового типу з центральним приймачем-парогенератором, на поверхні якого концентрується сонячне випромінювання від плоских дзеркал-геліостатів;
- параболічного (лоткового) типу, де в фокусі параболоциліндричних концентраторів розміщуються вакуумні приймачі-труби з теплоносієм;
- тарілкового типу, коли в фокусі параболічного тарілкового дзеркала розташовується приймач сонячної енергії з робочою рідиною.

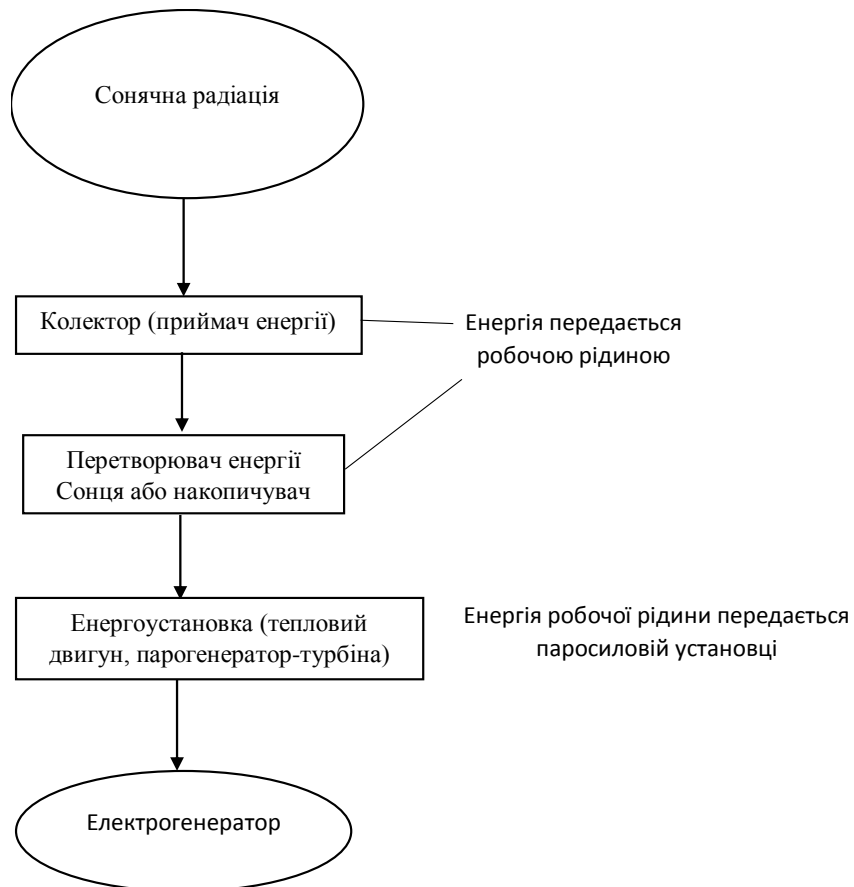


Рис. 1.1. Принципова блок-схема сонячної теплоелектростанції

Станції баштового типу складаються з п'яти основних елементів: оптичної системи, автоматичної системи управління дзеркалами і станцією в цілому, парогенератора, башти і системи перетворення енергії, яка включає теплообмінники, акумулятори енергії і турбогенератори.

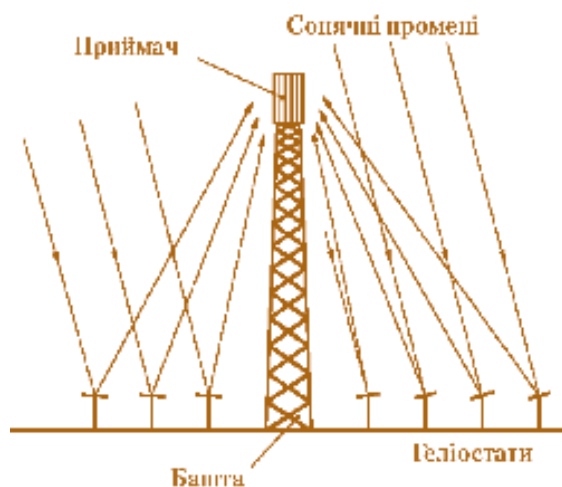


Рис. 1.2. Схема електростанції баштового типу

Оскільки у такій електростанції використовується пряме сонячне випромінювання, концентруючі геліостати повинні мати систему слідування за Сонцем, при цьому кожний з геліостатів орієнтується в просторі індивідуально.

Температура, яку можна отримати на вершині башти з допомогою дзеркальних концентраторів, складає 300–1500°C. В одному модулі можна отримати потужність, яка не перевищує 200 МВт, що пов'язано зі зниженням ефективності перенесення енергії від найбільш віддалених концентраторів на вершину башти.

Світова практика експлуатації станцій баштового типу довела їх технічну можливість і працездатність. Основним недоліком таких установок є значна площа, яку вони займають. Так, для розміщення баштової електростанції потужністю 100 МВт необхідна площа 200 га.

Пуск сучасної сонячної електростанції баштового типу відбувся 30 березня 2007 року в районі Санлукар-ла-Майор недалеко від Севільї (Іспанія). Бетонна башта висотою 115 м і 624 дзеркала геліостатів площею 120 м² кожне забезпечує парою паротурбінну установку потужністю 11 МВт, що достатньо для постачання електроенергією 6000 будівель, економлячи тим самим 18000 тонн вуглеродних викидів за рік.



Рис. 1.3. Сонячна термодинамічна електростанція «Solar Two»

Демонстраційна сонячна термодинамічна електростанція «Solar Two» (Рис. 1.3.) працювала з 1981 по 1999 роки в пустелі Мохаве (Каліфорнія, США). Її потужність перевищувала 10 МВт. Цікаво, що сонячне світло гріло не воду, а проміжний теплоносіє – розплавлену суміш натрію і калію. Від неї вже закипала вода, що давала пару для турбін. У 1999 році вчені перебудували цю станцію у гігантський детектор черенковського випромінювання для вивчення дії космічних променів на атмосферу.



Рис. 1.4. Сонячні електростанції в Севільї (PS1), Іспанія (фото «Solucar»)

Околиці Севільї, де встановлена сонячна електростанція, нагадують справжнє задзеркалля. У центрі стоять дві гігантських вежі і PS10 PS20, висота яких порівнянна з 40-поверховими будівлями. Навколо вежі PS10 – 624 геліостат, дзеркала величезних, які відстежують сонячні промені і перенаправляють їх на вершину веж. Там встановлені парові турбіни, переробні сонячне світло в електроенергію. PS20 Вежа, яка введена в експлуатацію в 2013 році, ще більш потужна, її оточують дзеркал 1255. Передбачається, що функціонування веж запобіжить викиди вуглекислого газу в атмосферу в розмірі 600 тисяч тонн щорічно протягом 25 років.

У сонячних електростанціях параболічного типу (рис. 1.5.) використовуються параболічні дзеркала (лотки), що концентрують сонячну

енергію на приймальних трубках, які розташовані в фокусі конструкції і вміщують в собі рідинний теплоносіє. Ця рідина нагрівається приблизно до 400°C і прокачується через ряд теплообмінників, при цьому виробляється перегріта пара, яка приводить в дію звичайний турбогенератор для вироблення електричної енергії.

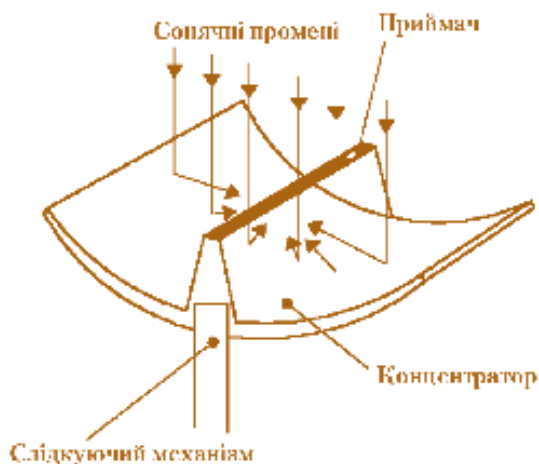


Рис. 1.5. Схема сонячної електростанції параболічного типу

Станції параболічного типу використовуються все ширше завдяки більш простій системі слідкування за Сонцем і меншій металоємності. Питома вартість станцій параболічного типу близька до питомої вартості АЕС.

В установках тарілкового типу (рис. 1.7.) використовуються параболічні тарілкові дзеркала (схожі за формою на супутникову тарілку), які фіксують сонячну енергію на приймачі, розташованому в фокусі кожної тарілки.

Рідина в приймачі нагрівається до 1000°C і її енергія використовується для вироблення електричної енергії в двигуні Стирлінга або в установці, що працює за циклом Брайтона. Установки мають систему слідкування за Сонцем. Внаслідок ефекту аберації при відхиленні від ідеальної форми та інших конструктивних факторів максимальний діаметр тарілок не перевищує 20 м при потужності до 60–75 кВт. Питома вартість сонячної електростанції тарілкового типу може бути меншою, ніж електростанцій баштового і параболічного типів.



Рис. 1.6. Вигляд на станцію PS1 з висоти пташиного польоту. На задньому плані видна площадка, яку готують під PS2 (фото «Solucar»)



Рис. 1.7. Сонячна установка тарілкового типу:

а – схема сонячної установки тарілкового типу;

б – сонячна установка потужністю 10 кВт на сонячній електростанції в Almeria (Іспанія)



Рис. 1.8. Довгі параболічні (в поперечному перерізі) дзеркала з трубами для розігрівання теплоносія (фото «Solucar»)

Сонячна електростанція компанії «Solucar» в Санлукар-ла-Майор перевіряє на ділі різні технології. Наприклад, параболічні концентратори з двигунами Стирлінга і довгезелзні параболічні (в поперечному перерізі) дзеркала з трубами для розігрівання теплоносія (фото «Solucar»).

Сонячні електростанції найбільш ефективні в районах з високим рівнем сонячної радіації і малою хмарністю. Їх к.к.д. може досягати 20%, а потужність 100 МВт.

Сонячна фотоенергетика являє собою пряме перетворення сонячної радіації в електричну енергію. Принцип дії фотоелектричного перетворювача базується на використанні внутрішнього фотоефекту в напівпровідниках і ефекту ділення фотогенерованих носіїв зарядів (електронів і дірок) електронно-дірочним переходом або потенційним бар'єром типу метал-діелектрик-напівпровідник.

Фотоефект має місце, коли фотон (світловий промінь) падає на елемент з двох матеріалів з різним типом електричної провідності (дірочної або

електронної). Потрапивши в такий матеріал, фотон вибиває електрон з його середовища, утворюючи вільний негативний заряд і «дірку». У результаті рівновага так званого р-n-переходу порушується і в колі виникає електричний струм. Будова кремнієвого фотоелемента показана на рис. 1.10.

Чутливість фотоелемента залежить від довжини хвилі падаючого світла і прозорості верхнього шару елемента. В ясну погоду кремнієві елементи виробляють електричний струм приблизно силою 25 мА при напрузі 0,5 В на 1 см² площі елемента, тобто 12–13 мВт/см². Теоретична ефективність кремнієвих елементів складає коло 28%, практична – від 14 до 20%.

При послідовно-паралельних з'єднаннях сонячні елементи утворюють сонячну (фотоелектричну) батарею. Потужність сонячних батарей, що серійно випускаються промисловістю, складає 50–200 Вт. На рис. 9. показані фотоелектричні батареї для маяка на о. Зміїний (Україна). На сонячних фотоелектричних станціях сонячні батареї використовуються для створення фотоелектричних генераторів. На рис. 12. зображено блок-схему сонячної фотоелектричної станції. Термін служби такої станції становить 20–30 років, а експлуатаційні витрати мінімальні.

Недоліком плоских фотоелементів для отримання електричної енергії є їх висока вартість (до 5 дол. США/Вт) і значні площі, необхідні для розміщення фотоелектростанції.



Рис. 1.9. Фотоелектричні панелі

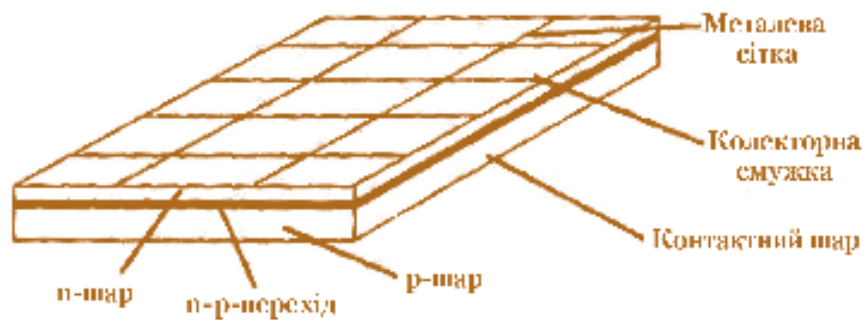


Рис. 1.10. Схема кремнієвого фотоелементу

Одним із шляхів удосконалення фотоенергетики є створення концентруючих фотоелементів. Система концентрації сонячної енергії складається безпосередньо з концентраторів і системи слідкування за положенням Сонця, бо концентруючі фотоелементи сприймають тільки пряме сонячне випромінювання.

Сьогодні для створення концентруючих сонячних елементів використовують кремній. Так, на основі кремнію в Австралії створені елементи зі ступенем концентрації $k = 11$ і к.к.д. 20%.



Рис. 1.11. Фотоелектрична система енергопостачання комплексу на о. Зміїний потужністю 10 кВт



Рис. 1.12. Блок-схема сонячної фотоелектричної станції



Рис. 1.13. Система фотоелектричного освітлення ботанічного саду

Для підвищення ефективності фотоелектричного перетворення сонячної енергії в якості вихідного матеріалу використовують арсенід галія, фотоелектричні втрати якого при високих температурах значно нижчі, ніж у кремнія.

На основі арсеніду галія створено трикаскадні елементи з високою ефективністю роботи при ступені концентрації 1000 і більше. Вже створено лабораторні зразки сонячних елементів площею $0,5 \text{ см}^2$ з $k = 500$ і к.к.д. 40%.

Прогнози спеціалістів в галузі фотоелектричного перетворення сонячного випромінювання показують, що найбільш перспективними будуть концентратори з $k = 1000$, які працюють з багатокаскадними арсенідгалієвими сонячними елементами нового покоління.

Одним з ефективних способів використання фотоелементів є фотоелектричний транспорт. Багато фірм створюють автомобілі на сонячних фотоелементах. У 1980 р. побудований перший сонячний літак «Солар Челленджер», який може пролетіти 160 км.

Суттєвим недоліком існуючих сонячних енергетичних установок є нерівномірність їх роботи, що пов'язано зі зміною потоку сонячного випромінювання, який досягає поверхні Землі, викликаного погодними умовами, зміною пори року і часом доби.



Рис. 1.14. Модульний тип фотоелектричних перетворювачів дозволяє створювати установки будь-якої потужності й робить їх дуже перспективними

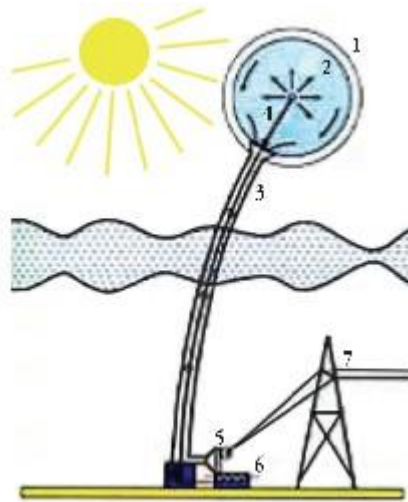


Рис. 1.15. Схема сонячної аеростатної електростанції:

1 – прозора оболонка; 2 – поглинаюча оболонка; 3 – паропровід; 4 – трубопровід з водяними помпами; 5 – парова турбіна з генератором; 6 – конденсатор; 7 – ЛЕП

Сонячні аеростатні електростанції можуть стати одним з можливих нових напрямків, які дозволять більш ефективно використовувати сонячну енергію. Основний елемент сонячних аеростатних електростанцій – аеростат – може бути виведеним на декілька кілометрів над поверхнею Землі, вище хмар, що забезпечить безперервне використання сонячної енергії на протязі дня (рис. 1.15, 1.16).

Принципова схема роботи сонячної аеростатної електростанції (САЕС) з паровою турбіною полягає в поглинанні поверхнею аеростата сонячного випромінювання і нагрівання в результаті водяної пари, що знаходиться всередині (рис. 1.15.). При цьому оболонка аеростата виконується двошаровою. Сонячні промені, проходячи через зовнішній прозорий шар, нагрівають внутрішній шар оболонки з нанесеним покриттям, яке поглинає сонячне випромінювання. Водяна пара, що знаходиться всередині оболонки, нагрівається тепловим потоком, який потрапляє через оболонку, до 100–150°C. Прощарок газу (повітря) між шарами, виконуючи роль теплоізоляції,

зменшує втрати теплоти в атмосферу. Тиск пари практично дорівнює тиску зовнішнього повітря. Водяна пара гнучким паропроводом подається на парову турбіну, потім конденсується в конденсаторі, вода з конденсатора знову подається помпами у внутрішню частину оболонки, де випарюється при контакті з перегрітою водяною парою. К.к.д. такої установки може складати 25%, причому завдяки запасу водяної пари у внутрішній частині аеростата установка може працювати і вночі. При діаметрі аеростата 150 м і розміщенні на висоті 5 км установка може мати потужність 2 МВт.

Такі САЕС можуть розташовуватися в декілька сотень метрів над поверхнею Землі або над поверхнею моря із силовою установкою на платформах з якорем, до платформ також кріпиться аеростат. При розташуванні аеростата на висоті 5–7 км забезпечується робота САЕС незалежно від погодних умов. При цьому силова паротурбінна установка може розташовуватися на землі або в люльці аеростата з передачею електроенергії по кабелю на землю. На сьогодні існує досвід використання таких САЕС на Тайвані.

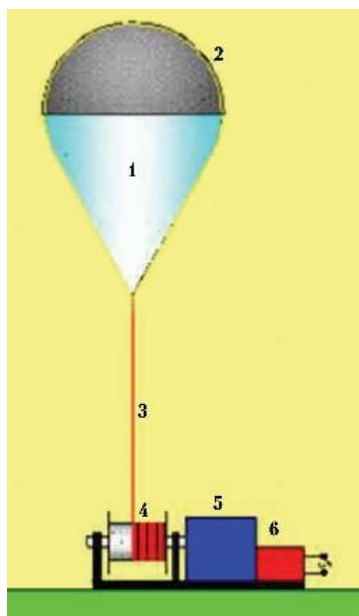


Рис. 1.16. Аеростатна сонячна електростанція:

1 – оболонка балона аеростата; 2 – тонкоплівкові сонячні елементи; 3 – канат з електричним кабелем; 4 – барабан; 5 – електромотор-редуктор; 6 – інвертор



Рис. 1.17. Аеростатні сонячні електростанції можуть бути розміщені в межах міста

Перша дослідно-промислова САЕС «Чорна перлина», яка введена в експлуатацію в 2003 р., складається з приймача сонячної енергії у вигляді декількох шарів гнучких сферичних оболонок. Значною перевагою конструкції є те, що пара, яка нагнітається компресором в розділений на відсіки простір між прозорою і поглинаючою оболонками, завдяки автоматизованій системі клапанів циркулює тільки на освітленій стороні. Така САЕС потужністю 5 МВт займає площу 0,3 км². В іншій САЕС «Чорний місяць», введений в дію в 2005 р., центр оболонки діаметром 300 м знаходиться на висоті 450 м, що дозволяє різко скоротити площу, яка використовується. На основі позитивного досвіду експлуатації таких САЕС Тайвань передбачає їх широке будівництво.

Іншим можливим напрямом використання в ХХІ ст. сонячної енергії є створення орбітальних електростанцій із сонячними батареями, які акумулюють енергію Сонця і перетворюють її в мікрохвильове або лазерне випромінювання, спрямоване до Землі, де воно сприймається спеціальними антенами і потім перетворюється на електричну енергію.

В якості перетворювачів сонячної енергії в електричну зазвичай служать сонячні елементи, які з'єднуються разом, утворюючи сонячні батареї.

У космосі, де не існує атмосфери, хмар, зміни дня і ночі, на одиницю площі потрапляє цілодобово сонячної енергії в десять разів більше, ніж на земній поверхні. Дослідницькі роботи відносно сонячних орбітальних електростанцій почалися в 70-ті роки ХХ століття в США, СРСР та інших країнах.

У теперішній час роботи над створенням таких станцій проводяться у США, Росії, Японії та інших країнах з використанням новітніх науково-технічних досягнень в фотоелектричній енергетиці, електроніці й робототехніці. При цьому подальшого вирішення потребують такі технічні питання, як зниження маси орбітальних електростанцій, витрат на виведення обладнання в космос тощо.

Японія передбачає на рівні 2030 р. зібрати на орбіті на висоті 36 тис. км сонячну електростанцію, яка буде передавати електроенергію на Землю у вигляді мікрохвильового променя, прийом її буде здійснюватися наземною антеною. Важливим досягненням є отримання недавно вченими з Японського космічного агентства елементів, які перетворюють енергію сонячного випромінювання в лазерний пучок з к.к.д. 42%.

Для реалізації таких складних і вартісних проектів, як створення сонячних орбітальних електростанцій, важливішим фактором є міжнародне співробітництво.

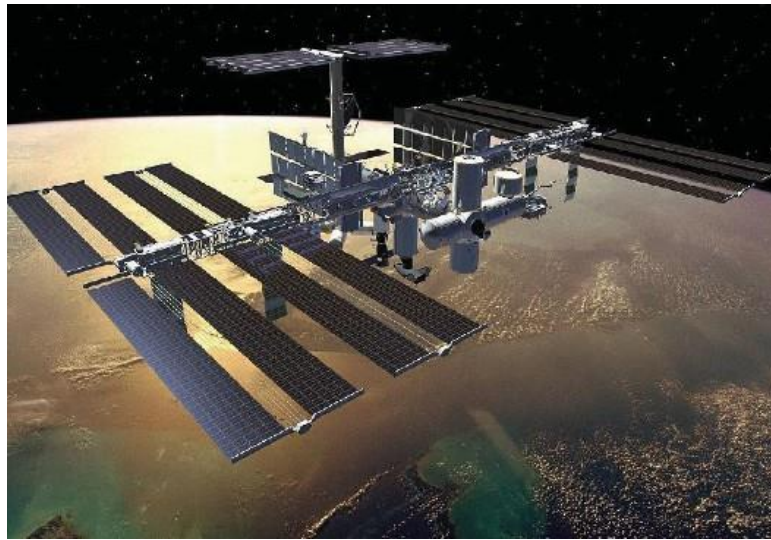


Рис. 1.18. Сонячні батареї міжнародної космічної станції

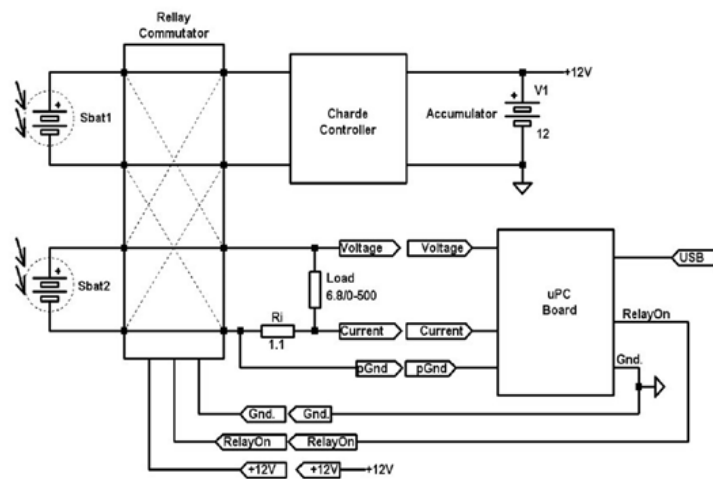


Рис. 1.19. Принципова електрична схема стенду для виміру вольтмерних характеристик сонячних батарей

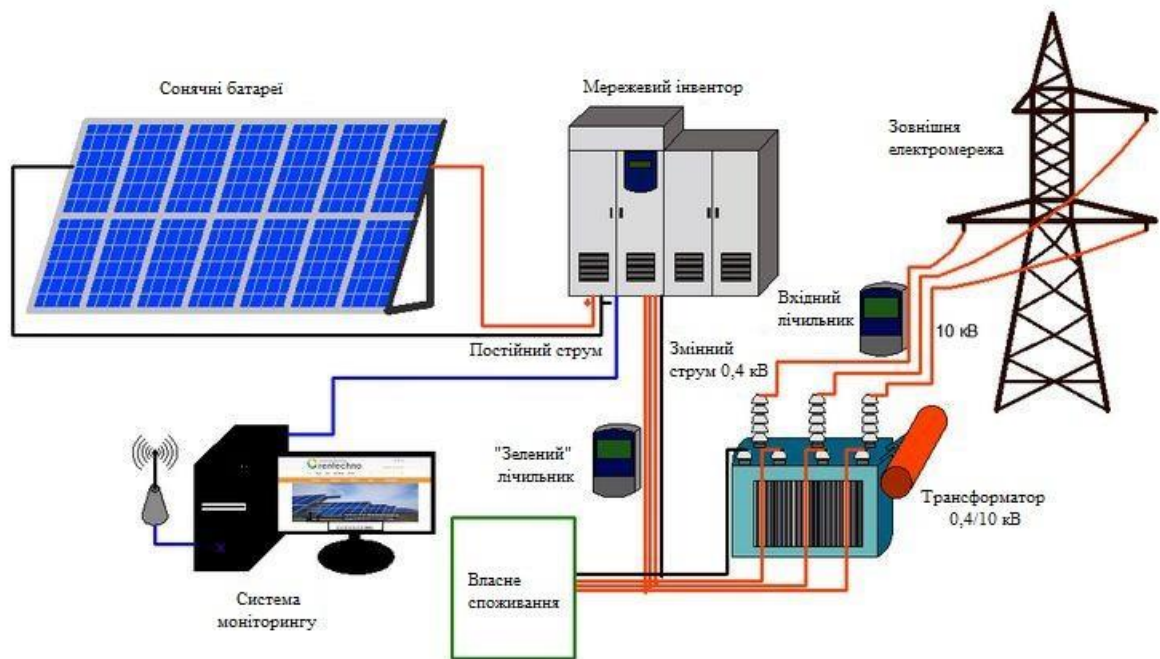


Рис. 1.20. Структурна схема СЕС



Рис. 1.21. Схема роботи СЕС

Дана схема роботи сонячної електростанції відноситься до автономного типу сонячних фотоелектричних установок. Об'єкт живиться тільки від сонячних батарей.

Для визначення потужностей фотоелектричних сонячних батарей необхідно скористатись методикою розрахунку по інсоляції за місяць. Виробітка (електроенергія) сонячних панелей розраховується по наступній формулі [1]:

$$E_{сб} = I_{инс} \cdot P_{сб} \cdot \eta \cdot k / P_{инс} = I_{инс} (N) \cdot P_{сб} \cdot \eta \cdot k / 1000 \quad (1.1),$$

де $E_{сб}$ — виробітка енергії сонячними батареями (кВт*год);

$I_{инс}$ — місячна інсоляція квадратного метра (з таблиці інсоляції), або чиста променева енергія Сонця, вироблена за цілу кількість годин N ;

$P_{сб}$ — номінальна потужність сонячних батарей;

η — ККД інвертора при перетворення низьковольтної постійної напруги в стандартне (якщо передбачається використовувати низьковольтну напругу напряму, то η можна прирівняти до 1, тобто не враховувати);

$P_{инс}$ — максимальная потужність інсоляції квадратного метра земної поверхні (1000 Вт при стандартних умовах, STC — standart test conditions інтенсивність відповідає паспортним умовам (STC = 1000 Вт/м²), при яких електрична вихідна потужність панелі відповідає заявленій);

k — коефіцієнт, що враховує нагрівання та похиле падіння сонячних променів на поверхню сонячних модулів на модулі впродовж року (змін кута падіння), улітку $k = 0,75$, узимку $k = 0,95$ (для подальших розрахунків приймемо $k = 0,8$).

Контрольні запитання

1. Основні компоненти станції баштового типу.
2. Переваги та недоліки станцій баштового типу.
3. Принцип роботи та будова сонячних станцій параболічного типу.
4. Принцип роботи та будова сонячних станцій тарілкового типу.
5. Принцип дії фотоелектричного перетворювача.
6. Що є суттєвим недоліком існуючих сонячних енергетичних установок.
7. Принципова схема роботи сонячної аеростатної електростанції (САЕС).

Зміст звіту

1. Мета і програма роботи.
2. Електричні схеми.
3. Перелік обладнання і вимірювальних приладів.
4. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
5. Графіки залежностей.
6. Висновки.

Практична робота №2

Вітроелектростанція

Мета роботи: ознайомитись з принципом роботи та будови вітряної установки.

Теоретичні відомості

Вітряна установка – електростанція, яка за допомогою вітрової турбіни перетворює механічну енергію вітру на електричну.

Вітроенергетика — галузь відновлюваної енергетики, яка спеціалізується на використанні кінетичної енергії вітру. Вітер як джерело енергії є непрямою формою сонячної енергії, і тому належить до відновлюваних джерел енергії.

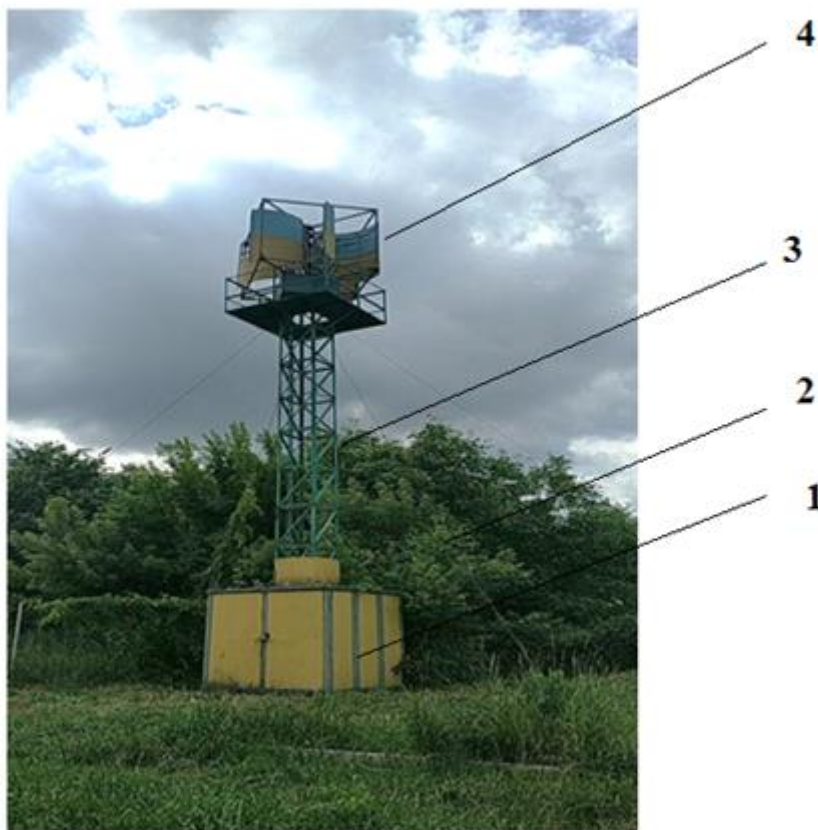


Рис. 2.1. Загальний вид вітрової електростанції:

1 – Силова шафа; 2 – Вал; 3 – Сходи; 4 – лопатевого механізму

З усіляких пристроїв, що перетворюють енергію вітру в механічну роботу, у переважній більшості випадків використовуються лопатеві машини

з горизонтальним валом, установлюваним по напрямку вітру. Набагато рідше застосовуються пристрої з вертикальним валом.

Турбіни з горизонтальною віссю і високим коефіцієнтом швидкохідності мають найбільше значення коефіцієнта використання енергії вітру (0,46-0,48). Вітротурбіни з вертикальним розташуванням осі менш ефективні (0,45), але мають ту перевагу, що не вимагають настроювання на напрямок вітру.

Розрізняють два основні типи вітрових установок:



Рис. 2.2. Вітрова установка з горизонтальною віссю обертання

З горизонтальною віссю обертання – найбільш поширений тип вітроустановок, в яких провідний вал ротора розташований горизонтально відносно землі. Вітрогенератор такого типу має дві-три лопаті, які встановлені на вершині установки. Кількість лопатей у колесі вітряка варіюють від одної до п'ятдесяти. Вітряки з великою кількістю лопатей зазвичай працюють при низьких швидкостях обертання, на відміну від вітряків з малою кількістю лопатей (дві-три), які повинні обертатися з високою швидкістю, щоб максимально "охопити" вітрові потоки, що проходять через площу ротора.



Рис. 2.3. Вітрова установка з вертикальною віссю обертання

З вертикальною віссю обертання, в яких провідний вал ротора розташований вертикально. Електростанція з вертикальним вітрогенератором простіша при виготовленні і монтажу, оскільки в цьому випадку не потрібно орієнтуватися на напрям вітру, тому навантаження на конструкцію набагато менше.

Лопаті - приводять в рух вал генератора завдяки кінетичній енергії вітру.

Вертикальний ротор вітряка забезпечений дугоподібними лопатями. Бувають лопаті прямі, але краплеподібного перерізу. Лопаті, коли на них потрапляє вітер, за допомогою ефекту підйомної сили розкручує ротор.

Вертикальні вітряки кращі тим, що у своїй роботі вони майже безшумні і не створюють вібрації. Розміри і різноманітна конфігурація їх лопатей не псують зовнішній вигляд садиби. Вертикальні вітряки встановлюють на окремих щоглах або дахах будинків. Використовуючи довгі, вигнуті лопаті, вітро-генератор можна встановити навіть на рівні землі, що полегшить доступ до генератора і його обслуговування.

Такий механізм не створює ніякого навантаження на навколишнє середовище, а птахи сприймають його як нерухомий предмет і облітають не вдаряючись. Вертикальні вітро-генератори не бояться різноспрямованого вітру чи бурі, так як у них мінімальний опір вітру. Всі ці якості дозволяють встановлювати ці ВЕУ навіть у містах, близько до житла.



Рис. 2.4. Генератор

Генератор – це пристрій для перетворення механічної в електричну.

Генератори поділяються на генератори змінного струму й генератори постійного струму.

Більшість генераторів використовує механічну енергію обертання. На відміну від них магнітогідродинамічні генератори використовують пряме розділення зарядів в потоці гарячого газу крізь магнітне поле, а тому не мають у своїй будові обертових частин.

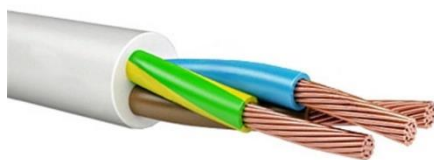


Рис. 2.5. Кабель

Кабель - поєднання одного та більше ізолюваних дротів (провідників) та оболонки, поверх якої залежно від умов середовища експлуатації можуть

нашаровуватися різновиди захисного покриття, зокрема й броня, що застосовується для передавання на віддаль і розподілу електричної енергії (силовий кабель) або електричних сигналів (кабель зв'язку).



Рис. 2.6. Автоматичний вимикач

Автоматичний вимикач - це контактний комутаційний апарат, що спроможний вмикати, проводити та вимикати струм, коли електричне коло у нормальному стані, а також вмикати, проводити протягом певного встановленого часу і вимикати струм при певному аномальному стані електричного кола. Автоматичний вимикач призначено для нечастих вмикань (хоча вимикачі провідних фірм можуть мати комутаційну витривалість до 20 000 циклів увімкнено/вимкнено), а також для захисту кабелів та кінцевих споживачів від перевантаження і короткого замикання.



Рис. 2.7. Лічильник

Лічильник - пристрій для підрахунку кількості сигналів, які надходять на його вхід. Двійкові лічильники реалізують лічбу вхідних імпульсів у

двійковій системі числення. Число розрядів n двійкового підсумовуючого лічильника для заданого модуля M знаходять із виразу $n = \log_2 M$.

Однофазні прямого включення 10(60)А з міжповірочним інтервалом 16 років та з можливістю багатотарифного обліку електроенергії.

Переваги: - максимальний захист від крадіжок електроенергії; - стійка робота при коливаннях: напруги в мережі від 150В до 380В; - зміни температур від $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$; - захист від дії зовнішніх електромагнітних широкополосних полів підвищеної інтенсивності; - можливість відключення навантаження при перенапрузі і при перевищенні заданої потужності. Трифазні безпосереднього включення 10(80)А та через трансформатор струму 5(7,5)А. Переваги: - максимальний захист від крадіжок електроенергії; - наявність індикації і обліку електроенергії по кожній фазі; - наявність індикації відключення однієї чи двох фаз, а також реверсу; - облік енергії в обох напрямках; - робота при відсутності двох чи однієї фази і нульового проводу.



Рис. 2.8. Вольтметр

Вольтметр - прилад для вимірювання напруги між двома точками електричного кола.

Класифікація:

За принципом дії вольтметри поділяються на:

- електромеханічні — магнітоелектричні, електромагнітні, електродинамічні, електростатичні, випрямні, термоелектричні;
- електронні — аналогові і цифрові

За призначенням:

- постійного струму;
- змінного струму;
- імпульсні;
- фазочутливі;
- селективні;
- універсальні

За конструкцією і способу застосування:

- щитові;
- переносні;
- стаціонарні



Рис. 2.9. Магнітний пускач

Магнітний пускач - являє собою низьковольтний комутаційний апарат, призначений для дистанційного відключення і включення електричного навантаження в мережу.



Рис. 2.10. Амперметр

Амперметр - прилад, яким вимірюють силу електричного струму. Амперметр завжди вмикають послідовно з тією ділянкою електричного кола, силу струму у якій вимірюють. Електричний опір амперметра є малим.

Найпоширенішими амперметрами є ті, в яких рухома частина приладу зі стрілкою повертається на кут, пропорційний вимірюваній величині струму.

Амперметри бувають магнітоелектричні, електромагнітні, електродинамічні, теплові, індукційні, детекторні, термоелектричні та фотоелектричні.

Магнітоелектричними амперметрами вимірюють силу постійного струму; індукційними і детекторними — силу змінного струму. Амперметри інших систем вимірюють силу будь-якого струму. Найточнішими і найчутливішими є магнітоелектричні та електродинамічні амперметри



Рис. 2.11. Запобіжник

Запобіжник - комутаційний апарат, призначений для вимикання кола, яке він захищає, шляхом руйнування спеціально передбачених для цього струмоведучих частин під дією струму, що перевищує певне значення протягом визначеного часу.

Таким чином, запобіжник здійснює захист електричних мереж та обладнання від перевантажень й коротких замикань, забезпечуючи, за певних умов, ефект обмеження струму.

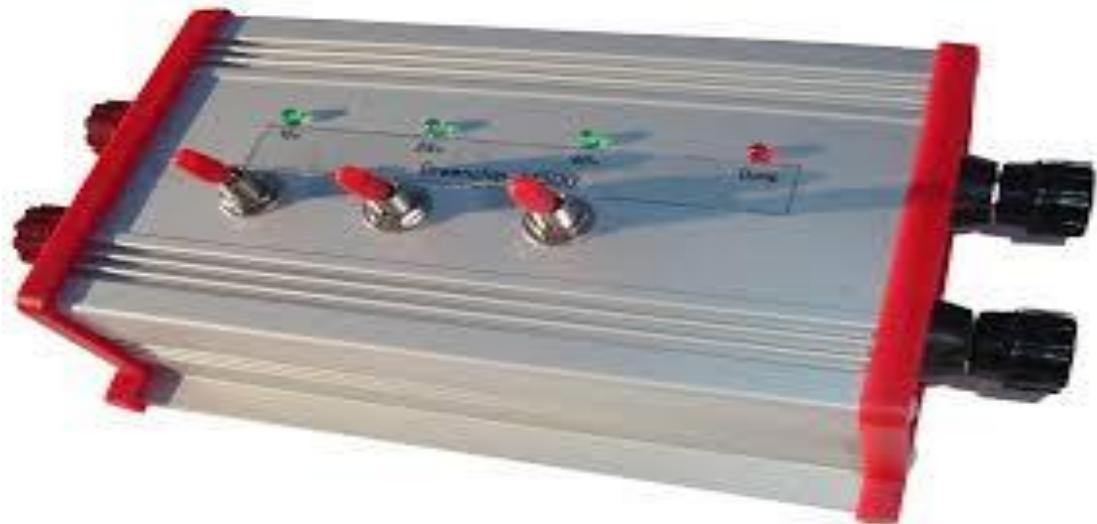


Рис. 2.12. Контролер

Контролер – електронна схема в складі зарядного пристрою, призначена для управління процесом заряду акумулятора.



Рис. 2.13. Інвертор

Інвертор – перетворювач постійного струму в змінний однофазний або багатофазний струм, силовий генератор змінного струму. Зазвичай являє собою генератор періодичної напруги, за формою здебільшого наближеної до синусоїди, або дискретного сигналу. Інвертори напруги можуть застосовуватися у вигляді окремого пристрою або входити до складу джерел і систем безперебійного живлення апаратури електричною енергією змінного струму. Якщо інвертор передає енергію з мережі постійного струму в мережу змінного, частота і напруга в якій вже задані роботою інших генераторів, то його названо залежним (веденим).



Рис. 2.14. Акумулятор

Акумулятор – Акумулятор здатний накопичувати (акумулювати) в собі електричну енергію і в міру необхідності віддавати її в зовнішню мережу.

Принцип дії: Накопичування в акумуляторі електричної енергії відбувається під час проходження по ньому струму від стороннього джерела. Цей процес, званий заряджанням акумулятора, супроводжується перетворенням електричної енергії на хімічну. Під час розряджання акумулятора відбувається зворотне перетворення хімічної енергії на електричну.

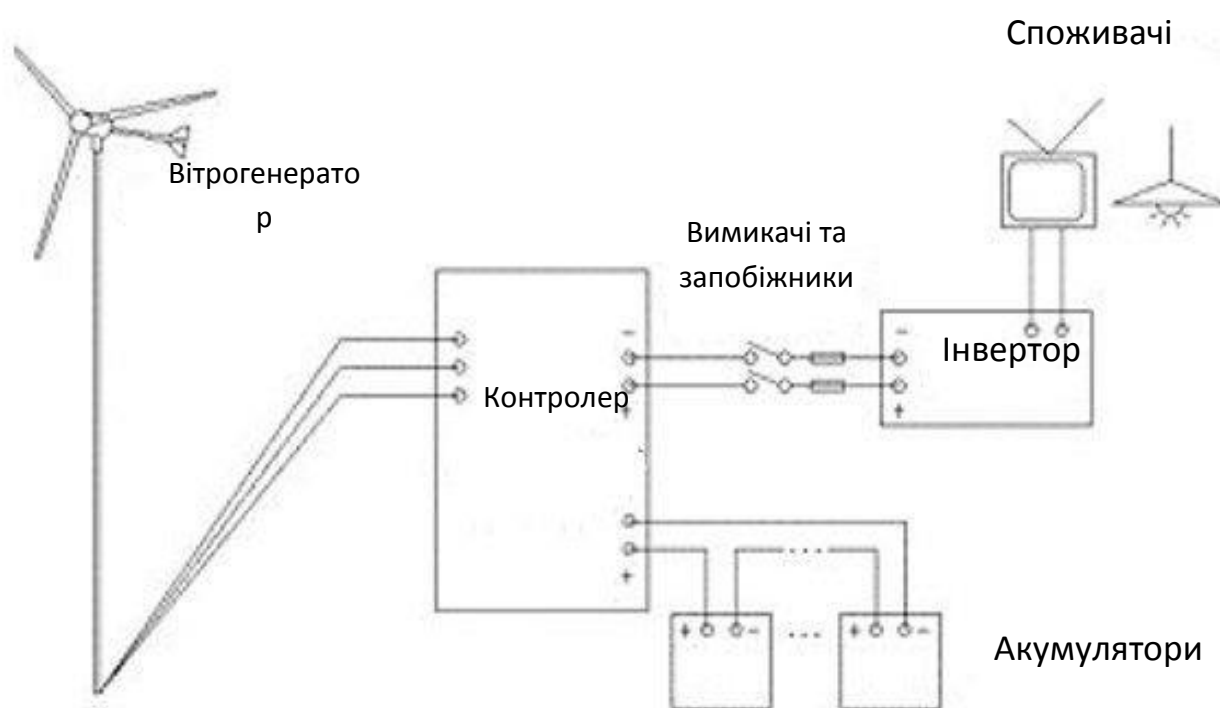


Рис. 2.15. Принципова схема роботи вітрової станції

Як відомо, про ефективність застосування ВЕС можна говорити, якщо середньорічна швидкість вітру перевищує 5 м / с. Крім того, використання енергії вітру за допомогою ВЕС пов'язано з певними проблемами. Нерівномірність і мінливість вітрового потоку призводить до значної зміни частоти обертання вітроколеса вітроелектричної установки (ВЕУ) і, відповідно, коливань напруги, частоти струму і потужності, що віддається. Скидання або підключення навантаження також є дестабілізуючими

факторами.

Оцінка енергетичного потенціалу альтернативних джерел енергії включає в себе оцінку валового і технічного потенціалу. Для оцінки вітроенергетики конкретного регіону використовуються середні багаторічні швидкості вітру, дані про зміни швидкості вітру в різні сезони, розподілу повторюваності швидкості вітру по градаціях в різні сезони, напрямку вітрів різних швидкостей і поправочні коефіцієнти.

Як працює вітрогенератор: принцип перетворення енергії вітру

Потоки вітру обертають лопаті вітрогенератора: проходять через турбіну, що приводить її в дію і вона починає обертатися. На валу турбіни виникає енергія, яка буде пропорційна вітровому потоку. Чим сильніший вітер, тим більша кількість енергії виникає. Далі енергія передається по валу ротора на мультиплікатор (якщо він є), який її створює. Врахуйте, що продуктивнішими є пристрої без мультиплікатора, який прискорює обертання осі, тому що не створюється, а, відповідно, і не витрачається зайва енергія, а швидкості вітру цілком достатньо для оптимальної роботи вітрогенератора.

Генератор перетворює механічну енергію в електричну.

Потужність вітряка вимірюється площею турбіни. Чим більший розмір лопатей, тим більшу потужність він створює.

Важлива вимога для всіх вітрогенераторів – це наявність вітру. Для вітрогенераторів побутової серії – 5-7 м/с, для промислових вітрогенераторів – 7-9 м/с, для вітряних електростанцій – 10-12 м/с.

Переваги та недоліки вітрової електростанції

Переваги:

Екологічно-чистий вид енергії. Виробництво електроенергії за допомогою «вітряків» не супроводжується викидами вуглекислого чи будь-якого іншого газу.

- **Ергономіка.** Вітрові електростанції займають мало місця і легко вписуються в будь-який ландшафт, а також відмінно поєднуються з іншими видами господарського використання території.

- **Відновлювана енергія.** Енергія вітру, на відміну від викопного палива, невичерпна.

- **Краще рішення для важкодоступних місць.** Для віддалених місць встановлення вітрових електрогенераторів може бути найкращим і найдешевшим рішенням.

Недоліки:

- **Нестабільність.** Нестабільність полягає в відсутності гарантій отримання необхідної кількості електроенергії. На деяких ділянках суші сили вітру може виявитися недостатньо для вироблення необхідної кількості електроенергії.

- **Відносно невисокий вихід електроенергії.** Вітрові генератори значно поступаються у виробленні електроенергії дизельним генераторам, що призводить до необхідності встановлення відразу декількох турбін. Крім того, вітрові турбіни неефективні в період пікових навантажень.

- **Висока вартість.** Вартість установки потужністю 1 МВт становить 1 мільйон доларів.

- **Небезпека для дикої природи.** Обертівні елементи турбіни становлять потенційну небезпеку для деяких видів живих організмів. Згідно зі статистикою, лопаті кожної встановленої турбіни є причиною загибелі не менш як чотирьох особин птахів на рік.

- **забруднення.** Шум від «вітряків» може викликати занепокоєння, як диких тварин, так і людей, які проживають поблизу.

Формула розрахунку потужності вітрової турбіни виглядає наступним чином:

$$P = 0,5 * Q * S * V^3 * C_p * N_g * N_b; \quad (2.1)$$

P – потужність (Вт);

Q – щільність повітря (1,23 кг / м³);

S – площа охоплення ротора (м²);

V – швидкість вітру, (м / с);

CP – коефіцієнт використання енергії вітру 0,35;

Ng – ККД генератора на постійних магнітах 0,8;

Nb – ККД редуктора (0,7 – 0,9).

приклад для вітрогенератора на постійних магнітах, діаметром 3 м., ККД – 0,9 при швидкості вітру 5 м. \ с.:

$$P = 0,5 * 1,23 * (3,14 * (1,5 * 1,5)) * (5 * 5 * 5) * 0,35 * 0,8 * 0,9 = 136 \text{ Вт.}$$

Контрольні запитання

1. Чим хороші вертикальні вітряки?
2. Які складові вітрогенератора ви знаєте?
3. Принцип роботи вітрогенератора.
4. Які є важливі вимоги до вітрогенераторів?
5. Основні переваги вітрогенераторів.
6. Основні недоліки вітрогенераторів.

Зміст звіту

1. Мета і програма роботи.
2. Електричні схеми.
3. Перелік обладнання і вимірювальних приладів.
4. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
5. Графіки залежностей.
6. Висновки.

Практична робота №3

Гідроелектростанції

Мета роботи: ознайомитись з принципом роботи та будови ГЕС

Теоретичні відомості

Принцип роботи ГЕС

Ланцюг гідротехнічних споруд забезпечує необхідний напір води, що надходить на лопаті гідротурбіни, яка приводить в дію генератори, що виробляють електроенергію.

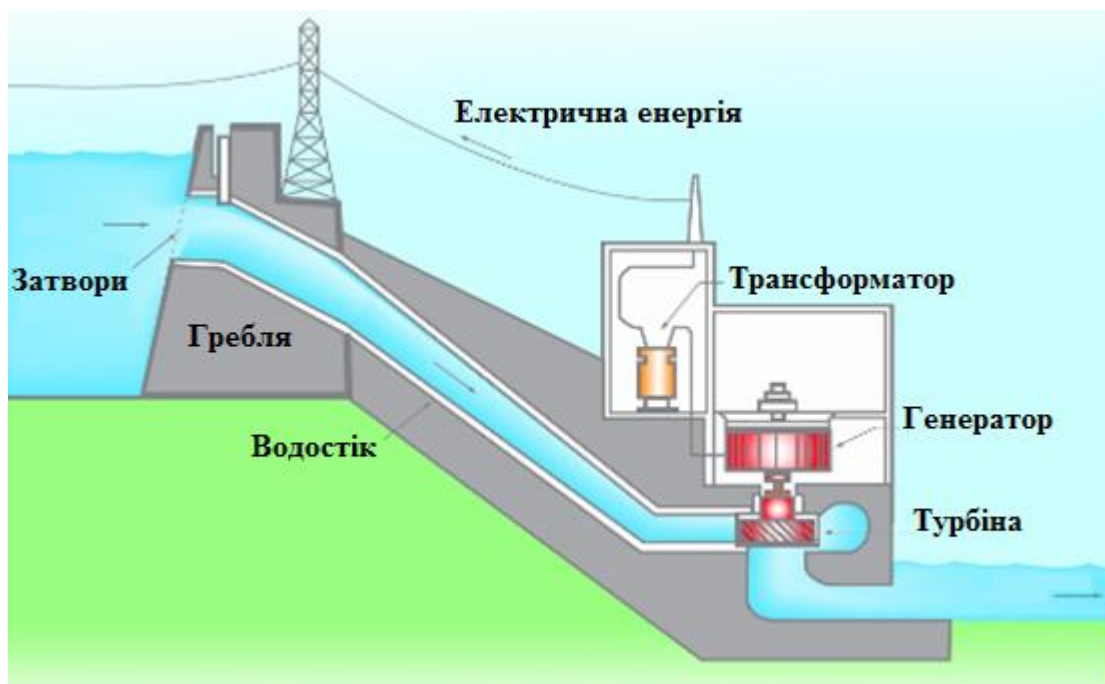


Рис. 3.1. Схема принцип роботи ГЕС

Необхідний напір води утворюється за допомогою будівництва греблі, і як наслідок концентрації річки в певному місці, або деривації — природним струмом води. У деяких випадках для отримання необхідного напору води використовують спільно і греблю, і деривації.

Безпосередньо в самій будівлі гідроелектростанції розташовується все енергетичне обладнання. Залежно від призначення, воно має свій певний поділ. У машинному залі розташовані гідроагрегати, які безпосередньо перетворюють енергію струму води в електричну енергію. Є ще всіляке

додаткове обладнання, пристрої керування й контролю над роботою ГЕС, трансформаторна станція, розподільні пристрої та багато іншого.

Гідроелектричні станції залежно від потужності поділяють на такі:

- потужні — виробляють від 25 МВт до 250 МВт і вище;
- середні — до 25 МВт;

• мала гідроелектростанція — електрична станція, що виробляє електричну енергію за рахунок використання гідроенергії, встановлена потужність якої становить більше 1 МВт, але не перевищує 10 МВт, що встановлено Законом України «Про електроенергетику»;

• мінігідроелектростанція — електрична станція, що виробляє електричну енергію за рахунок використання гідроенергії, встановлена потужність якої становить більше 200 КВт, але не перевищує 1 МВт, що встановлено Законом України «Про електроенергетику»

• мікрогідроелектростанція — електрична станція, що виробляє електричну енергію за рахунок використання гідроенергії, встановлена потужність якої не перевищує 200 КВт, що встановлено Законом України «Про електроенергетику»

Потужність ГЕС безпосередньо залежить від натиску води, а також від ККД використовуваного генератора. Через те, що за природними законами рівень води постійно змінюється, залежно від сезону, а також ще від низки причин, як вираження потужності гідроелектричної станції прийнято брати циклічну потужність. Наприклад, розрізняють річний, місячний, тижневий або добовий цикли роботи гідроелектростанції.

Гідроелектростанції також діляться залежно від максимального використання напору води:

- високонапірні — понад 60 м;
- середньонапірні — від 25 м;
- низьконапірні — від 3 до 25 м.

Залежно від натиску води, в гідроелектростанціях застосовуються різні види турбін. Для високонапірних — ковшові і радіально-осьові турбіни з

металевими спіральними камерами. На середньонапірних ГЕС встановлюються поворотнолопатні і радіально-осьові турбіни, на низьконапірних — поворотнолопатні турбіни в залізобетонних камерах. Принцип роботи всіх видів турбін схожий — вода, що подається під тиском (напір води), надходить на лопаті турбіни, які починають обертатися. Механічна енергія, таким чином, передається на гідрогенератор, який і виробляє електроенергію. Турбіни розрізняються деякими технічними характеристиками, а також камерами — залізними або залізобетонними, і розраховані на різний тиск води.

Гідроелектричні станції також розділяються в залежності від принципу використання природних ресурсів, і відповідно створення концентрації води. Тут можна виділити такі ГЕС:

Руслові і пригреблеві ГЕС.

Це найпоширеніші види гідроелектричних станцій. Натиск води в них створюється за допомогою установки мостом, повністю перегородка річки, або що піднімає рівень води в ній на необхідну позначку. Такі гідроелектростанції будують на багатоводних рівнинних річках, а також на гірських річках, у місцях, де русло річки вужче, стиснуте.

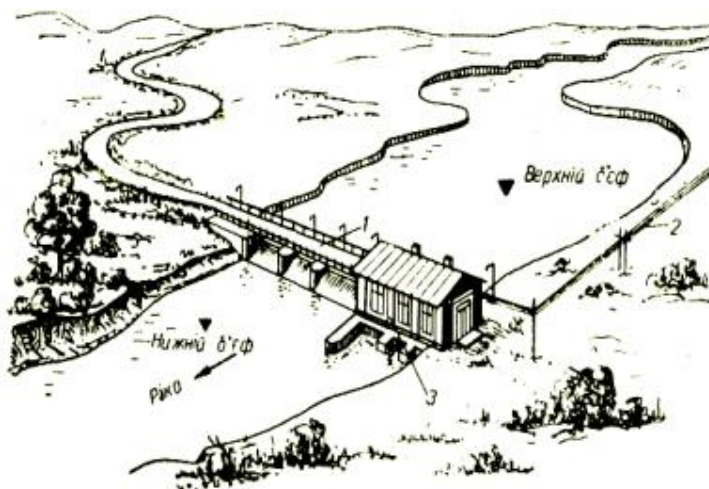


Рис. 3.2. Пригребельно – руслова схема ГЕС:

1 – гребля; 2 – лінія електропередачі; 3 – будівля ГЕС

Греблеві ГЕС.

Будуються при більших напорах води. У цьому випадку річка повністю перегороджується греблею, а сама будівля ГЕС розташовується за греблею, у нижній її частині. Вода, в цьому випадку, підводиться до турбін через спеціальні напірні тунелі, а не безпосередньо, як у руслових ГЕС.

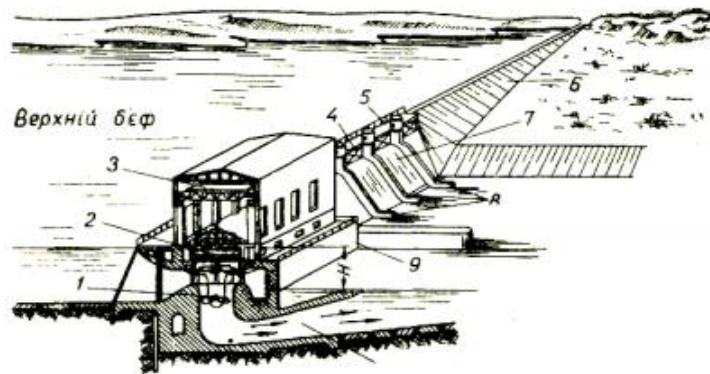


Рис. 3.3. Схема пригребельно – заплавної ГЕС з бетонною греблею:

*1 – турбіна; 2 – генератор; 3 – мостовий кран; 4 – затвори; 5 – міст;
6 – глуха земляна гребля; 7 – водозливна бетонна гребля; 8 – бики;
9 – будівля ГЕС; 10 – відсмоктувальна труба.*

Дериваційні гідроелектростанції.

Такі електростанції будують у тих місцях, де великий ухил річки. Необхідна концентрація води в ГЕС такого типу створюється за допомогою деривації. Вода відводиться з річкового русла через спеціальні водовідведення. Водовід спрямлені, і їхній ухил значно менший, ніж середній ухил річки. У підсумку вода підводиться безпосередньо до будівлі ГЕС. Дериваційні ГЕС можуть бути різного виду — безнапірні або з напірної деривації. У випадку напірної деривації, прокладається водовід із великим подовжнім ухилом. В іншому випадку на початку деривації на річці створюється вища гребля, і створюється водосховище — така схема ще називається змішаною деривації, тому що використовуються обидва методи створення необхідної концентрації води.

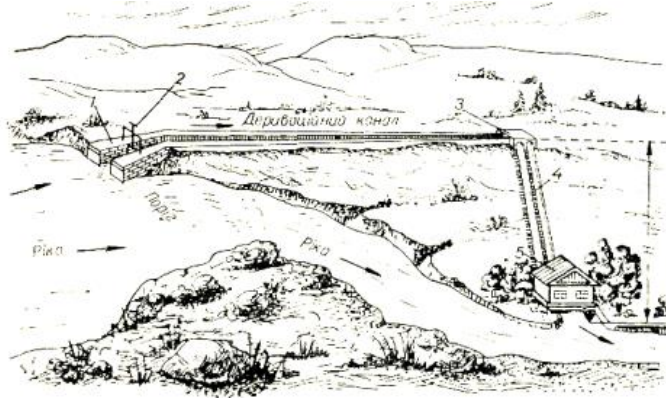


Рис. 3.4. Схема ГЕС з безнапірною деривацією:

*1 – водоприймач; 2 – затвор; 3 – напірний басейн; 4 – трубопровід;
5 – будівля ГЕС.*

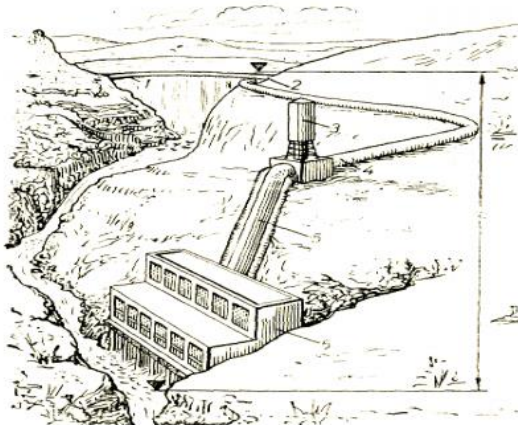


Рис. 3.5. Схема ГЕС з напірною деривацією:

*1 – гребля; 2 – гребінь греблі; 3 – зрівняльний резервуар;
4 – дериваційний напірний водовід; 5 – турбінний трубопровід;
6 – будівля.*

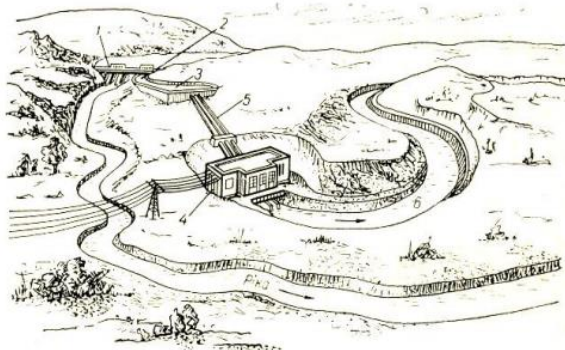


Рис. 3.6. Змішана (гребельно – дериваційна) схема ГЕС:

*1 – гребля; 2 – дериваційний канал; 3 – напірний басейн; 4 – будівля ГЕС; 5 –
напірний трубопровід; 6 – водовідвідний дериваційний канал.*

Гідроакумулюючі електростанції.

Такі ГАЕС здатні акумулювати вироблювану електроенергію, і пускати її в хід у моменти пікових навантажень. Принцип роботи таких електростанцій наступний: в певні моменти (часи не пікового навантаження), агрегати ГАЕС працюють як насоси, і закачують воду в спеціально обладнані верхні басейни. Коли виникає потреба, вода з них поступає в напірний трубопровід і, відповідно, приводить в дію додаткові турбіни.

У гідроелектричні станції, залежно від їх призначення, також можуть входити додаткові споруди, такі як шлюзи або суднопідйомники, що сприяють навігації по водоймі, рибопропускні, водозабірні споруди, що використовуються для іригації і багато іншого.

Цінність гідроелектричної станції полягає в тому, що для виробництва електричної енергії вони використовують поновлювані джерела енергії. З огляду на те, що потреби в додатковому паливі для ГЕС немає, кінцева вартість одержуваної електроенергії значно нижче, ніж при використанні інших видів електростанцій.

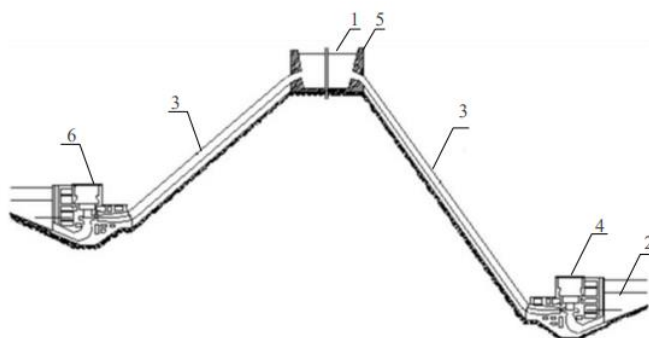


Рис. 3.7. Схема ГЕС – ГАЕС з суміщеним гідроакумулюванням напору:

1 – верхній акумулюючий басейн; 2 – нижній басейн; 3 – напірні трубопроводи; 4 – будівля ГЕС; 5 – водоприймач; 6 – будівля насосної станції.

Типи будинків ГЕС і їх основні елементи. Будинок ГЕС являє собою гідротехнічну споруду, в якій за допомогою гідросилового, електричного, гідромеханічного, допоміжного устаткування, систем керування механічна енергія води перетворюється в електроенергію, що передається в

енергосистему споживачам. При цьому повинні бути забезпечені надійна робота, міцність і стійкість будинку ГЕС при дії зовнішніх навантажень (гідростатичного й гідродинамічного тиску, фільтраційного тиску, температурних, сейсмічних впливів та ін.), а також навантажень від роботи технологічного устаткування.

Тип і конструктивні рішення будинків ГЕС визначаються загальним компонуванням споруд ГЕС і основним енергетичним устаткуванням. Залежно від напору та умов роботи в будинках ГЕС встановлюються поворотно-лопатеві, осьові, радіально-осьові, діагональні та ковшові турбіни.

Нижню частину будинку, де розміщується проточний тракт, включаючи спіральну камеру, відсмоктувальну трубу, турбінне устаткування й ряд технологічних систем, називають агрегатною частиною, а верхня частина будинку з верхньою будовою, де розміщується машинний зал з гідрогенераторами й крановим устаткуванням, а також силові трансформатори, кранове устаткування водоприймача (у руслових будинках), ремонтних затворів відсмоктувальних труб та інше технологічне устаткування, – надагрегатною частиною.

На конструкцію та розміри будинку ГЕС у плані й по висоті, заглиблення в основу суттєво впливають габарити гідроагрегата, спіральної (турбінної) камери та відсмоктувальної труби, заглиблення осі робочого колеса гідротурбіни під рівень нижнього б'єфа, кількість гідроагрегатів. Як правило, у будинку ГЕС встановлюються два гідроагрегати й більше (наприклад у будинку Саратовської ГЕС – 23 гідроагрегати, Канівської ГЕС – 24 гідроагрегати), рідко – один гідроагрегат, тому що при його ремонті ГЕС повністю припиняє роботу.

До складу будинку ГЕС входить монтажний майданчик, на якому виконується монтаж гідроагрегатів і їх ремонт у період експлуатації. На монтажному майданчику також розміщується частина допоміжних систем.

Багатоагрегатні будинки ГЕС, що мають значну довжину, діляться на окремі секції деформаційними швами: температурно-осадовими при м'якій

основі, температурними - при скельній основі. Так, будинок Волзької ГЕС потужністю 2530 МВт із 22 гідроагрегатами розділений на секції довжиною 60 м, у кожній з яких розміщуються по два агрегатні блоки з поворотно-лопатевими турбінами з діаметром робочого колеса 9,3 м (при розрахунковому напорі 19 м і потужністю 115 МВт).

Блок монтажного майданчика від будинку також відділяється швом.

Агрегатна частина будинку ГЕС характеризується значною масивністю. Вона сприймає гідростатичний і гідродинамічний тиск у проточній частині, навантаження від устаткування та вищерозташованих конструкцій будинку та передає їх на основу. Геологічні умови значно впливають на конструкцію агрегатної частини будинку. Так, при скельній основі вона суттєво полегшується. В агрегатній частині будинку розміщуються системи технічного водопостачання, осушення проточної частини, дренажу будинку й ін.

Конструкція агрегатної частини залежить від типу будинку ГЕС.

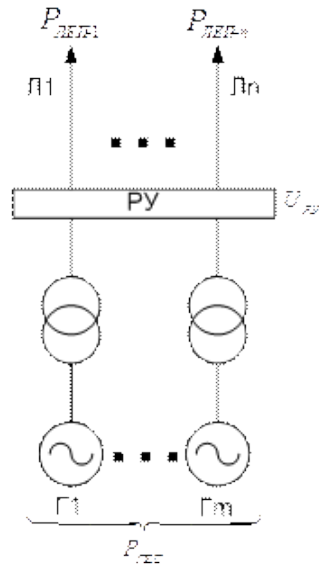
Відповідно до типів ГЕС розрізняють:

Руслові будинки ГЕС, які входять до складу напірного фронту й сприймають напір з боку верхнього б'єфа. У руслових будинках з напором до 50 м можуть застосовуватися поворотно-лопатеві турбіни, а при напорі більше 30 м – радіально-осьові.

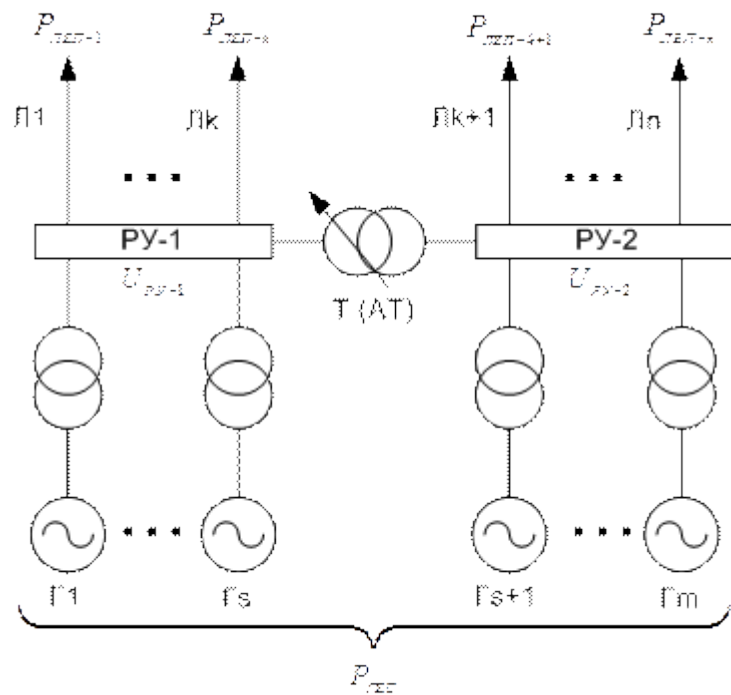
Пригребельні будинки що розташовуються за греблею, сприймають напір з боку верхнього б'єфа. Підведення води до них здійснюється турбінними водоводами. У пригребельних будинках з напором від 30 до 300 м застосовуються в основному радіально-осьові турбіни, а також у певних умовах високонапірні поворотно-лопатеві (наприклад на ГЕС Орлик при діапазоні напорів 45–71 м і потужності агрегату 90 МВт) і діагональні (наприклад Зейська ГЕС при діапазоні напорів 78,5–97 м і потужності агрегату 215 МВт).

Берегові будинки, які використовуються при гребельній і дериваційній схемах ГЕС, практично не відрізняються від пригребельних будинків.

Підземні будинки, які також застосовуються при гребельній і дериваційній схемах ГЕС, мають відвідні тунелі (напірні або безнапірні). У будинках дериваційних ГЕС із більшими напорами використовуються радіально-осьові турбіни до напору 600 м і ковшові турбіни починаючи з напорів 500 м і вище.



**Рис. 3.8. Схема приєднання до енергосистеми ГЕС з однією напругою
видачі потужності**



**Рис. 3.9. Схема приєднання до енергосистеми ГЕС з двома напругами
видачі потужності**

Розрахуємо діаметр робочого колеса гідротурбіни

Робоче колесо типу ПЛ (поворотно-лопосна)

$$D_1 = \sqrt{\frac{N_m (\text{кВт})}{9,81 \cdot Q_1 \cdot n_1 \cdot H \cdot \sqrt{H}}} \quad (3.1)$$

N_m – максимальна потужність;

Q_1 – витрати води;

n_1 – статична швидкість обертання робочого колеса;

H – статичний напір.

Розрахуємо розхід через турбіну

$$Q = Q_1 \cdot D_1^2 \cdot \sqrt{H} \quad (3.2)$$

Q_1 – витрати води;

D_1 – діаметр робочого колеса гідротурбіни;

H – статичний напір.

Перерахунок ККД турбіни

$$\eta = 1 - (1 - \eta'_1) \cdot \sqrt[5]{\frac{D_{1m}}{D_1}} \quad (3.3)$$

η'_1 – ККД двигуна;

D_{1m} – діаметр лопаті гідротурбіни;

D_1 – діаметр робочого колеса гідротурбіни.

Розрахуємо уточнену потужність турбіни

$$N = 9.81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta \quad (3.4)$$

Q_1 – витрати води;

η – ККД турбіни;

H – статичний напір.

Розрахуємо номінальну швидкість обертання робочого колеса

$$n = n'_1 \cdot \frac{\sqrt{H}}{D_1} \quad (3.5)$$

η'_1 – ККД двигуна;

D_1 – діаметр робочого колеса гідротурбіни;

H – статичний напір.

$$n_p = n'_{p1} \cdot \frac{\sqrt{H_{\max}}}{D_1} \quad (3.6)$$

D_1 – діаметр робочого колеса гідротурбіни;

H_{\max} – максимальний статичний напір.

Контрольні запитання

1. Опишіть принцип роботи ГЕС.
2. Які види ГЕС ви знаєте?
3. На які типи ГЕС поділяють за потужністю?
4. Охарактеризуйте принцип роботи гідроакumuлюючої електростанції.
5. Залежно від максимального використання напору води ГЕС діляться на...
6. Дериваційні гідроелектростанції це-...
7. Від чого залежить потужність ГЕС?

Зміст звіту

1. Мета і програма роботи.
2. Електричні схеми.
3. Перелік обладнання і вимірювальних приладів.
4. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
5. Графіки залежностей.
6. Висновки.

Практична робота №4

Теплові електростанції

Мета роботи: ознайомлення з видами та структурами ТЕС.

Теоретичні відомості

Призначення теплової електричної станції

На рис. 4.1. відображений склад основного встаткування теплової електричної станції й взаємозв'язок її систем.

За цією схемою можна простежити загальну послідовність технологічних процесів, що протікають на ТЕС.

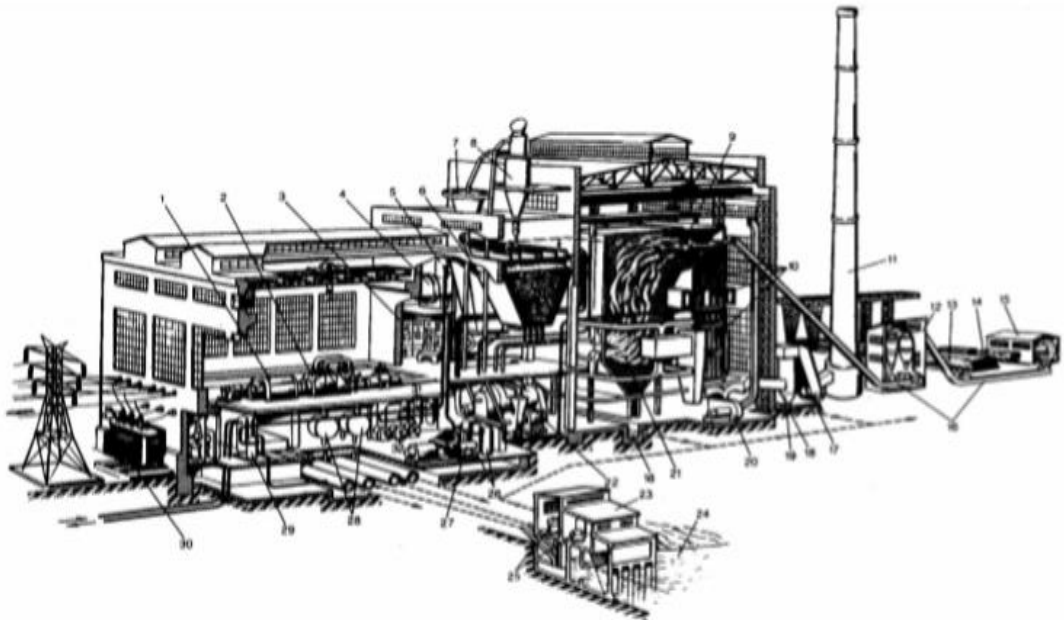


Рис. 4.1. Загальний вид теплової електричної станції:

1 – електричний генератор; 2 – парова турбіна; 3 – щит керування;
4 – деаератор; 5 і 6 – бункери; 7 – сепаратор; 8 – циклон; 9 – котел; 10 –
поверхня нагрівання (теплообмінник); 11 – димар; 12 – дробильне
приміщення; 13 – склад резервного палива; 14 – вагон; 15 –
розвантажувальні сараї; 16 – конвеєр; 17 – димосос; 18 – канал; 19 –
золоуловлювач; 20 – вентилятор; 21 – топка; 22 – млин; 23 – насосна
станція; 24 – джерело води; 25 – циркуляційний насос; 26 – регенеративний
підігрівник високого тиску; 27 – живильний насос; 28 – підігрівники низького
тиску; 29 – насоси; 30 – конденсатор; 31 – установки хімічного очищення
води; 32 – перетворювач електроенергії.

Технологічна схема процесу зводиться до наступного. Паливо надходить на електростанцію переважно по залізниці. З вагонів 14 паливо

вивантажується в розвантажувальному сараї 15 за допомогою вагоперекидачів у спеціальні бункери, під якими розташовані конвеєри 16. Конвеєрами паливо через дробильне приміщення 12 подається в бункери сирого вугілля котельного цеху або на резервний склад 13. Перед подачею палива з бункера сирого вугілля в топці 21 парового котла 9 його попередньо розмелюють у млинах 22 й одночасно висушують гарячим повітрям. На шляху до бункерів бвугільного пилу потік пилоподібного палива проходить через сепаратор 7 для відділення великих часток палива, які повертаються в млин для до подрібнення. Готовий пил уловлюється в циклонах 8, з яких її перевантажують у накопичувачі бункери вугільного пилу 6. Далі по мірі необхідності її направляють у топку для спалювання в потоці повітря. Із цією метою строго певні дози вугільного пилу подають у пило проводи й далі пил захоплюється потоком повітря й надходить у топку.

Повітря для спалювання й транспортування приготовленого пилу подається за допомогою дугтьового вентилятора 20. У топці 21 відбувається спалювання вугільного пилу, основна частина золи, що утвориться, виноситься із продуктами згоряння й направляється в зололовлювач 19, частина золи випадає в канали гідрозоловидалення. Очищені від золи продукти згоряння за допомогою димососа 17 направляються в димар 11 і розсіюються в атмосфері.

Горіння палива — це хімічний процес із виділенням теплоти, що поглинається поверхнями 10 нагрівання котла, що перебувають у топці, горизонтальному газоході й опускній шахті.

Одержана у процесі теплообміну в котлі 9 пара направляється в парову турбіну 2, що пускає в хід електричний генератор 1. У результаті виробляється електричний струм, що надходить у перетворювачі 32 електроенергії й далі направляється в електричну мережу. Практично всі парові турбіни для підвищення економічності виконують багатоступінчастими, тобто розширення пари від початкового до кінцевого тиску й перетворення його теплової енергії в механічну роботу здійснюється

не в одній, а в ряді послідовно розташованих східців. В останніх східцях турбіни при охолодженні пари можуть з'явитися краплі вологи, які викликають зношування лопаток турбіни. Для зменшення ступеня конденсації пари в останніх східцях турбіни знижують тиск (підвищують вакуум). Із цією метою застосовують конденсатори 30, у яких використовується вода із природної або штучної водойми 24, яка подавана насосами 25, установленими на береговій насосній станції 23.

Конденсат, отриманий у конденсаторах, насосами 29 перекачується в підігрівники 28 низького тиску (ПНТ) і далі в деаератор 4, де при температурі, близької до температури насичення, відбувається видалення розчинених у воді газів, здатних викликати внутрішню корозію металевих частин устаткування. У результаті витoku через нещільності в трубопроводах ТЕС або в лініях споживачів ТЕЦ можливі втрати конденсату.

Втрати заповнюють хімічно очищеною в спеціальних установках 31 водою, що додають у деаератор. Далі дегазована й підігріта вода, яка називається живильною, знову подається живильними насосами 27 у паровий котел 9. При цьому вона додатково підігрівається в регенеративних підігрівниках 26 високого тиску (ПВТ). Підігрів води в ПНТ, деаераторі, ПВТ дозволяє підвищити ККД циклу електростанції. Контроль за роботою котельної установки й турбіни й керування їхньою роботою ведеться зі спеціального приміщення, у якому розташовані щити контрольно-вимірювальних приладів і щити керування 3.

Склад теплової електростанції:

- паливне господарство й система підготовки палива;
- котельна установка: сукупність самого котла й допоміжного устаткування;
- турбінна установка: парова турбіна і її допоміжне устаткування;
- установка водопідготовки й конденсатоочистки;
- система технічного водопостачання;

- система золошлаковидалення (для ТЕС, що працюють, на твердому паливі);
- електротехнічне встаткування й система керування електроустановками.

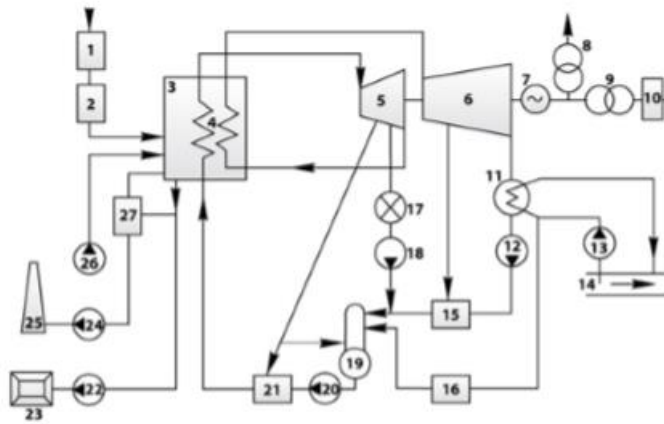


Рис. 4.2. Склад теплової електричної станції:

- 1 – паливне господарство; 2 – підготовка палива; 3 – котел;
 4 – проміжний пароперегрівник; 5 – частина високого тиску парової турбіни (ЧВТ); 6 – частина низького тиску парової турбіни (ЧВТ);
 7 – електричний генератор; 8 – трансформатор власних потреб;
 9 – трансформатор зв'язку; 10 – головний розподільчий пристрій;
 11 – конденсатор; 12 – конденсатний насос; 13 – циркуляційний насос; 14 – джерело водопостачання (наприклад річка); 15 – нагрівник низького тиску (ПНТ); 16 – водопідготовка установка (ВПУ);
 17 – споживач теплової енергії; 18 – насос затворного тиску (ПВТ);
 19 – деаератор; 20 – живильний насос; 21 – підігрівник високого тиску (ПВТ); 22 – шлакозоловидалення;
 23 – золовідвал; 24 – димосос (ДС); 25 – димар; 26 – дутьєвий вентилятор (ДВ); 27 – золоуловлювач.

У цей час у виробленні електроенергії беруть участь електростанції наступних типів:

- теплові (ТЕС), які діляться на паротурбінні (теплофікаційні ТЕЦ) і конденсаційні - КЕС із роздільним виробітком електричної й теплової енергії; великі КЕС історично одержали назву державних районних електростанцій (ДРЕС) і газотурбінні (ГТЕ); теплофікаційні - ТЕЦ, тобто з комбінованим виробітком електричної й теплової енергії;

- гідроелектростанції (ГЕС) і гідроакумулюючі електростанції (ГАЕС); - парогазові установки ТЕЦ;
- атомні електростанції;
- дизельні електростанції;
- геотермальні електростанції;
- геліоелектростанції (сонячні електричні станції);
- приливні електростанції (ПЕС); - вітроелектростанції.

Тип теплової електричної станції (ТЕС) на органічному паливі визначають наступні фактори.

1. Вид енергії, що відпускається (енергетичне призначення).

Розрізняють

- конденсаційні електростанції (КЕС) - з паровими конденсаційними турбоагрегатами, що відпускають енергію одного виду — електричну;
- теплоелектроцентралі (ТЕЦ), що відпускають зовнішнім споживачам електричну енергію й теплову енергію з паром або гарячою водою.

По характеру теплового споживання розрізняють ТЕЦ:

- промислового типу, з відпущенням підприємствам пари для технологічних процесів;
- опалювального типу, з відпущенням тепла звичайно з гарячою водою для опалення й вентиляції будинків і для побутових потреб населення;
- промислово-опалювального типу, з відпущенням пари й гарячої води для технологічних і опалювальних потреб.

2. Вид палива, що використовується. Розрізняють ТЕС на твердому, рідкому й газовому паливі, на двох або на всіх трьох видах палива. У цей час на ТЕС поряд із твердим паливом (кам'яне й буре вугілля й ін.) широко застосовують рідке (мазут, рідше сиру нафту, звичайно високосірчасті) і газове (природний газ). Перехід на рідке й газове паливо значно спрощує й здешевлює теплове господарство електростанції. Використання природного газу сприяє також чистоті повітряного басейну.

3. Тип основних турбін для привода електрогенераторів. Розрізняють ТЕС із паровими (ПТ) і газовими турбінами (ГТ).

Коефіцієнт корисної дії сучасних паротурбінні ТЕС досягає 40%, газотурбінних — поки не вище 28-34%. На паротурбінних ТЕС можливо застосування будь-якого виду органічного палива (вугілля, сланці, торф, мазут, газ). На газотурбінних ТЕС застосовують переважно газове або рідке паливо.

4. Значення початкових параметрів пари й вид термодинамічного циклу. За рівнем початкового тиску свіжої пари розрізняють електростанції з докритичним (звичайно нижче 16,0 — 17,0 МПа) і зверхкритичним (вище 22 МПа) тиском пари.

5. Тип парогенераторів. На електростанціях з докритичним тиском установлюють барабанні парогенератори із природньою циркуляцією (типу Е) або прямоточні парогенератори (типу П). Застосування прямоточних парогенераторів необхідно при критичному й зверхкритичному тиску свіжої пари. Чим нижче тиск пари, тем менше переваг дають прямоточні котли.

6. Технологічна структура(тип основної технологічної схеми). Щодо цього ТЕС ділять на блокові й неблокові. Сучасні конденсаційні електростанції, що застосовують, як правило, проміжний перегрів пари, виконують блокового типу.

Технологічна структура(тип основної технологічної схеми). Щодо цього ТЕС ділять на блокові й неблокові. Сучасні конденсаційні електростанції, що застосовують, як правило, проміжний перегрів пари, виконують блокового типу.

7. Потужність ТЕС. Умовно можна розділити ТЕС на електростанції великої (понад 1000 МВт), середньої (100-1000 МВт) і малої (менше 100 МВт) потужності. Найбільша потужність ТЕС обмежується звичайно місцевими умовами (забезпеченість паливом, умови водопостачання, вимоги охорони природи — підтримка чистоти повітряного й водного басейнів).

8. Зв'язок з електроенергетичною системою. У СНД, а також в інших розвинених у промисловому відношенні країнах електростанції, як правило, працюють в енергосистемах. «Ізольовані» електростанції поза енергосистемою усе більше стають виключенням. Споруджувані спочатку в знову освоєваних периферійних районах країни, вони згодом також включаються до енергосистеми.

9. Ступінь завантаження й використання електричної потужності.

Щодо цього ТЕС розділяють на:

- базові, з річним використанням максимальної (установленої) потужності $T_{\text{макс}} = 6000 \dots 7500$ год.;
- полубазові $T_{\text{макс}} = 4000 \dots 6000$ год.;
- напівпікові $T_{\text{макс}} = 2000 \dots 4000$ год.;
- пікові із $T_{\text{макс}}$ до 2000 год.

Електростанції з більш досконалим енергообладнанням і кращими енергетичними показниками завантажують у більшій мірі. На одній електростанції можуть бути різні агрегати (енергоблоки) з різним ступенем досконалості. Відповідно вони завантажуються по-різному, зазначений поділ відноситься й до окремих агрегатів (енергоблоків).

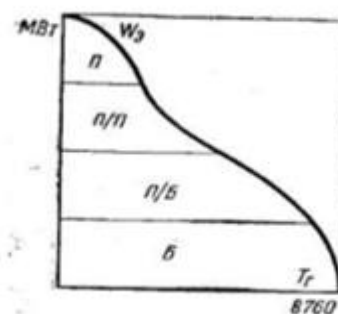


Рис. 4.3. Класифікація електростанцій по використанню потужності (у річному графіку тривалості навантажень):

Б – базові; П – Пікові; П/Б – полубазові; П/П – полупікові

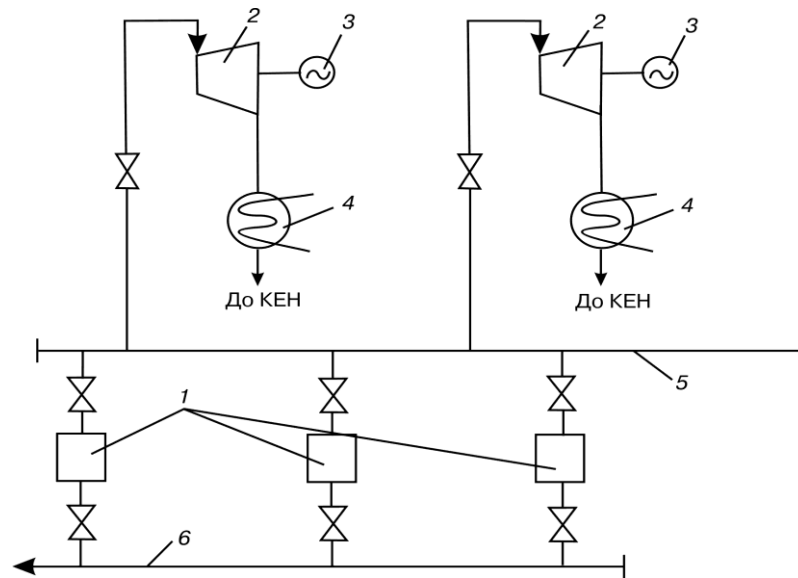


Рис. 4.4. Принципова схема ТЕС з поперечними зв'язками:

1 – котел; 2 – турбіна;

3 – електричний генератор; 4 – конденсатор; 5 – головний паропровід; 6 – живильна магістраль; КЕН – конденсатний електричний насос

Теплова економічність КЕС, яка виробляє тільки електроенергію, характеризується ККД станції, який являє собою співвідношення виробленої електроенергії до хімічної енергії (теплоти згорання) витраченого палива

$$\eta_{\text{КЕС}}^{\text{бр}} = \frac{E_{\text{вир}}}{BQ_{\text{H}}^{\text{p}}} \quad (4.1)$$

або

$$\eta_{\text{КЕС}}^{\text{н}} = \frac{E_{\text{від}}}{BQ_{\text{H}}^{\text{p}}}, \quad (4.2)$$

де $E_{\text{вир}}$ і $E_{\text{від}}$ – відповідно кількість виробленої та відпущеної електроенергії, кВт·год/рік; Q_{H}^{p} – теплота згорання палива, кДж/кг; $\eta_{\text{КЕС}}^{\text{бр}}$, $\eta_{\text{КЕС}}^{\text{н}}$ – відповідно ККД бруто і нетто; B – витрата палива, кг/рік.

Різниця $E_{\text{вир}} - E_{\text{від}} = E_{\text{в.п}}$ являє собою витрату електроенергії на власні потреби станції.

З виразів (4.1) і (4.2) можна отримати співвідношення, щоб визначити витрати палива на вироблену $B_{\text{вир}}^{\text{e}}$ та відпущену $B_{\text{від}}^{\text{e}}$ електроенергію. Поділивши ці вирази на кількість виробленої енергії $E_{\text{вир}}$ і на кількість

відпущеної енергії $E_{\text{від}}$ відповідно отримаємо значення питомих витрат умовного палива на 1 кВт·год виробленої та відпущеної електроенергії:

$$b_{\text{вир}}^e = \frac{0,123}{\eta_{\text{КЕС}}^{\text{бр}}};$$

$$b_{\text{від}}^e = \frac{0,123}{\eta_{\text{КЕС}}^{\text{н}}}.$$

Теплову економічність різних КЕС між собою порівнюють за питомою витратою умовного палива на 1 кВт·год виробленої та відпущеної електроенергії, між якими існує така залежність:

$$b_{\text{від}}^e = \frac{b_{\text{вир}}^e \cdot 100}{100 - e_{\text{в.п}}},$$

де $e_{\text{в.п}} = \frac{E_{\text{в.п}}}{E_{\text{вир}}} \cdot 100$ – питома витрата електроенергії на власні потреби

КЕС; $E_{\text{в.п}}$ – витрата електроенергії на власні потреби, кВт·год.

На діючій станції показник теплової економічності визначають витратами палива, кількістю виробленої та відпущеної електроенергії.

Економія палива у процесі комбінованого виробництва на ТЕЦ теплової і електричної енергії порівняно з роздільним визначає *економічну ефективність ТЕЦ*, отриману за рахунок використання відпрацьованої теплоти паросилового циклу. Щоб обчислити ККД ТЕЦ в цілому, ураховують два питомі ККД, які визначають економічність виробництва електроенергії і теплоти окремо. Основним з них є ККД виробництва електроенергії

$$\eta_{\text{ТЕЦ}}^e = \frac{E_{\text{вир}}}{B_e Q_{\text{H}}^{\text{p}}}, \quad (4.3)$$

де B_e – витрата палива на виробництво електроенергії.

Другий показник економічності ТЕЦ – ККД виробництва теплоти для зовнішнього теплового споживання

$$\eta_{\text{ТЕЦ}}^{\text{т}} = \frac{Q_{\text{від}}}{B_{\text{т}} Q_{\text{H}}^{\text{p}}}, \quad (4.4)$$

де B_T – витрата палива на виробництво теплоти, яку відпускають споживачеві.

Основною умовою цього методу є тотожність ККД ТЕЦ і ККД (нетто) котельного агрегату (парогенератора) у процесі роздільного виробництва теплоти $\eta_{\text{ТЕЦ}}^T = \eta_{\text{пт}}^H$. При цьому всю економію від застосування комбінованого виробництва електроенергії і теплоти відносять до виробництва електроенергії. Таке припущення призводить до того, що ККД виробництва електроенергії комбінованим способом досягає 75–80 % замість 35–40 % на сучасних КЕС.

Розрахунок економічності ТЕЦ за цим методом показує, що підвищення $\eta_{\text{ТЕЦ}}^e$ прямо пропорційне підвищенню частки комбінованого вироблення електроенергії. Тому ТЕЦ зацікавлена основну кількість теплоти відпускати споживачам з відборів турбіни при параметрах пари, прийнятних для споживача. Відпуск теплоти через РОУ або від водогрійних котлів бажано звести до мінімуму.

Отже, показник економічності ТЕЦ $\eta_{\text{ТЕЦ}}^e$ стимулює збільшення комбінованого виробництва електроенергії і теплоти.

За такою методикою порівняння теплової економічності ТЕЦ і роздільної установки (КЕС і котельної) зводиться до порівняння їх питомої витрати палива ($b_{\text{ТЕЦ}}^e$ і $b_{\text{КЕС}}^e$). Виміряну загальну витрату палива $B_{\text{ТЕЦ}}$ на ТЕЦ розподіляють на виробництво електроенергії B_e і теплоти B_T пропорційно кількості теплоти, витраченої на кожний вид енергії.

Витрати електроенергії і теплоти на власні потреби пов'язані з виробництвом кожного виду енергії. Теплові втрати також розподіляються пропорційно кількості теплоти, віднесеної на кожний вид енергії (електричної і теплової), і включаються в обумовлені витрати палива B_e і B_T відповідно.

Визначаючи витрати палива на відпущену теплову енергію на ТЕЦ, у розрахунок беруть сумарну величину $Q_{\text{від}} + Q_{\text{від}}^{\text{втр}}$, де $Q_{\text{від}}$ – відпущена споживачеві тепла енергія з урахуванням теплоти поверненого конденсату; $Q_{\text{від}}^{\text{втр}}$ – сума втрат теплової енергії на ТЕЦ, пов'язаних з втратами:

- у паропроводах відборів турбіни до точок заміру відпущеної теплової енергії у споживача;
- в основних і пікових підігрівниках мережевої води;
- у пароперетворювачах, РОУ та паропроводах, які з ними зв'язані;
- на підготовку і підігрів хімічно очищеної води для поповнення неповерненого конденсату та підживлення теплової мережі;
- у парогенераторах під час продувки системи.

Крім того, до B_T включено частку палива, витрачену на виробництво електроенергії, що виконується для роботи мережевих, підживлювальних та конденсатних насосів для відпуску теплової енергії споживачеві.

Витрату палива на виробництво електроенергії B_e можна визначити за формулою

$$B_e = B_{\text{ТЕЦ}} \left[1 - \frac{Q_{\text{від}} + Q_{\text{від}}^{\text{втр}}}{(Q_{\text{пг}}^{\text{бр}} - Q_{\text{пг}}^{\text{в.п}}) \eta_{\text{пг}}} \right] \frac{E_{\text{від}}}{E_{\text{від}} - E_{\text{в.п}}^{\text{T}}}, \quad (4.5)$$

де $Q_{\text{пг}}^{\text{бр}}$ – теплота (брутто), вироблена парогенераторами ТЕЦ; $Q_{\text{пг}}^{\text{в.п}}$ – витрата теплоти на власні потреби парогенераторів; $E_{\text{в.п}}^{\text{T}}$ – сумарні витрати електроенергії на власні потреби, пов'язані з відпуском теплоти споживачеві.

Використовуючи значення B_e , можна визначити питому втрату палива $b_{\text{від}}^e$ на 1 кВт·год відпущеної електроенергії і питомай ККД ТЕЦ $\eta_{\text{ТЕЦ}}^{e(\text{від})}$ на відпущення електроенергії:

$$b_{\text{від}}^e = \frac{B_e}{E_{\text{від}}}; \quad (4.6)$$

$$\eta_{\text{ТЕЦ}}^{e(\text{від})} = \frac{E_{\text{від}}}{B_e Q_{\text{H}}}. \quad (4.7)$$

За відомим значенням $B_T = (B_{\text{ТЕЦ}} - B_e)$ визначають питомий ККД ТЕЦ для виробництва теплоти $\eta_{\text{ТЕЦ}}^T$ і питому витрату палива на відпущену теплову енергію:

$$b_{\text{від}}^T = \frac{B_T}{Q_{\text{від}}}. \quad (4.8)$$

Собівартість відпущеної з ТЕС електричної енергії є важливим техніко-економічним показником. Вона дорівнює відношенню річних витрат $Z_{\text{рік}}$ до річної кількості відпущеної електроенергії $E_{\text{від}}^{\text{рік}}$:

$$s = \frac{Z_{\text{рік}}}{E_{\text{від}}^{\text{рік}}}. \quad (4.9)$$

Річні витрати $Z_{\text{рік}}$ складаються з витрат на паливо $Z_{\text{п}}$, на поточні й капітальні ремонти $Z_{\text{к}}$ і витрат на зарплату персоналу $Z_{\text{пер}}$:

$$Z_{\text{рік}} = Z_{\text{п}} + Z_{\text{к}} + Z_{\text{пер}}. \quad (4.10)$$

Контрольні запитання

1. Перерахуйте, що входить до складу теплової електростанції.
2. Які фактори визначають тип теплової електричної станції?
3. Які існують електростанції по виду енергії, що відпускається?
4. На які види поділяються ТЕЦ по потужності?
5. Які існують типи турбін для привода електрогенераторів?
6. Які існують ТЕЦ по характеру теплового споживання?
7. На які групи поділяються ТЕС по ступеню завантаження й використання електричної потужності?

Зміст звіту

1. Мета і програма роботи.
2. Електричні схеми.
3. Перелік обладнання і вимірювальних приладів.
4. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
5. Графіки залежностей.
6. Висновки.

Практична робота №5

Автономні біогазові малі електричні станції

Мета роботи: ознайомитись з будовою та принципом роботи автономних біогазових малих електричних станцій.

Теоретичні відомості

В останні роки значно зросла зацікавленість до процесів виробництва біогазу - це проявляється не тільки в зростаючій кількості біогазових установок, що будуються і плануються, але і в зацікавленості все більшого числа фермерів, комунальних господарств, підприємств і приватних господарств, які уважно спостерігають за розвитком цього сектора.

В процесі життя людей та господарської діяльності підприємств утворюються різні види органічних відходів, для утилізації яких використовуються біогазові станції. При цьому, сучасні технології дають можливість переробляти одночасно різні по виду і структурі біологічні відходи, отримуючи в результаті електроенергію, тепло і добрива.

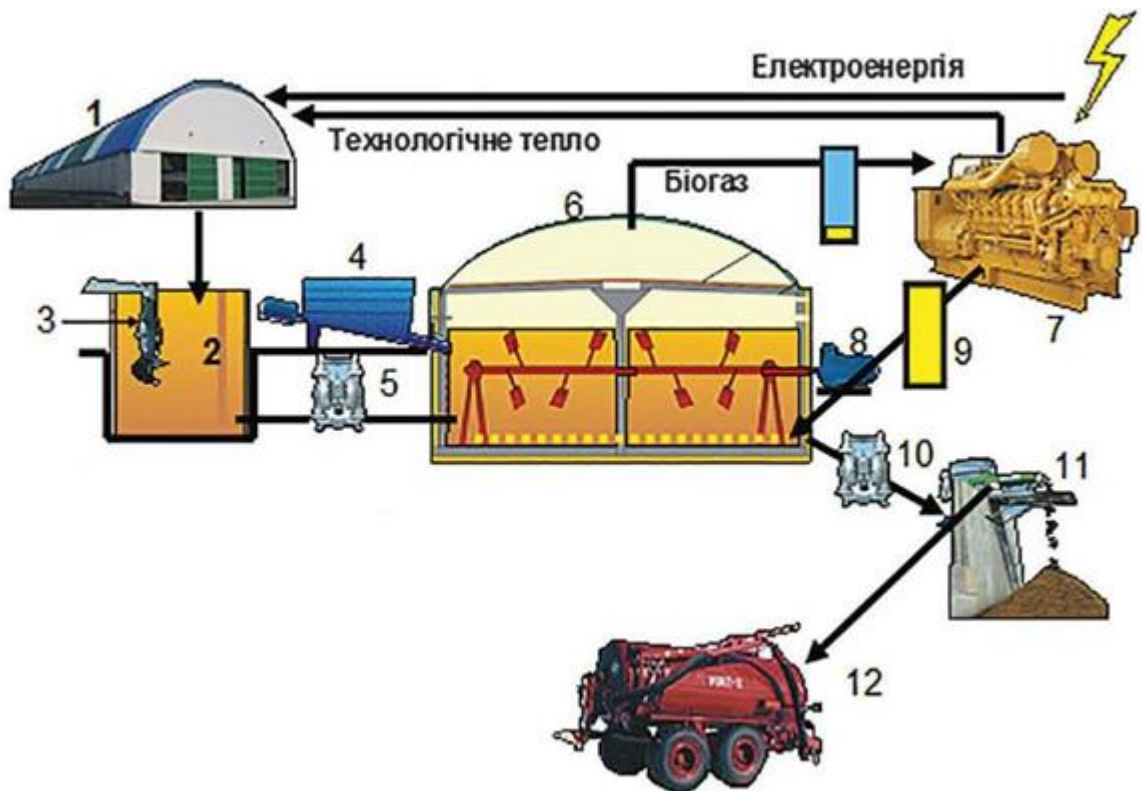


Рис. 5.1. Принципова схема біогазової установки:

*1 – ферма; 2 – резервуар збору та гомогенізації; 3 – гомогенізатор;
4 – загрузка твердої сировини; 5 – загрузка рідкого гною;
6 – Біореактор; 7 – когенераційний блок; 8 – перемішувач; 9 – контур
підігріву реактора; 10 – вихід перебродженої маси; 11 – віджим
перебродженої маси; 12 – внесення рідкого добрива*

Розробка установок для виробництва біогазу - одне з перспективних напрямів діяльності. За допомогою біогазової установки можна переробляти відходи тваринництва, сільського господарства, пивоварень і підприємств цукрової промисловості з отриманням цінного продукту - біогазу. Біогаз в свою чергу є енергоносієм, який можна конвертувати за допомогою спеціальних генераторів на електроенергію, тепло чи пар. Використання біогазових установок в АПК дозволяє зменшити потребу в покупних енергоносіях на ряду з екологічною утилізацією відходів промисловості.

Біогаз – суміш метану (CH_4) та вуглекислого газу (CO_2) з незначними включеннями інших побічних газів (N_2 , H_2 , H_2S). Співвідношення метану та вуглекислого газу залежить від складу органічного субстрату. Так економічно обґрунтованою є доля метану 55-70 %. В промислових установках все відбувається автоматично. Біогаз виникає при ферментації органічних речовин, таких як гнойова рідина, гній, рідке гнойового добрива, рослини, харчові відходи. У ферментерах і в гнильних баштах в результаті анаеробної ферментації (анаеробно - без кисню) утворюється біогаз.

Якщо органічний матеріал складається без доступу повітря, то, при впливі зв'язують метан бактерій, починається біологічний процес, при якому утворюється газ. Це і є біогаз.

Біогаз, зазвичай, використовується в когенераційних установках на базі газопоршневих двигунів для вироблення теплової та електричної енергії.

До переваг біогазових установок можна віднести:

- Економія коштів за рахунок переходу на біогаз.
- Покращення екології підприємства, на якому реалізується проект.

- Отримання додаткового прибутку за рахунок вироблення «зеленої» енергії та зниження рівня шкідливих викидів в атмосферу.
- Біогазова суміш більш ефективна як добриво в порівнянні з неферментованою.
- Збільшуючи обсяг новітніх енергій і розвиваючи і поширюючи далі на базі установок на біогазі сприятливі для навколишнього середовища технології, застосування біогазу служить і підтримці мети по захисту клімату.

Поняття «когенерація» не нове у вітчизняній енергетики. Але у малій енергетиці ці технології раніше застосовувалися рідко і довгі роки широко використовувалися, в основному, на великих паротурбінних електростанціях.

Теплову енергію, що виробляється когенераційними установками, використовують для виробництва гарячої води, пари, у холодильних установках, а також у технологічних процесах сушки гарячим повітрям. На рис. 5.2. показано структурну схему генерації.

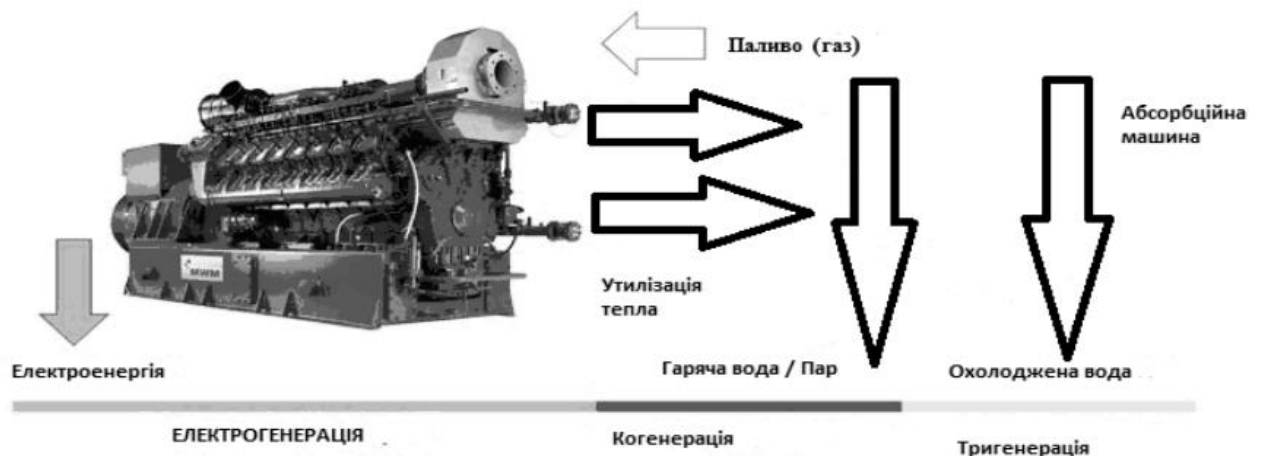


Рис. 5.2. Структурна схема генерації енергії

Базовим елементом наведеної схеми є газопоршневий генератор. Це складне технологічне обладнання, що передбачає автоматизацію керування його основними параметрами. Всі газопоршневі електроагрегати, залежно від області їх застосування, поділяють на агрегати базового (основного),

пікового і резервного живлення. До кожної з груп висуваються конкретні вимоги.

Для регулювання кількості тепла та електроенергії, що виробляються, використовують декілька видів регулювання газопоршневим електроагрегатом. Регулювання частоти обертання, поряд з регулюванням напруги газопоршневих електроагрегатів, є одним з найважливіших завдань, від методів вирішення якого залежить якість електроенергії у сталих і перехідних режимах роботи системи електропостачання споживачів.

Технічні засоби регулювання частоти обертання газопоршневих електроагрегатів наразі представлені регуляторами чотирьох типів:

- відцентрові регулятори прямої і непрямої дії;
- аналогові електронні регулятори;
- цифрові електронні регулятори;
- цифрові регулятори, які є органічною частиною комплексних

мікропроцесорних систем управління двигуном або генераторним агрегатом у цілому.

Особливістю газопоршневих електроагрегатів є можливість застосування декількох виконавчих пристроїв, керованих одним електронним блоком регулювання частоти обертання, так як багато двигунів мають декілька агрегатів наддуву і, відповідно, декілька дросельних заслінок з індивідуальним приводом.

Крім того, існують схеми наддуву з паралельною роботою кількох турбокомпресорів на загальний впускний колектор. У таких двигунах часто застосовують паралельно включені дросельні заслінки, кожна зі своїм керованим приводом. Це дозволяє застосовувати виконавчі пристрої, які мають невеликі габарити і масу. У цьому випадку при малих навантаженнях агрегата керують однією заслінкою, а при збільшенні навантаження – двома.

Регулювання складу газоповітряної суміші є одним з ефективних способів впливу на робочий процес газопоршневого двигуна з метою забезпечення заданих ефективних, економічних й екологічних показників

електроагрегата. Основним параметром горючої суміші, що створює істотний вплив на ці показники, є співвідношення палива і повітря у цій суміші, зване паливоповітряним відношенням, відношенням «газ-повітря» або «повітря-газ», що відповідає прийнятому в зарубіжній практиці найменуванню «air-fuel ratio» (AFR).

Регулювання напруги в енергосистемі здійснюється регулюванням напруги на виводах генератора шляхом дії на його збудження.

Генератори, що використовуються у когенераційних установках, можуть бути синхронними або асинхронними. Синхронний генератор може працювати в автономному режимі або паралельно з мережею. Асинхронний генератор може працювати тільки паралельно з мережею.

Якщо стався обрив або інші неполадки в мережі, асинхронний генератор припиняє свою роботу. Тому, для забезпечення гнучкості застосування розподілених когенераційних енергосистем, частіше використовуються синхронні генератори.

За способом виконання систем збудження генератори умовно можна розподілити на два принципово різних виконання: генератори, забезпеченні щітковим апаратом для передачі струму від нерухомої системи управління до обертаючої обмотки збудження, іменовані надалі «щіточні» (лапки далі опускаються), і генератори, позбавленні такого апарата, іменовані надалі безщіточні. У свою чергу, щіткові генератори підрозділяються на оснащені статичною системою з прямим фазовим компаундуванням, і забезпеченні збудником постійного струму з непрямим фазовим компаундуванням, як правило, високовольтні генератори, виконання прямого компаундування в яких важко. Щіткові генератори зі статичною системою збудження з корекцією напруги поділяються на варіанти: з дроселем відбору, керованим трансформатором фазового компаундування і тиристорним відбором. У сучасних системах корекція напруги здійснюється напівпровідниковим коректором напруги.

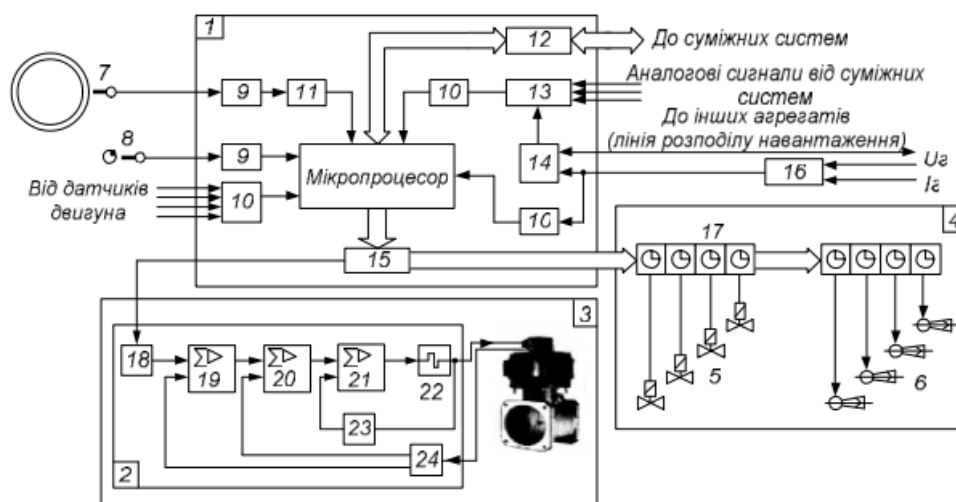


Рис. 5.3. Схема електронного регулятора частоти обертання:

мікропроцесорного блоку – 1; модулю управління дросельною заслінкою – 2; приводу дросельної заслінки – 3; модулю розподіленого управління подачею газу – 4; електромагнітного газового клапана – 5; форсунки – 6; датчика частоти обертання – 7; датчика положення розподільчого валу – 8; вхідного перетворювача – 9; АЦП – 10; енкодера – 11; перетворювача інтерфейсів – 12; аналогового задатчика – 13; модуля розподілу навантаження – 14; вихідного модуля – 15; датчика активного навантаження – 16; таймера – 17; перетворювача управляючого сигналу – 18; підсилювача контуру зворотного зв'язку за положенням – 19; підсилювача контуру зворотного зв'язку за швидкістю – 20; підсилювача контуру зворотного зв'язку за струмом – 21; широтно-імпульсного модулятора – 22; датчика струму – 23; перетворювача сигналу зворотного зв'язку – 24.

У системі збудження група статичних випрямлячів перетворює змінний струм збудника GE із частотою 50 Гц у постійний. Збудником є синхронний генератор, розташований на одному валу зі збуджуваним генератором (незалежне збудження). Статична випрямна установка складається з керованих напівпровідникових кремнієвих випрямлячів – тиристорів. При високих значеннях напруги збудження, зазвичай застосовують дів групи

тиристорів – робочу VS1 і прискорюючу VS2. Обидві групи з'єднують паралельно за трифазною мостовою схемою.

За рахунок комутації тиристора однієї групи на тиристор іншої групи зворотна напруга тиристорів робочої групи зменшується. Робоча група тиристорів забезпечує основне збудження генератора у нормальному режимі, прискорююча група – прискорення і гасіння поля в аварійних режимах, тому в нормальному режимі вона працює з невеликими струмами (20-30% номінального струму ротора); при прискоренні прискорююча група (повністю або частково) відкривається і забезпечує весь струм прискорення, а робоча група тиристорів замикається більш високою напругою прискорюючої групи.

Для живлення двох груп тиристорів обмотку кожної фази збудника виконують з двох частин: частини низької напруги, перетин провідників якої розрахований на тривале проходження робочого струму, і частини високої напруги, перетин провідників якої розрахований на короткочасне проходження струму прискорення. До першої підключені тиристори робочої групи VS1, а до другої – прискорюючої групи VS2. Незалежна система збудження зі збудником змінного струму і статичними перетворювачами володіє високою швидкодією, так як вона має високу граничну напругу збудження і, внаслідок без інерційності тиристорів, малі постійні часу. До недоліків цієї системи збудження слід віднести наявність збудника змінного струму, який ускладнює експлуатацію і збільшує вартість системи збудження, а також наявність ковзних контактів (у ній зберігаються контактні кільця і щітки ротора).

Найбільш поширеним є виконання безщітного генератора зі синхронним збудником і підзбудником на постійних магнітах, які, у свою чергу, діляться при виконанні на «діодні» і «тиристорні» (лапки надалі опускаються). У діодному варіанті напруга якірної обмотки синхронного збудника через обертовий доданий перетворювач прикладається до обмотки збудження генератора, а регулювання здійснюється в ланцюзі обмотки

збудження; у тиристорному варіанті напруга до обмотки збудження прикладається через тиристорний перетворювач, і регулювання здійснюється шляхом дії на тиристорний перетворювач. Іноді обидва варіанти у цілях резервування реалізуються в одному генераторі.

Для управління сучасними газопоршневими електроагрегатами широко застосовуються комплексні мікропроцесорні системи, створювані, як правило, для типового ряду агрегатів одного виготовлювача. У перелік таких пристроїв входять один або кілька блоків збору та обробки сигналів датчиків (тиску, температури, детонації), головний (базовий) керуючий блок, виконуючий регулювання частоти обертання і керування послідовністю операцій пуску і зупинки двигуна, блок регулювання складу паливоповітряної суміші і блок управління запалюванням. Для керування та автоматизації когенераційної установки застосовується найбільш поширений для когенераційних установок контролер InteliSys.

Основна перевага контролера InteliSys – збільшена кількість цифрових і аналогових входів/виходів, набір функцій для когенераційних установок (PID контури регулювання) і комунікаційні можливості високого рівня – дистанційний контроль і управління за модемною лінією, мобільним телефоном і інтернетом.

Структурна схема газопоршневого електроагрегату подана на рис. 5.4.

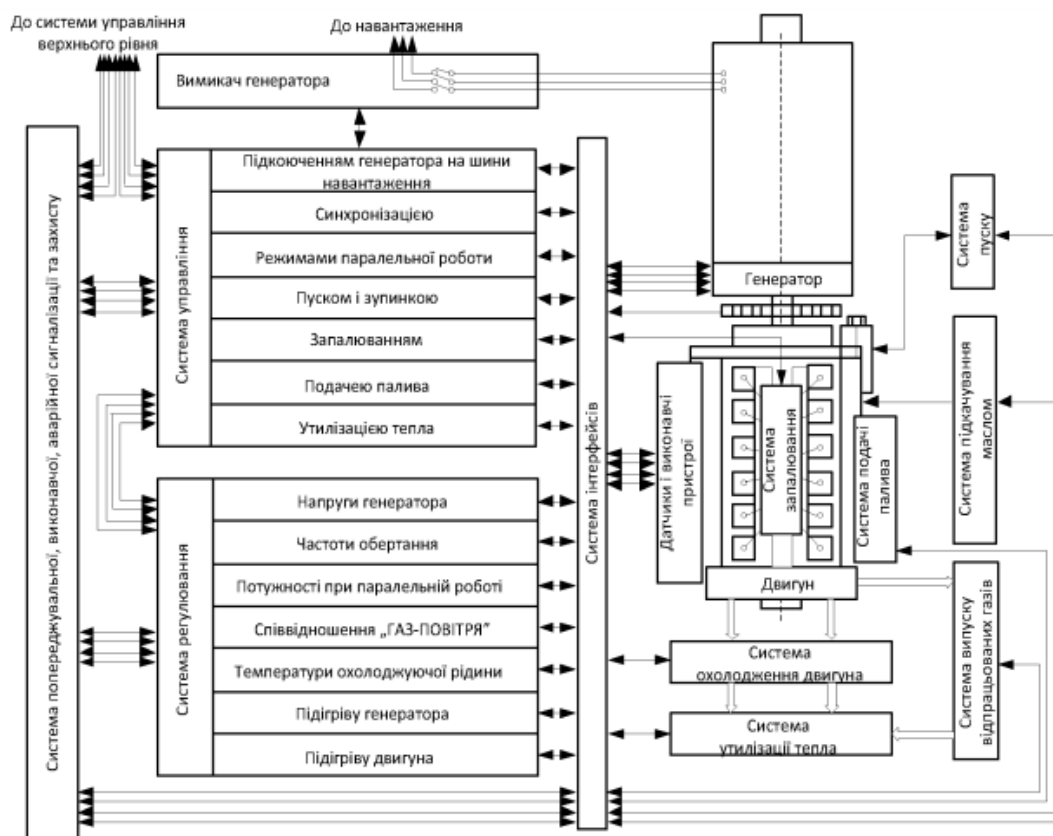


Рис. 5.4. Структурна схема газопоршневого електроагрегата

На ній показані зв'язки систем (управління, регулювання і т.д.) з електроагрегатом та наведено перелік підсистем, які можуть входити до відповідних систем.

Розрахунок основних технологічних параметрів біогазових установок

Продуктивність біогазової установки визначається за формулою

$$V_{\hat{a}} = \hat{A}_{\hat{a}\hat{e}} \cdot \hat{a} \cdot \mathcal{G} \cdot \hat{E} , \quad (5.1)$$

де \hat{a} – кількість органічних речовин, %;

\mathcal{G} – вихід біогазу на 1 кг органічної речовини (ОР). Орієнтовні значення \mathcal{G} для великої рогатої худоби (ВРХ) – 0,24...0,3 м³/кг; для свиней 0,4...0,45 м³/кг; для птиці – 0,6 м³/кг;

K – коефіцієнт бродіння (0,4 – 0,3);

$B_{\hat{a}\hat{e}}$ – кількість екскрементів за добу.

Кількість екскрементів за добу визначається за умови

$$\hat{A}_{\hat{a}\hat{e}} = n_1 b_1 + n_2 b_2, \quad (5.2)$$

де n_1, n_2 – кількість тварин різного виду;

b_1, b_2 – питомий вихід екскрементів на одну тварину різного виду.

Для розрахунку добового виходу біогазу використовують універсальне співвідношення Чена та Хошіміто, котре враховує тип біомаси і операційні характеристики біогазового реактора:

$$V_a = \frac{(\mathcal{G}_{\hat{a}\hat{d}} \cdot \hat{E}_{\hat{i}\hat{d}.\hat{d}})}{\tau} \cdot \left(1 - \frac{\hat{E}}{(\tau \cdot \omega_{\max} - 1 + K)} \right), \quad (5.3)$$

де V_a – добовий вихід метану CH_4 (м^3 за добу з 1 м^3 реактора);

$\mathcal{G}_{\hat{a}\hat{d}}$ – граничний вихід метану за добу (м^3 за добу з 1 кг ОР), що становить для гною ВРХ $0,2 \pm 0,05$, а для свинячого гною $0,5 \pm 0,05$;

$K_{\hat{i}\hat{d}.\hat{d}}$ – концентрація ОР на виході, $\text{кг}/\text{м}^3$;

τ – час повного обміну рідини в реакторі, діб;

K – кінематичний коефіцієнт:

- для гною ВРХ $K = 0,8 + 0,001e^{0,06S}$,

- для свинячого гною $K = 0,5 + 0,0043e^{0,091S}$;

ω_{\max} – максимальна швидкість росту мікроорганізмів, доба^{-1} , яка залежить від температури бродіння T_δ : $\omega_{\max} = 0,013 \cdot T_\delta - 0,129$.

Об'єм біогазової установки:

$$V_i = \tau \cdot V_\delta \cdot \hat{E}_\zeta, \quad (5.4)$$

де V_δ – об'єм рідкої маси екскрементів, подають в установку за добу;

\hat{E}_ζ – коефіцієнт, який враховує поправку на об'єм біогазу.

Рівняння теплового балансу біогазової установки:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (5.5)$$

де Q - кількість тепла з виробленого біогазу протягом доби:

$$Q = V_a \cdot Q_i^N, \quad (5.6)$$

де V_a – кількість біогазу, який утворюється протягом доби; Q_i^N – теплотворна здатність біогазу, кДж/ м³;

Q_1 - кількість теплоти, яка необхідна для підігрівання органічних речовин в об'ємі добової продуктивності установки:

$$Q_1 = B_{ek} \cdot C_p \cdot \Delta t(t_k - t_f), \text{ мДж/добу}, \quad (5.7)$$

де Q_2 – втрати теплоти через поверхню реактора;

Q_3 – кількість теплоти, яка еквівалентна спожитій електричній енергії;

Q_4 – кількість теплоти, яка еквівалентна енергії, затраченій на перемішування органічних речовин в метантенку.

Приклади розрахунку біогазових установок

Задача 1. Розрахувати продуктивність біогазової установки V_a , якщо в господарстві є n_1 тварин ВРХ і n_2 свиней. Тривалість бродіння τ діб, температура ферментації t °С.

Для варіантів значення вихідних величин наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розв'язання задачі 1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
n_1	3	4	6	8	10	12	14	16	18
τ , діб	20	10	20	10	5	10	5	10	10
t °С	34	32	36	40	50	36	40	44	48
n_2	10	20	30	10	20	15	25	30	20

Розв'язання

Приймаємо $n_1=3$ (ВРХ); $n_2=20$ свиней; $\tau=10$ діб; $t=40$ °С.

Кількість екскрементів за добу:

$$\hat{A}_{ae} = n_1 b_1 + n_2 b_2 = 3 \cdot 55 + 20 \cdot 15 = 465 \text{ кг/добу}, \quad (5.8)$$

де b_1, b_2 – вихід екскрементів за добу (додатки А, Б).

Можлива кількість біогазу:

$$V_{\hat{a}} = \hat{A}_{\hat{a}e} \cdot \hat{a} \cdot \mathcal{G} \cdot \hat{E}, \quad (5.9)$$

де \hat{a} – кількість органічної маси з 1 кг екскрементів (0,0363...0,04кг);

\mathcal{G} – питома величина виходу біогазу з органічної маси, залежить від температури ферментації і тривалості процесу (додаток В):

$$V_{\hat{a}} = 465 \cdot 0,0363 \cdot 0,265 \cdot 0,4 = 1,8. \quad (5.10)$$

Задача 2. Визначити об'єм газу з біогазогенератора внаслідок утилізації гною з n корів. Тривалість циклу бродіння $\tau_{\hat{a}}$, температура t_{ϕ} . Надходження сухого бродильного матеріалу від однієї корови складає $m_0 = 2$ кг/добу. Вихід біогазу $\mathcal{G} = 0,24$ м³/кг, вміст СН₄ в біогазі 0,78. Розрахувати потужність біогазогенератора.

Для варіантів значення вихідних даних наведено в табл. 5.4.

Таблиця 5.2 – Вихідні дані для розв'язання задачі 2

Варіант	1	2	3	4	5	6	7
n	4	6	8	10	12	14	16
$t_{\phi}, ^\circ\text{C}$	40	42	44	38	39	45	37

Розв'язання

Приймаємо: $n=4$ (корів); $\tau_{\hat{a}}=10$ діб; $t_{\phi}=40^\circ\text{C}$.

Загальна маса сухого матеріалу:

$$m_{\zeta} = n \cdot m_0 = 4 \cdot 2 = 8 \text{ кг/добу}, \quad (5.11)$$

Кількість газу, яка утворюється за добу:

$$V_{\zeta} = \mathcal{G} \cdot m_{\zeta} = 0,24 \cdot 8 = 1,92 \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (5.12)$$

Теплова потужність біогазогенераторної установки:

$$N = \eta \cdot Q_i^p \cdot V_a \cdot \dot{E}, \quad (5.13)$$

де η – ККД пальника;

Q_n^p – калорійність біогазу (метан за нормальних умов має близько 28 МДж/м³ = 56 кДж/кг);

$K = 0,78$ – частка метану в біогазі.

$$N = 0,92 \cdot 28 \cdot 10^6 \cdot 1,92 \cdot 0,78 / 24 \cdot 3600 = 446,5 \text{ Вт}. \quad (5.14)$$

Задача 3. Визначити розмір біогазової установки (об'єм, діаметр і висоту) для анаеробного процесу перероблення екскрементів $V_{ек}$ (кг/добу).

Тривалість ферментації $\tau_{бр}$ (діб).

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 5.5.

Таблиця 5.3 – Вихідні дані для розв'язання задачі 3

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$V_{ек}$, кг/добу	28	22	34	25	15	30	20	26	18
у	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\tau_{бр}$, діб	20	10	20	10	5	10	5	10	10

Розв'язання

Приймаємо: $V_{ек} = 200$ кг/добу; $\tau_{бр} = 10$ діб.

Кількість сухого матеріалу (органічних речовин):

$$m_0 = 200 \cdot 0,04 = 8 \text{ кг/добу}.$$

В біогазову установку подається рідка маса екскрементів, її визначають так:

$$V_p = m_0 / \rho_{ек}, \quad (5.15)$$

де $\rho_{ек}$ – густина рідкої маси екскрементів, які подають в установку (1024 кг/м³).

$$V_p = 8 / 1024 = 0,008 \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (5.16)$$

Об'єм генератора:

$$V_m = 10 \cdot 0,008 \cdot 1 = 0,08 \text{ м}^3. \quad (5.17)$$

На основі правила золотого перерізу площа біогазової установки:

$$F = 0,454 \cdot 0,08 = 0,04 \text{ м}^2. \quad (5.18)$$

Приймаючи конструкцію біогазової установки циліндричною, визначимо діаметр:

$$D = \sqrt{\frac{4}{3}F} = \sqrt{\frac{4}{3}0,04} = 0,23 \text{ м}. \quad (5.19)$$

Висота біогазової установки

$$h = \frac{V_i}{F} = \frac{0,08}{0,04} = 2 \text{ м}. \quad (5.20)$$

Задача 4. Біогазова установка об'ємом V переробляє сільськогосподарські відходи (гній ВРХ). Технологічні параметри анаеробного процесу: температура ферментації t_ϕ , тривалість повного обміну біомаси $\tau_{бр}$. Визначити продуктивність установи з біогазу за добу.

Для варіантів значення вихідних даних наведено в табл. 5.6.

Таблиця 5.4 – Вихідні дані для розв'язання задачі 4

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8
$V_m, \text{ м}^3$	8	10	12	14	16	18	20	22
$t_\phi, \text{ }^\circ\text{C}$	40	41	42	39	43	38	44	45
$\tau_{бр} \text{ діб}$	10	12	14	16	12	14	10	12

Розв'язання

Приймаємо: $V = 8 \text{ м}^3$; $t_\phi = 40 \text{ }^\circ\text{C}$; $\tau_{бр} = 10 \text{ діб}$.

Продуктивність біогазової установки визначимо із співвідношення:

$$V_a = \frac{(v_{ад} \cdot \hat{E}_{i0,\delta})}{\tau} \cdot \left(1 - \frac{\hat{E}}{(\tau \cdot W_{\max} - 1 + K)} \right), \quad (5.21)$$

де $v_{гр}$ - граничний вихід метану за добу з 1 кг гною ВРХ – $0,2 \pm 0,05$;

$K_{ор,р}$ – концентрація ОР на виході (210 кг/м³);

τ – час повного обміну матеріалу в реакторі (10 діб); K – кінематичний коефіцієнт для гною (ВРХ): $K = 0,8 + 0,001 \cdot e^{0,06S}$;

S – ацетат, його величина коливається в межах 80 ... 120.

$$K = 0,8 + 2,7^{0,06 \cdot 85} = 158,47. \quad (5.22)$$

W_{max} – максимальна швидкість росту мікроорганізмів (доба⁻¹) за температури $t_{\phi} = 40 \pm 0,05$ °C, ($T_{\phi} = 273 + 40 = 313$ K):

$$W_{max} = 0,013 \cdot 313 - 0,129 = 3,94. \quad (5.23)$$

Продуктивність з 1 м³ установки за добу:

$$V_a = \frac{(0,25 \cdot 210)}{10} \cdot \left(1 - \frac{158,47}{(10 \cdot 3,94 - 1 + 158,47)} \right) = 1,0237 \frac{\text{л}^3}{\text{доба}}. \quad (5.24)$$

Задача 5. Розрахувати об'єм біогазу V_b , отриманого за допомогою біогазогенератора на утилізованому ним гної від чотирьох корів ($n = 4$) та його енергетичну потужність. Час циклу зброджування становить $\tau_r = 10$ діб, температура $t = 40$ °C, подача сухого зброджуваного матеріалу від однієї тварини здійснюється зі швидкістю $V_k = 2$ кг/добу, вихід біогазу складає $v = 0,34$ м³/кг, ефективність пального пристрою $\eta = 0,6$, вміст метану в отримуваному біогазі складає 0,8.

Додаток А

Таблиця 5.5 – Середньодобовий вихід екскрементів на підприємствах ВРХ

Тварини	Вихід екскрементів, кг/добу		
	Всього	кал	сеча
Бици	40	30	10
Корови	55	35	20
Молодняк на відкормленні віком: до 4 міс.	7,5	5	2,5
4 – 6 міс.	14,0	10	4

6 – 12 міс.	26,0	14	12
старші 12 міс.	35,0	23	12
Свині	15,0	11	4

Додаток Б

Таблиця 5.6 – Склад екскрементів тварин (в % до сухої речовини)

Компоненти	Екскременти			
	ВРХ	дійні корови	свині	кури
Органічні речовини	77 – 85	77 – 85	77 – 84	76 – 77
Азот	2,3 – 4,0	1,9 – 6,5	4,0 – 10,3	2,3 – 5,7
Фосфор	0,4 – 1,1	0,2 – 0,7	1,9 – 2,5	1,0 – 2,7
Калій	1,0 – 2,0	2,4	1,4 – 3,1	1,0 – 2,9
Кальцій	0,6 – 1,4	2,3 – 4,9	–	5,6 – 11,6
Магній	0,5 – 0,6	–	–	0,9 – 1,1
С : Н	9 – 15	9 – 15	9 – 15	9 – 15
Сира клітковина (целюлоза)	–	27,6 – 50,3	19,5 – 21,4	13 – 17,8
Сирий жир	–	2,9 – 4,3	3,5 – 4,0	2,4 – 5,0
Сирий протеїн	–	9,3 – 20,7	16,4 – 21,5	20,5 – 42,1
Лігнін	16 – 30	16 – 30	–	9,6 – 14,3

Додаток В

Таблиця 5.7 – Питома величина виходу біогазу із сухої органічної речовини в залежності від температури і тривалості ферментації

Температ. процесу, °С	Тривалість бродіння, τ , доба	Вихід CH_4 , $v \cdot 10^3$, $\text{м}^3/\text{кг}$	Температ. процесу, °С	Тривалість бродіння, τ , доба	Вихід CH_4 , $v \cdot 10^3$, $\text{м}^3/\text{кг}$
25	5	22,44	44	5	118,59
	10	54,40		10	269,95
	20	116,26		20	428,93
28	5	21,68	48	5	203,18
	10	91,73		10	308,12
	20	174,80		20	478,44
32	5	63,23	50	5	179,17
	10	161,12		10	285,13
	20	329,98		20	357,95

34	5	100,07	54	5	119,93
	10	202,17		10	302,34
	20	347,73		20	385,71
36	5	66,67	56	5	184,68
	10	164,90		10	375,88
	20	296,10		20	469,38
40	5	115,61	60	5	61,83
	10	265,10		10	74,72
	20	417,56		20	93,84

Контрольні запитання

1. Що таке біогаз?
2. Поясніть значення «когенерація»?
3. Що таке газопоршневий генератор?
4. Назвіть основні види регулювання газопоршневого електроагрегатора.
5. Для чого застосовують синхронні генератори у когенераційних установках?

Зміст звіту

1. Мета і програма роботи.
2. Електричні схеми.
3. Перелік обладнання і вимірювальних приладів.
4. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
5. Графіки залежностей.
6. Висновки.

Практична робота №6

Гібридні сонячні станції

Мета роботи: ознайомлення з видами та структурами гібридних СЕС.

Теоретичні відомості

Гібридна сонячна станція - це установка комбінованого призначення: за допомогою неї можна заряджати акумулятори, які забезпечать автономність домашньої системи при відключенні електроенергії. Також вона дозволяє передавати надлишки енергії в загальну мережу для подальшого продажу за Зеленим тарифом. Отже, гібридна станція поєднує функції мережевої та автономної сонячної електростанції.



Рис. 6.1. Гібридна сонячна станція на приватному будинку

Переваги та комплектація гібридної СЕС

Перерахуємо очевидні переваги системи:

- захист від віялових (короткочасних) відключень електроенергії;
- мінімізація споживання із загальної електричної мережі;
- можливість отримання прибутку за рахунок продажу надлишків;

- відсутню електроенергію від панелей можна компенсувати із загальної мережі.

Комплект обладнання для гібридної сонячної станції практично аналогічний комплектації мережевих СЕС. Різниця полягає лише в іншому типі інвертора і наявності акумуляторних батарей, які накопичують напрацьовану енергію.

В цілому список обладнання наступний:

1. Сонячні панелі.
2. Кабелі.
3. Конструкції для фіксації панелей.
4. Гібридний інвертор.
5. Акумулятори.
6. Устаткування для захисту системи.

Особливості експлуатації гібридної СЕС

Гібридний інвертор може працювати в мережевому і автономному режимі (тоді як мережевий інвертор працює тільки в одному). Отже, ціна на гібридні інвертори аналогічної потужності вище. З цієї причини доцільно купити систему з двома інверторами: виділити резервну групу потужністю 5 кВт для гібридного інвертора, а подальший розвиток потужності здійснювати за рахунок мережевого інвертора.

Принцип роботи гібридної сонячної станції

Для розуміння надаємо схему СЕС з одним інвертором гібридного типу, а також з двома інверторами: мережевим і гібридним.

Два варіанти гібридної сонячної електростанції:

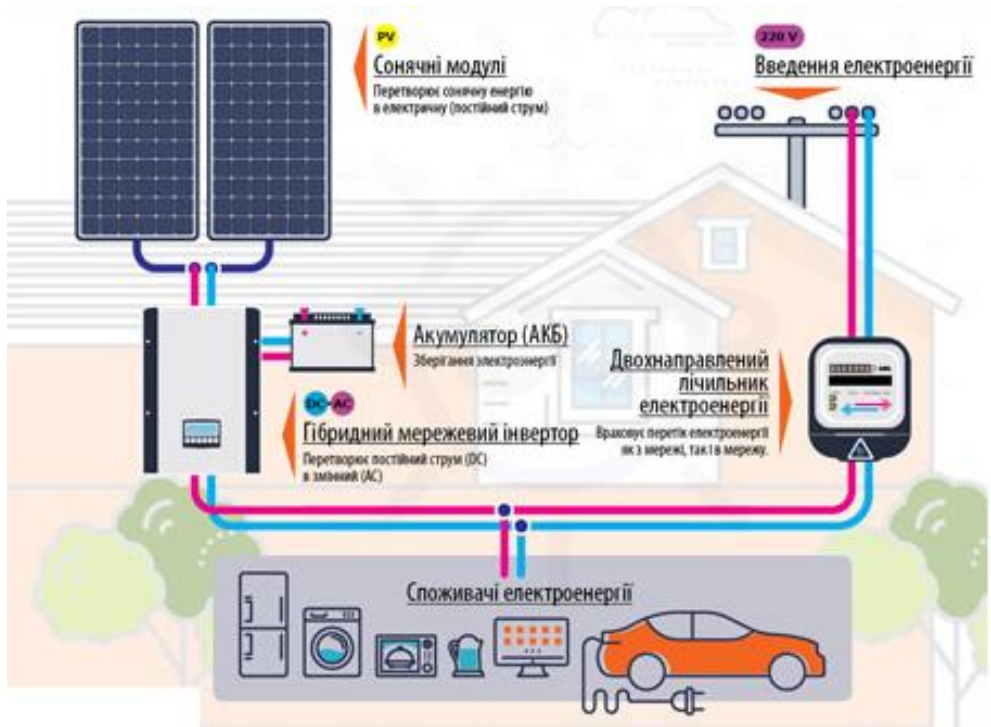


Рис. 6.2. Схема гібридної сонячної станції (Варіант А)

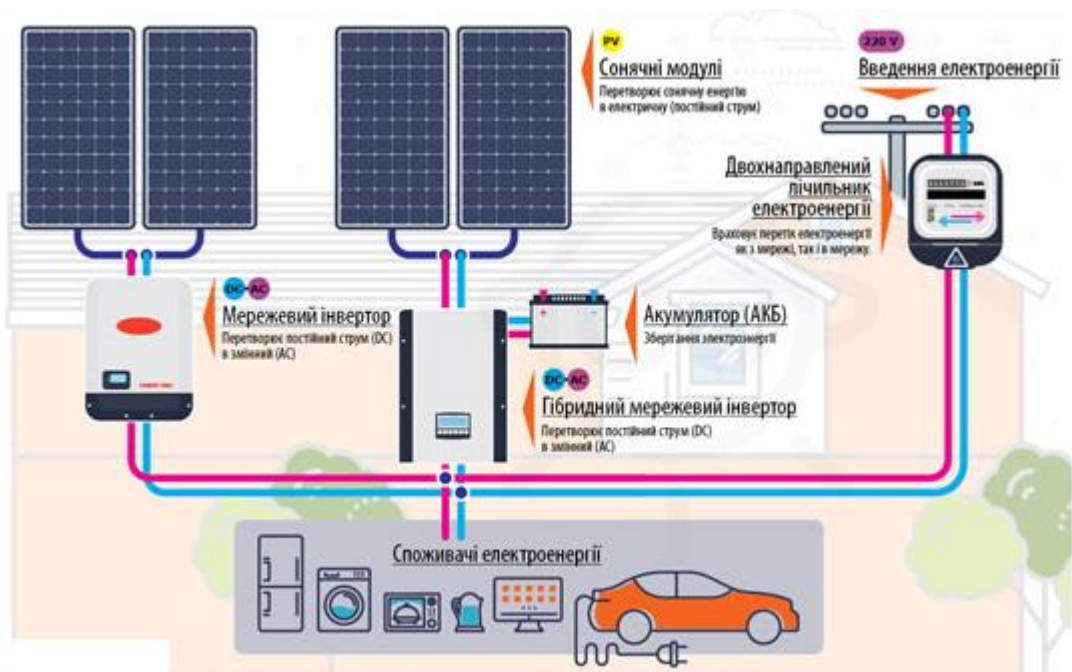


Рис. 6.3. Схема гібридної сонячної станції (Варіант Б)

За умови достатньої сонячної активності і середнього рівня споживання отриманої електроенергії, її залишки будуть подаватися на акумулятори. Якщо АКБ заряджені на 100%, надлишки можна направити на продаж.

Якщо сталося відключення електроенергії в загальній мережі, це буде компенсовано за рахунок ресурсу АКБ. З огляду на обмежений ресурс, до автономної мережі краще підключити тільки найактуальніших споживачів.

Якщо погода видалася похмурою, і виробленої сонячної енергії недостатньо для домашньої мережі, це буде компенсовано за рахунок запасів в АКБ. Якщо акумулятори розряджені - нестача буде поповнена із загальної електромережі.

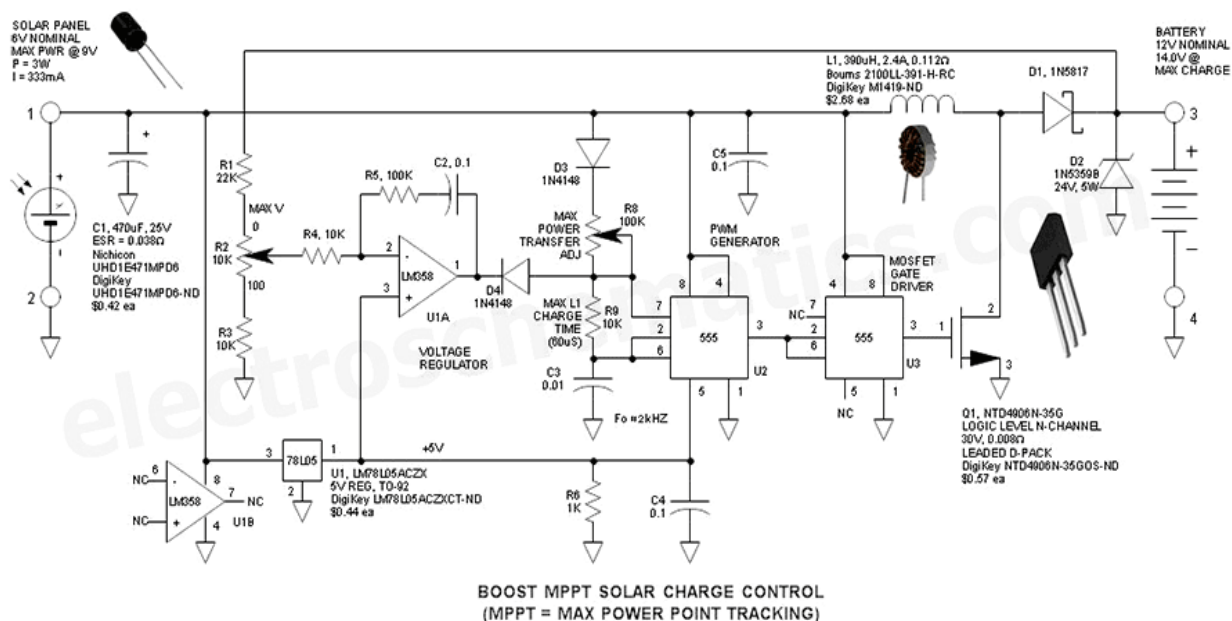


Рис. 6.4. Принципова схема СЕС для приватного будинку

Алгоритм вибору потужності сонячної електростанції:

1. Розраховуємо кількість споживаної електроенергії за рік кВт*г/рік (далі E_p);

2. В варіанте реалізації енергії по зеленому тарифу ділимо E_p на середнє річне число годин максимум генерації N (1070-1200 в залежності від області) та отримуємо оптимальну потужність СЕС P_{opt} .

$$P_{opt} = E_p / 1100 \text{ кВт}; \quad (6.1)$$

E_p – кількість споживаної електроенергії за рік;

3. При енергії по зеленому тарифу можна укомплектувати сонячну електростанцію «розумною» системою контролю перетоку потужності (СКПП), яка не дозволить вашій електроенергії перетікати в загальну

електромережу, або розраховувати СЕС таким чином, щоб її генерація ЗАВЖДИ була меншою за споживання.

3.1. При використанні системи СКПП розраховуємо потужність СЕС наступним чином: оптимальна потужність СЕС P_{opt} складатиме 50%-60% від розрахованої в пункті 2 потужності:

$$P_{opt} = (0,5 \div 0,6) * E_p / 1100 \text{ кВт}; \quad (6.2)$$

3.2. У разі відмови від використання «зеленого» тарифу та системи контролю перетоку потужності потрібно розрахувати мінімальне енергоспоживання в літній сезон в період часу з 10.00 до 15.30 (далі E_{min}) кВт*г. Потужність СЕС розраховуємо як

$$P_{opt} = (0,75 \div 0,85) * E_{min} \text{ кВт}. \quad (6.3)$$

Тепер розглянемо алгоритми вибору обладнання для кожної з підсистем:

1) По-перше, визначити кількість електроенергії, яка споживається протягом року, кВт*г/рік (далі E_p).

2) Далі потрібно визначити середньодобове споживання електроенергії для літнього та зимового сезонів (E_l та E_z). Для попередніх оціночних розрахунків можна прийняти обидва показника рівними між собою та вирахувати декількома способами: знімати покази лічильника електроенергії протягом декількох днів та вирахувати середнє арифметичне; взяти місячний рахунок за електроенергію та поділити на 30 або 31; для нового будівництва потрібно скласти список наступного вигляду — назва електрообладнання, його потужність P в кВт; кількість одиниць обладнання N , час роботи обладнання за день t , годин. Перемноження позицій P , N та t по кожній позиції з наступним сумуванням результатів для усього електрообладнання дозволить отримати бажаний рівень добового споживання електроенергії кВт*г/добу.

3) Розрахуємо необхідну потужність сонячних батарей (СЕС). Тут знову ж є декілька варіантів підходу до вибору потужності:

- Можна спробувати досягнути повної автономності енергосистеми дому, незалежно від пори року (взимку генерація в 3-4 рази менша, аніж в літній період):

$$P_{CEC} = (0,95 \div 1,05) * E_{л} / 1,5 \text{ кВт}; \quad (6.4)$$

4) Потужність інвертора визначається потужністю електроприладів, які живляться від нього. Оскільки паралельна робота з мережею для даного типу інверторів неможлива, у разі перевищення навантаження споживачів над номінальною потужністю інвертора спрацює захист та інвертор вимкнеться. Тобто Вам потрібно продумати, які з приладів можуть бути включені одночасно та підібрати інвертор таким чином, щоб його потужність з певним запасом перекривала вираховане навантаження. Іншим способом є зняття даних з електролічильника за 1 годину роботи в період максимального електроспоживання.

5) Вибір кількості акумуляторів — вираховуємо їх кількість за наступною формулою:

$$N_{AKB} = E_{л} * 3 / 2400; \quad (6.5)$$

Отримане число потрібно округлити до найближчого кратного 2 числа. Отримана цифра означає кількість акумуляторів, необхідних для акумуляування об'єму енергії, яку в середньому споживає Ваш дім за добу.

У разі, коли всіх електроспоживачів дому не потрібно підключати на резервоване джерело живлення, кількість акумуляторів розраховуємо по наступній формулі:

$$N_{AKB} = P_{н} * t * 3 / 2400. \quad (6.6)$$

де $P_{н}$, кВт — потужність обладнання, роботу якого треба резервувати за допомогою акумуляторів; t — години, тобто час роботи даного обладнання.

Контрольні запитання

1. Опишіть принцип роботи гібридних СЕС.
2. З чого складається гібридна СЕС?

3. З чого складається гібридна електростанція?
4. Для чого потрібний гібридний інвертор?
5. Який на вашу думку інвертор кращий? Чому?

Зміст звіту

1. Мета і програма роботи.
2. Електричні схеми.
3. Перелік обладнання і вимірювальних приладів.
4. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
5. Графіки залежностей.
6. Висновки.

Практична робота №7

Автоматизація малих ГЕС як засіб підвищення їх ефективності роботи в електричній мережі

Мета роботи: ознайомитись з принципом роботи та будови малих ГЕС.

Теоретичні відомості

Особливості малих ГЕС як об'єкта керування

Експлуатація малих гідроелектростанцій має ряд особливостей, порівняно з традиційними джерелами енергії :

–невелика одинична потужність ГЕС (від 100 кВт до 20 МВт) та часто низький коефіцієнт використання встановленої потужності протягом доби не дозволяють отримувати значні надходження від реалізації електроенергії, що призводить до необхідності максимального скорочення експлуатаційних витрат;

–одному суб'єкту енергоринку може підпорядковуватися 10 і більше малих ГЕС, розташованих у різних областях та регіонах країни, що істотно ускладнює централізацію диспетчерського керування ними, враховуючи практичну відсутність промислових каналів зв'язку;

–підвищення вимог енергоринку щодо автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) в області оперативності обміну інформацією між операторами та споживачами вимагає вдосконалення засобів інформаційного забезпечення, встановлених на малих ГЕС;

–продуктивність малих ГЕС значною мірою залежить від фактично непередбачуваного впливу навколишнього середовища, що призводить до ускладнень у процесі планування режимів їх роботи;

–неузгодженість норм і правил експлуатації водних ресурсів у поєднанні з людським фактором накладає штучні, часто необґрунтовані, обмеження в задачах забезпечення ефективності роботи гідроелектростанцій цього класу.

Для забезпечення ефективної експлуатації малих ГЕС необхідним є впровадження засобів автоматизації процесу вироблення електроенергії. При

цьому автоматизовані системи керування, що розробляються, мають забезпечувати виконання таких задач:

–повна автоматизація інформаційного обміну між ГЕС та розрахунково-диспетчерським центром (у перспективі – оператором енергоринку) для розв’язання задач комерційного обліку електроенергії;

–контроль стану основного обладнання, його захист у аномальних режимах роботи та забезпечення надійності роботи ГЕС у цілому;

–забезпечення централізованого керування основними процесами, маневреності ГЕС та максимальної ефективності використання первинної енергії протягом заданого періоду роботи;

–мінімізація необхідної кількості обслуговуючого персоналу для АСК та станції в цілому.

Структурна схема АСК малих ГЕС

Для реалізації вказаних задач необхідною умовою є забезпечення можливості централізованого керування об’єктом у реальному часі. Разом з тим, зазначена умова не може бути забезпечена через просторову розгалуженість об’єктів і відсутність надійних каналів зв’язку між ними та диспетчерським центром. Виходячи з цього, АСК із заданим переліком функцій (рис. 7.1.) може бути побудована як централізована система оперативного керування з децентралізацією функцій реального часу за рахунок застосування локальних (у перспективі адаптивних) систем автоматичного керування (САК).

Враховуючи структурну та апаратну складність цієї системи керування, а також вимоги щодо мінімізації капітальних та експлуатаційних витрат, АСК має будуватися, спираючись на результати детального техніко-економічного аналізу. Врахувавши ці чинники, останнього розроблено концепцію автоматизації малих ГЕС, головними принципами якої є:

–обґрунтована послідовність розробки та впровадження АСК передбачає черговість реалізації задач автоматизованої системи керування;

–реалізація трирівневої ієрархічної структури з виділенням двох рівнів об'єктів керування (ГЕС) – об'єктів нижчого рівня та "опорних" об'єктів – зменшує капітальні витрати на апаратну та програмну реалізацію АСК;

–повна автономність об'єктів керування (ГЕС) усіх рівнів у нормальних (планових) режимах їх роботи дозволяє забезпечити керуваність об'єктів та виконання ними заданих функцій протягом певного періоду часу навіть у разі відмови каналів зв'язку з верхнім ієрархічним рівнем.

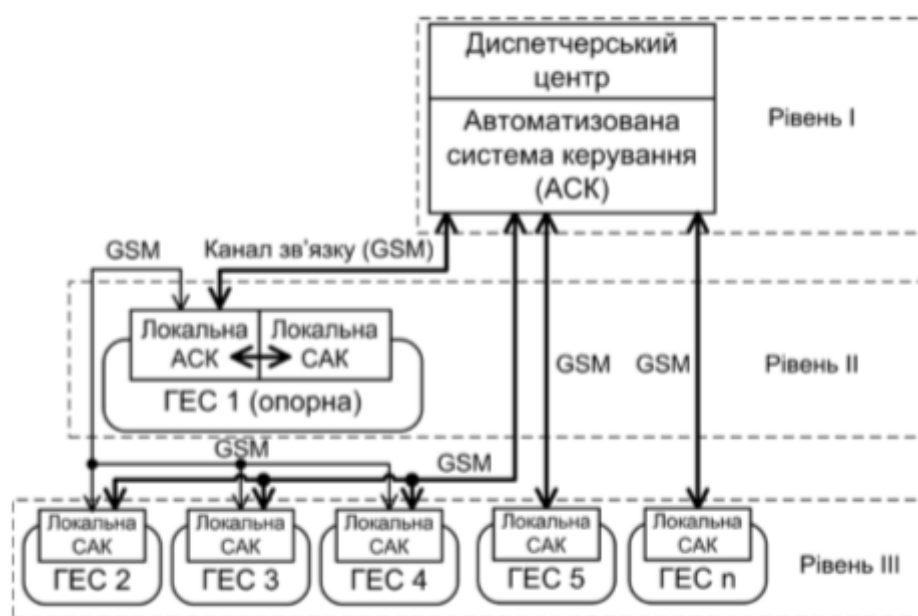


Рис. 7.1. Структурна схема АСК ГЕС

Практична реалізація АСК малих ГЕС

Розробка та впровадження автоматизованої системи керування групою малих ГЕС передбачає ряд завершених етапів, кожен з яких відповідає реалізації певного кола задач. На першому етапі розв'язуються задачі автоматизації комерційного обліку електроенергії як необхідної умови функціонування ГЕС в енергоринку, розробляється апаратне та програмне забезпечення для збору та передачі даних щодо півгодинних графіків відпуску електроенергії та формування звітної документації згідно з діючими нормативними документами. Додатковими завданнями цього етапу є тестування обраних інтелектуальних лічильників, апаратної платформи та

каналів зв'язку, підготовка оперативного персоналу до роботи з новим обладнанням.

На наступному етапі реалізації АСК за мету ставиться автоматизація процесу виробництва електроенергії та забезпечення автономності ГЕС у нормальних (планових) режимах їх роботи. Розв'язуються задачі дистанційного маневрування ГЕС, автоматичного контролю працездатності та захисту їх основного обладнання і, таким чином, зменшення необхідної кількості обслуговуючого персоналу. При цьому істотно збільшується перелік інформаційного забезпечення, оскільки для ведення заданого дистанційно режиму ГЕС із прийняттям елементарних рішень з керування ними необхідно:

- контролювати рівень води у верхньому басейні та зупиняти агрегати в разі досягнення мінімального рівня;

- контролювати режим роботи генераторів з використанням вимірювальних приладів щита керування та відповідно коригувати потужність турбін;

- контролювати параметри механічної частини ГЕС (підшипники генераторів, турбін, передач тощо) та зупиняти агрегати у разі досягнення граничних значень за вібрацією та температурою;

- реєструвати аварійні та передаварійні ситуації, а також присутність персоналу та сторонніх осіб на території ГЕС (включаючи періодичне відеоспостереження) з інформуванням вищого ієрархічного рівня керування (диспетчерського центру), а також обслуговуючого персоналу.

Вирішення проблем інформаційного забезпечення задачі ведення режиму ГЕС вимагає розширення апаратно-програмної частини локальних систем керування (рис. 7.2.) – встановлення сенсорів (С) механічних та електричних параметрів, а також виконавчих органів (ВО), об'єднаних у інформаційну мережу нижнього рівня, PLC-контролерів для організації

виконання задач реального часу та обміну даними між підсистемами АСК тощо.

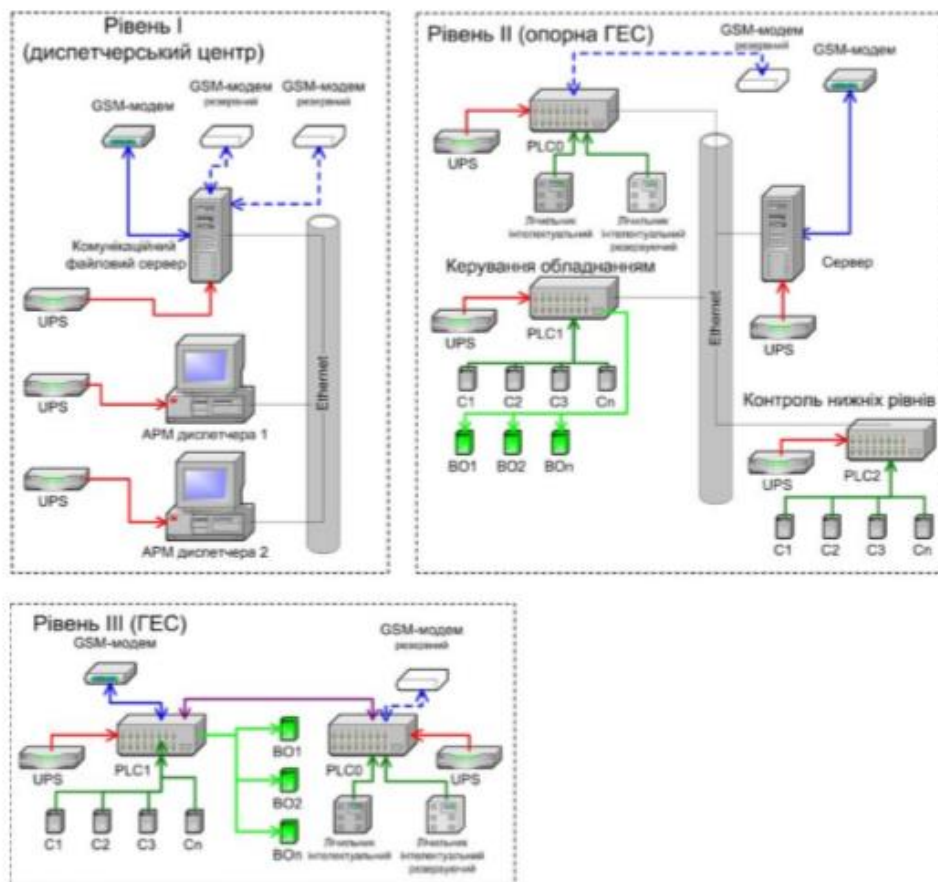


Рис. 7.2. Структурна схема апаратної реалізації АСК ГЕС

Третій етап розробки та реалізації АСК ГЕС починається з виділення (за територіальною ознакою, встановленою потужністю, кількістю та кваліфікацією обслуговуючого персоналу) опорних ГЕС. Саме на таких станціях виконується встановлення додаткового обладнання для організації локальної автоматизованої системи керування ними та сполучених з ними ГЕС нижчого рівня. PLC-контролери таких об'єктів об'єднуються в локальну мережу Ethernet, що забезпечує можливість обміну даними між ними та сервером локальної АСК. Останній оснащується програмним забезпеченням, що дозволяє накопичувати та аналізувати ретроспективні дані власної локальної САК та САК сполучених ГЕС, підвищувати ефективність використання водних ресурсів, прогнозувати аварійні ситуації та ліквідувати аварії з мінімальними збитками.

Отже, локальні АСК опорних ГЕС призначені для автономного програмного керування режимами роботи ГЕС відповідно до змін умов експлуатації. Сюди відносяться зміна параметрів навколишнього середовища, результати оперативного аналізу режимів роботи їх обладнання та інформації про можливі аварійні ситуації, аналізу тенденцій зміни основних параметрів (електричних, механічних).

Очевидно, що реалізація описаної АСК малими ГЕС вимагає, крім належної апаратної реалізації, розробки відповідного математичного та програмного забезпечення, яке для окремої ГЕС (особливо ГЕС рівня II) потребує значних капітальних витрат та витрат часу. Але економічний ефект, пов'язаний з покращенням керованості та маневреності ГЕС, із підвищенням надійності роботи та ефективності використання водного потенціалу, за приблизними оцінками дозволить компенсувати усі зазначені витрати протягом 3 – 4 років.

Контрольні запитання

1. Які ви знаєте особливості експлуатації малих ГЕС, порівняно з традиційними джерелами енергії?
2. Охарактеризуйте перший етап реалізації АСК малих ГЕС.
3. Охарактеризуйте другий етап реалізації АСК малих ГЕС.
4. Охарактеризуйте третій етап реалізації АСК малих ГЕС.
5. Для чого призначені локальні АСК опорних ГЕС?

Зміст звіту

1. Мета і програма роботи.
2. Електричні схеми.
3. Перелік обладнання і вимірювальних приладів.
4. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
5. Графіки залежностей.
6. Висновки.

Практична робота №8

Дизельні електричні станції

Мета роботи: ознайомлення з видами та структурами ДЕС.

Теоретичні відомості

Дизельна електростанція (дизель-генераторна установка, дизель-генератор) — стаціонарна або пересувна енергетична установка, обладнана одним або декількома електричними генераторами з приводом від дизельного двигуна внутрішнього згоряння або з приводом від бензинового двигуна — бензиноелектричний агрегат або бензинова електростанція. Також існують газопоршневі електростанції.

Варто враховувати, що терміни: *дизельна електростанція, дизель-електричний агрегат і дизель-генератор* не є синонімами:

- дизель-генератор — установка, яка складається з конструктивно об'єднаних, дизельного двигуна і генератора.
- дизель-електричний агрегат у свою чергу, має — дизель-генератор, а також допоміжні складові: раму, прилади контролю, паливний бак.
- дизельна електростанція — це нерухома або пересувна установка на базі дизель-електричного агрегату, яка додатково, має: прилади для розподілення електроенергії, пристрої автоматики, пульт керування.

Зазвичай, такі електростанції поєднують у собі генератор змінного струму та ДВЗ (двигун внутрішнього згоряння), які встановлено на сталевій рамі, а також систему контролю та керування установкою. ДВЗ приводить до руху синхронний або асинхронний електричний генератор. Двигун та електричний генератор з'єднуються або напряду фланцем, або через демпферну муфту. У першому випадку, використовується двохопорний генератор, тобто генератор, який має два опорних підшипники, а у другому — з одним опорним підшипником (одноопорний).

Дані установки розрізняють за: вихідною потужністю; видом струму (змінний 3-фазний / однофазний, постійний); вихідною напругою та за

частотою струму (наприклад 50, 60, 400 Гц). Також, дизельні електростанції поділяються за видом охолодження: повітряне або рідинне. Електростанції повітряного типу, можуть працювати безперервно не більше 10 годин, після цього їм треба охолоджуватися 1-2 години. Зазвичай, це невеликі електростанції малої потужності, їх ще називають портативними (переносними). Електростанції рідинного способу охолодження можуть працювати без зупинки цілодобово і порівняно з переносними, такі агрегати мають більші розміри і відповідно більшу потужність.

Будова дизельної електростанції



Рис. 8.1. Стационарна дизельна електростанція

Мотор. Двигун є джерелом механічної енергії, щоби запуснути генератор і виробляти електрику. Як правило, дизельні двигуни є найбільш використовуваними через їх механічні, екологічні й економічні вигоди.

Блок керування двигуна. Контролер двигуна є механічним пристроєм (відцентровий регулятор), призначеним для підтримки постійної частоти обертання двигуна задля вимог навантаження. Швидкість двигуна, безпосередньо пов'язано з вихідною частотою генератора змінного струму,

так що будь-яка зміна швидкості його обертання, впливає на частоту вихідного струму.

Електрична система. Власна електрична система двигуна, має 12 В або 24 В, постійної напруги (мінус на землі). Система містить: електричний стартер, акумуляторні батареї та датчі робочих й аварійних сигналів. Як правило, двигун має датч тиску мастила, температури та навантаження на генератор. У пересувних електростанціях невеликої потужності, для збудження електрорушійної сили у нерухомих обмотках статора, використовуються постійні (найчастіше неодимові) магніти, а у генераторах великої потужності, для живлення обмоток збудження на роторі (електромагнітів), використовується, так зване, пряме збудження від акумуляторних батарей, а після досягнення номінальних обертів, генератор переходить на самозбудження крізь напівпровідникові випрямлячі.

Система охолодження. Охолодження двигуна, може здійснюватися за допомогою води, мастила або повітря. Система повітряного охолодження складається з потужного вентилятора холодного повітря, що проходить уздовж систем двигуна. Система охолодження вода / мастило містить радіатор, з вбудованим вентилятором, задля охолодження складових дизельного двигуна.

Генератор змінного струму. Вихідна електрична енергія, виробляється за допомогою електромашинного генератора, з самозбудженням, та саморегулюванням струму, а отже, магнітного поля збудження.

Паливний бак. Дизель-генератор має паливний бак ємністю, зазвичай, не менше 8 годин роботи за повного навантаження.

Віброізоляція. Генератор, як правило, оснащено пристосуваннями проти двигіння, які призначено для зменшення вібрації від двигуна-генератора. Ці амортизатори, зазвичай, розташовуються між базовим двигуном, генератором, приладовою панеллю та рамою.

Глушник і вихлопна система. На двигуні встановлено глушник та вихлопну трубу для зниження рівня шуму й відведення продуктів згоряння.

Система керування. Може передбачати ручне або автоматичне керування дизель-електростанцією. Система ручного керування, зазвичай містить ключі керування задля попереднього створення тиску мастила та увімкнення стартера і надає докладні дані про систему, яку встановлено на генераторі. Автоматична система керування, може підтримувати дизель-генератор у робочому стані та забезпечити його автоматичний запуск та зупинку у разі надзвичайних подій.

Вихідний автоматичний вимикач. Для захисту генератора, як правило, використовують автоматичний вимикач.

Принцип роботи дизельної електростанції

Принцип роботи дизельної електростанції аналогічний принципу дії бензинового агрегату: енергія, що виділяється при згорянні палива, перетворюється в механічну, а потім в електричну. В результаті займання повітряно-паливної суміші в циліндрах двигуна утворюється енергія розширення газів, яка за допомогою кривошипно-шатунного механізму починає обертати колінчастий вал. Вал, в свою чергу, приводить в рух ротор генератора, який збуджує електромагнітне поле, що створює електрорушійну силу. Електрорушійна сила формує вихідну напругу, що стабілізується пристроєм управління.

Дизельні електростанції працюють в діапазоні напруг від 200 Вольт до 400 В, в залежності від потужності і моделі генератора, які бувають однофазними і трифазними. Генератори трифазні можуть подавати напругу в 200 В і 380 В, а однофазні - тільки один показник напруги. Трифазні моделі мають більш високий ККД.

Дизельні електростанції випускаються в різних варіантах, наприклад, в стаціонарному і мобільному виконанні, з шумопоглинальним кожухом і без нього, з повітряної або рідинної системою охолодження, без турбонаддува і з турбонаддувом (спосіб подачі повітря).

Зазвичай мобільні генератори володіють меншими розмірами, меншою потужністю і меншим рівнем шуму в порівнянні зі стаціонарними. Стаціонарні агрегати без шумопоглинального кожуха практично неможливо використовувати в житлових приміщеннях.

Дизельні електростанції (генератори) змінного струму, що перетворюють механічну енергію обертання в електричну, бувають синхронними і асинхронними. Вони практично рівноцінні, але при необхідності підключення електроінструментів з великим споживанням енергії (насоси, зварювальні апарати, дрилі, електропили) краще синхронний генератор. Він же підійде для харчування холодильників, освітлювальних приладів. Якщо ж підключається техніка, високочутлива до перепадів напруги, то краще зробити вибір на користь асинхронного агрегату, що підтримує постійну напругу.

Перевагою синхронних апаратів є можливість підключення обладнання з потужністю до 65% від номінальної, в той час як для асинхронних моделей цей показник становить всього 30%. Недолік синхронних генераторів - низький ступінь захисту двигуна від впливу зовнішніх факторів - пилу, бруду, води.

Види дизельної електростанції

За призначенням:

Пересувні - електростанції потужністю, як правило, до 1000 кВт. Застосовуються в якості переносного (портативні) або резервного джерела електропостачання. Найчастіше представлені в спеціальному шумозахисних кожусі або контейнері зі стандартними (дозволеними) транспортувань габаритами.

Стаціонарні (промислові) - електростанції, будь-якої потужності і типу, інтегровані в єдину систему енергокомплексу.

За конструктивним виконанням:

Відкритого виконання - базове виконання електростанції, призначене для розміщення електроустановки в спеціально обладнаному приміщенні.

У шумозахисних кожусі - для установки в приміщення або на вулиці при наявності вимог до зниження шуму.

Контейнерні - монтаж електростанції в блок-контейнер здійснюється для експлуатації установки в важких кліматичних умовах і підвищеної вандалозахисна.

Електростанція може бути встановлена в фургон, машину або на шасі. Таким чином, вона набуває статусу мобільного електростанції.

За родом струму:

Малопотужні дизельні електростанції виробляють, як правило, однофазний змінний струм напругою 220 В або трифазний напругою 380 В.

Трифазні електростанції мають більш високий ККД за рахунок більш високого ККД генератора змінного струму.

Переносні дизельні електростанції з вбудованим випрямлячем (інвертором) можуть мати додатковий вихід постійного струму напругою 12-14 вольт, наприклад, для зарядки акумуляторів.

Потужні дизельні електростанції виробляють трифазний струм:

низьковольтні - з напругою до 1 кВ;

високовольтні - з напругою понад 1 кВ (6,3 кВ, 10 кВ).

Якщо необхідно передавати електроенергію, вироблену низьковольтними електростанціями, на значні відстань по лініях електропередачі, напруга підвищується на електричних підстанціях до 6,3 кВ або 10,5 кВ.

За типом генератора змінного струму:

Синхронний генератор змінного струму

Асинхронний генератор змінного струму

Застосування дизельної електростанції



Рис. 8.2. Самохідна дизельна електростанція ЭСУ2А

Такі електростанції та установки, застосовуються як основні, резервні або аварійні джерела електроенергії, для споживачів одно- або трифазного змінного струму, для енергозабезпечення вахтових селищ, виробництва, установок зв'язку, польових аеродромів та аеропортів, польових шпиталів, дачних будинків, для електроживлення тепловозів, підводних човнів та іншої техніки, а також як силова установка кар'єрних самоскидів.



Рис. 8.3. Дизель-генераторна установка танкера

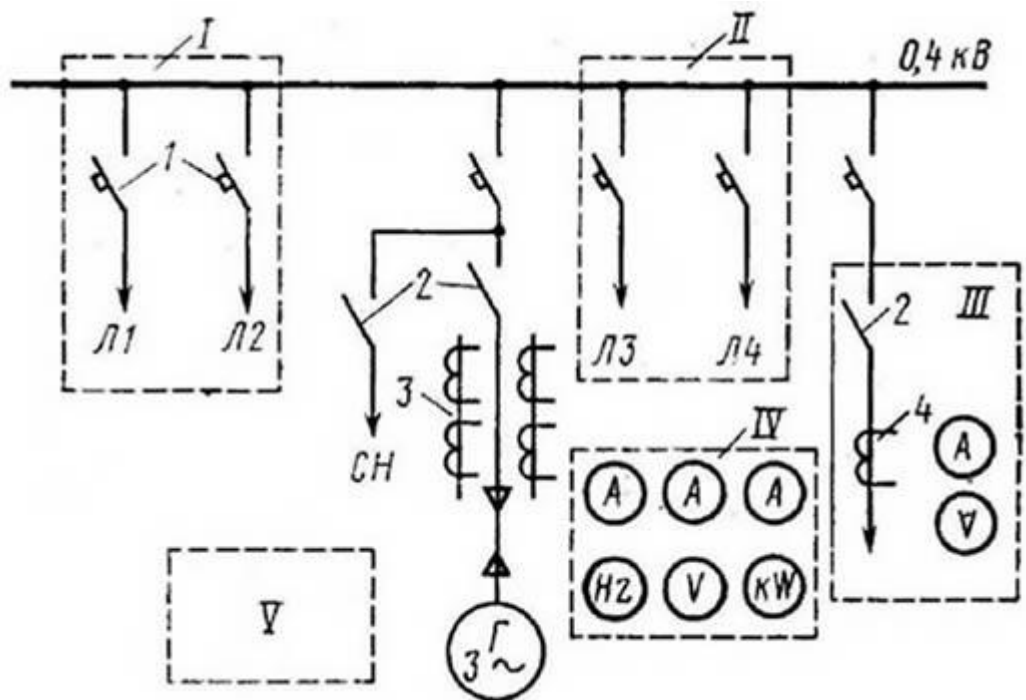


Рис. 8.4. Схема дизельної електростанції напругою 0.4 кВ з одним генератором

Контрольні запитання

6. Опишіть принцип роботи дизельної електростанції.
 7. З чого складається дизельні електростанції?
 8. Де застосовуються дизельні електростанції?
 9. Що варто враховувати під терміном *”дизельна електростанція, дизель-електричний агрегат і дизель-генератор ”*?
- Які існують види дизельної електростанції?

Зміст звіту

1. Мета і програма роботи.
2. Електричні схеми.
3. Перелік обладнання і вимірювальних приладів.
4. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
5. Графіки залежностей.
6. Висновки.

Практична робота №9

Автономні та гібридні СЕС

Мета роботи: ознайомлення з видами та структурами гібридних міні електростанцій

Теоретичні відомості

Навіть невеликі домашні електростанції можна класифікувати за трьома типами, обумовлені їх основними функціями:

- **Автономна сонячна електростанція (СЕС)**, яка використовується там, де немає можливості підключення до зовнішніх енергомереж. Вимагає наявності АКБ в складі системи, чим зумовлює високу вартість таких проектів. Фактично створює свою приватну домашню електромережу перетворюючи енергію з АКБ та сонячних фотомодулів в звичну нам «розетку 220В». Більш детально про автономні станції можна прочитати в окремій статті.

- **Мережева СЕС**, яка буде виробляти енергію і для власних потреб дому або підприємства, і для продажу. Правда, не буде страхувати вас в разі відключення та можливих аварій у мережах, так як не має в своєму складі АКБ. Відсутність АКБ зумовлює доступну вартість таких системи. На сьогоднішній день це найпопулярніший тип систем, так як працюють за так званим «Зеленим тарифом» і дозволяють заробляти кошти на продажі електроенергії в мережу і зменшити власне споживання. Прочитати більше про зелений тариф можна в окремій статті за посиланням, а також окрема стаття про станції для власного споживання для підприємств.

- **Гібридна СЕС (також Резервні СЕС, ESS)** — це можливість отримати все і відразу: зелений тариф, повну автономність та енергонезалежність. Вона поєднує в собі всі переваги автономної та мережевої СЕС. Тобто при такому рішенні є можливість пріоритетного користуватися власною енергією і продавати її надлишки по зеленому тарифу, а в разі її нестачі використовувати зовнішні енергомережі або АКБ.

ESS (Energy Storage Systems, гібридні резервні системи) – це Ваша повна енергонезалежність. Як правило, ці станції потребують індивідуального розрахунку та реалізуються під індивідуальне замовлення. Існує кілька варіантів виконання таких інноваційних проектів. Дані рішення є відчутно дорожчим, але з ними Ви будете згадувати ОблЕнерго лише тоді, коли Вам буде приходити смс-сповіщення про зарахування коштів на банківський рахунок, за електроенергію продану по Зеленому тарифу.

З чого складається гібридна СЕС (ESS):

- Сонячні панелі
- Інвертор (з вбудованим контролером заряду)
- АКБ (саме від них найбільше залежить вартість всієї системи)
- Система кріплень фотоелектричних модулів (ФЕМ)
- Автоматика захисту по стороні перемінного та постійного струмів (AC/DC)
- Система моніторингу для спостереження за роботою системи та генерацією
- Розумний лічильник SmartMeter, який запобігає перетоку е/е в центральну мережу (може бути вбудований в інвертор або зовнішньої установки)

Принцип роботи

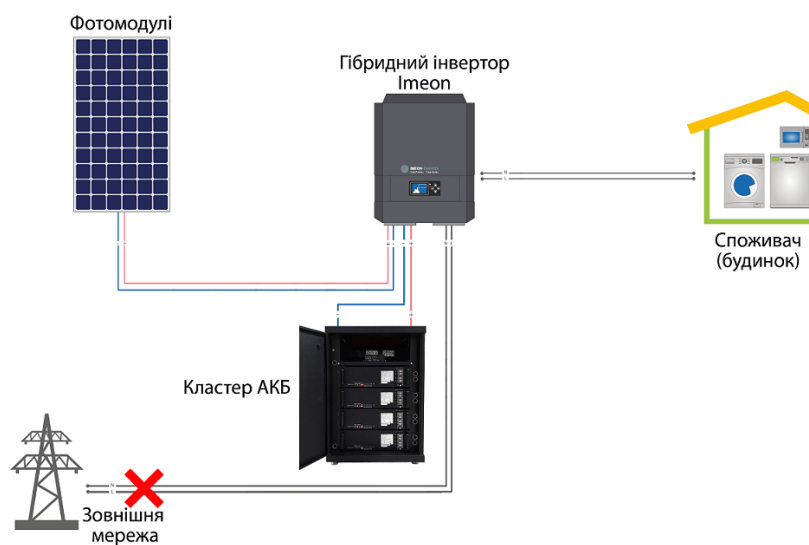


Рис. 9.1. Схема принципу роботи гібридної СЕС

Станція складається з сонячних панелей (фотомодулів), гібридного інвертора з вбудованим контролером заряду та акумуляторних батарей (АКБ). Фотомодулі генерують електроенергію, частина якої споживається домогосподарством, надлишок енергії через інвертор потрапляє на АКБ, де він акумулюється, або продається по «Зеленому» тарифу в зовнішню енергомережу. Гібридний інвертор, в даному випадку є основним приладом, який контролює заряд батарей і перемикає зовнішні мережі 220/380В в разі аварії, на внутрішнє джерело енергії. Саме такі інвертори, які можуть одночасно працювати і від джерела змінного і постійного струму, називають гібридними. В разі, якщо постачання електричної енергії з мережі розподільчої компанії припиняється через аварію, або її постачання є нестабільним, ваша власна збережена енергія з АКБ та фотомодулів через інвертор використовується на побутові потреби.

Резервні системи ESS гарантують безперебійне забезпечення будинку електроенергією, незалежно від стану мереж розподільчої компанії.



Рис. 9.2. Гібридний інвертор ALPHA ESS SMILE 5 кВт

Гібридний інвертор Alpha ESS SMILE 5 з модульними літій-ферум-фосфатними (LiFePO₄) акумуляторами. Переваги рішення Alpha ESS SMILE 5:

- Універсальний, так як може встановлюватися у сонячних електростанціях, що працюють за «зеленим» тарифом, і в автономних – для забезпечення безперервного електропостачання;
- Заряд АКБ від фотомодулів та по нічному тарифу з мережі

- Гнучке налаштування режимів роботи та пріоритетів живлення.
- Модульні масштабовані від 1 до 6 акумулятори по 5,7 кВт * год, дозволяють обійтися без зовнішніх АКБ, мають високий ККД перетворення.
- Високий клас безпеки та надійності.
- Потужність інвертора оптимальна для будинку – 5 кВт/1 фаза/220В. (Під індивідуальні замовлення доступні версії 10кВт/3фази/380В)
- Привабливий дизайн та п'ятирічна гарантія.
- Важливі вбудовані пристрої моніторингу роботи станції за допомогою iOS або Android, а також за допомогою Web ресурсів.

Разом з таким інвертором ми встановлюємо довговічні набірні модульні АКБ LiFePo4 по 5 кВт*год, які можуть забезпечити до 30 кВт запасу ємності АКБ, що дозволить забезпечити до декількох днів повної автономності системи.



Рис. 9.3. Гібридні інвертори Victron Energy (EasySolar, MultiPlus, Quattro)

Дозволяють робити сонячні електростанції будь-якої складності: від зеленого тарифу до повної автономності і роботи з дизель-генератором. Гібридні інвертори голландської компанії Victron Energy В.В. виділяються гнучкістю та різноманітністю технічних рішень, модульним підходом до конструкції, високою якістю обладнання та

безпрецедентною надійністю. Лінійка інверторів цієї відомої фірми, дозволяє побудувати систему будь-якої складності. У випадку аварії в зовнішній мережі, АКБ увімкнуться моментально, час реакції системи не перевищує 2 мс.

Хорошим поєднанням, як ми відзначили спочатку, буде поєднання даних інверторів з зовнішніми LiFePO₄ АКБ корпорації BYD Co – одного з кращих у світі виробників акумуляторних батарей. Це літієво-залізо-фосфатні акумулятори різної ємності, з відмінною продуктивністю, і з високою ефективністю передачі енергії, 10 річною гарантією та високим ступенем безпеки.

Переваги рішення Victron Energy:

- Універсальний, так як може встановлюватися у сонячних електростанціях, що працюють за «зеленим» тарифом, і в автономних – для забезпечення гарантованого електропостачання;

- Модульність та гнучкість в розширенні системи в майбутньому

- Широкий спектр можливих технічних рішень

- Здатність працювати з дизель-генератором в якості резервного джерела

живлення

- Заряд АКБ від фотомодулів та по нічному тарифу з мережі

- Функція PowerAssist

- Гнучке налаштування режимів роботи та пріоритетів живлення.

- Зовнішні АКБ, які дозволяють набрати будь-який об'єм запасу електроенергії.

- Високий клас безпеки та надійності.

- Можливість каскадного підключення декількох інверторів потужністю до 10 кВт кожен, дозволяє використовувати їх як в приватних домогосподарствах, так і на підприємствах, в тому числі для побудови систем гарантованого енергозабезпечення.

- Енергомоніторинг власного споживання та генерації, енергобаланс будинку чи підприємства через WiFi та Web.



Рис. 9.4. Гібридний інвертор Імеон 3 кВт та 9 кВт

Що стосується інверторів моделей французької компанії **IMEON**, то хоч вони і представлені меншою кількістю типів по потужності – 3 кВт і 9 кВт, але теж мають цілком серйозні робочі характеристики. У них також є можливість працювати в режимі «зеленого» тарифу та резервної або автономної станції. А 10-ти річна гарантія надає даним приладам особливу привабливість.

Просте, зручне та комплексне рішення для малих (3кВт/220В) та середніх (9кВт/380В) домогосподарств, – гарантовано забезпечить Господарство електроенергією від сонячних панелей, АКБ або зовнішньої енергомережі. В комплекті з гібридним інвертором IMEON постачається smart-лічильник, який дозволить Вам контролювати енергобаланс вашого будинку з будь-якої точки світу, використовуючи мереже Інтернет, а також забезпечить функцію zero feed-in export в тих випадках, коли немає можливості підключити станцію до «зеленого» тарифу.

Переваги рішення IMEON:

- Рішення «все в одному»
- Для малих та середніх домогосподарств
- 1- та 3-фазне підключення
- Повний енергомоніторинг будинку та Ваша енергетична незалежність

- Можливість роботи з різними типами АКБ
- 10 років гарантії
- Універсальний, так як може встановлюватися у сонячних електростанціях, що працюють за «зеленим» тарифом, і в автономних – для забезпечення гарантованого електропостачання;

- Можливість каскадного підключення для збільшення пікової потужності системи

- Гнучке налаштування режимів роботи та пріоритетів живлення.

- Керування в режимі он-лайн за допомогою iOS, Android, Web, WiFi.

Безумовно, цей набір конфігурацій для вашої домашньої системи безперебійного забезпечення не є вичерпним і єдино можливим. Але в кожному конкретному випадку завжди буде правильніше звернутися до фахівців, які обов'язково підкажуть найоптимальніший варіант системи для вашого будинку.

Контрольні запитання

1. Опишіть принцип роботи гібридних електростанцій.
2. Які види гібридних електростанцій ви знаєте?
3. З чого складається гібридна електростанція?
4. Для чого потрібний гібридний інвертор?
5. Який на вашу думку найкращий інвертор? Чому?

Зміст звіту

1. Мета і програма роботи.
2. Електричні схеми.
3. Перелік обладнання і вимірювальних приладів.
4. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
5. Графіки залежностей.
6. Висновки.

Практична робота №10

Геотермальні електростанції

Мета роботи: ознайомитись з принципом роботи та будови малих геоТЕС

Теоретичні відомості

Геотермальна електростанція (геоТЕС) — електростанція, де геотермальна енергія (енергія глибинного тепла Землі) перетворюється на електричну.

Геотермальна енергія — це енергія, що отримується від природного тепла Землі з її глибинних шарів. Досягнути до цього джерела тепла можна за допомогою глибоких свердловин. Геотермічний градієнт у свердловині становить приблизно 1 °С на 36 метрів заглиблення. Це тепло доставляється на поверхню разом з паром або гарячою водою. Така теплова енергія може використовуватись як безпосередньо для обігрівання будинків, так і для виробництва електроенергії. Термальні регіони, що є багатими на доступну геотермальну енергію, зустрічаються у багатьох частинах світу.

За різними підрахунками температура у центрі Землі становить як мінімум, 6 650 °С. Швидкість вистигання Землі приблизно дорівнює 300...350 °С за мільярд років. Земля виділяє $42 \cdot 10^{12}$ Вт тепла, з яких 2 % поглинається корою й 98 % — мантиєю та ядром. Сучасні технології не дозволяють отримати доступ до тепла, яке виділяється надто глибоко, але і 840 000 000 000 Вт (2%) доступної геотермальної енергії можуть забезпечити потреби людства на тривалий час. Найкращим місцем для будівництва геотермальних станцій є місця навколо країв континентальних плит, так як земна кора у таких зонах є суттєво тоншою.

Коефіцієнт корисної дії геоТЕС у цілому є низьким і становить близько 7...10 %, тому що температура геотермального потоку є нижчою від температури пари, що виробляється типовим парогенератором на теплових електростанціях. За законами термодинаміки цей фактор і є лімітуючим у

ефективності роботи теплової машини, що перетворює теплову енергію у механічну роботу по приведенню у рух електричного генератора.

Підвищення ефективності роботи геоТЕС вимагає вищої температури геотермальних ресурсів та розробки спеціалізованих термодинамічних циклів. Оскільки надходження геотермальної енергії не залежить від зміни зовнішніх факторів так, як це спостерігається у вітроенергетиці чи геліоенергетиці, коефіцієнт використання встановленої потужності у геоТЕС може бути досить високим — до 96 %. Однак реально цей коефіцієнт станом на 2008 рік за даними IPCC становив 74,5 %

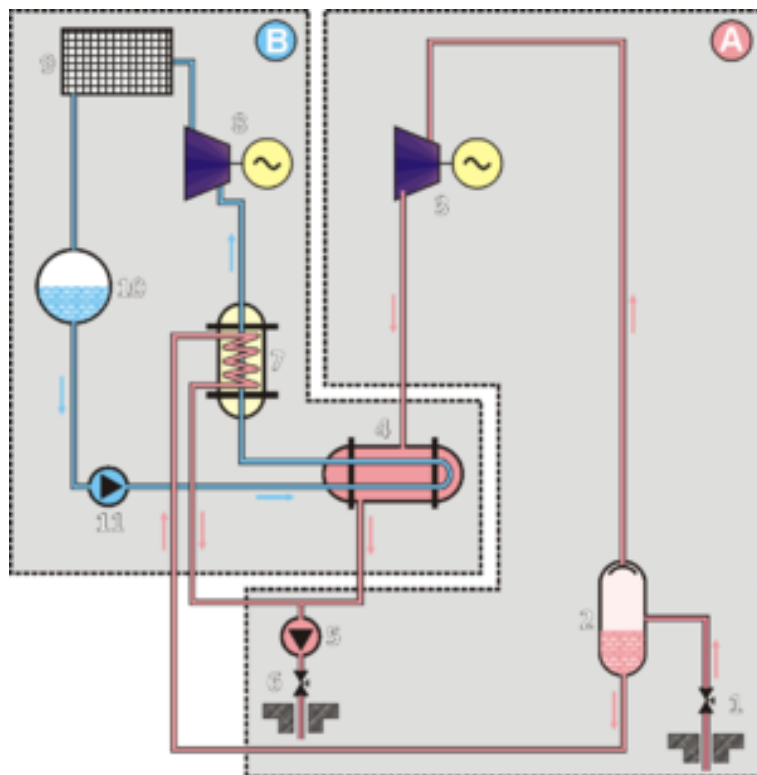


Рис. 10.1. Технологічна схема геотермальної електростанції з бінарним циклом:

(А) — перший (паровий) контур; (В) — другий контур (на ізобутані); 1 — експлуатаційна свердловина, 2 — сепаратор вода/пара, 3 — парова турбіна, 4 — теплообмінник, 5 — насос закачки, 6 — нагнітальна свердловина, 7 — перегрівач, 8- турбіна на ізобутані, 9 — повітряний/водяний конденсатор, 10 — конденсатозбірник, 11 — насос

Класифікація геоТЕС

ГеоТЕС можна розділити на три основні типи:

станції, які працюють на родовищах сухої пари (англ. dry steam power stations). Водяна пара із свердловини надходить безпосередньо у конденсаційну турбіну, з'єднану з електричним генератором, а з турбіни — у змішувальний конденсатор, де перетворюється на воду (конденсат). Далі вода потрапляє у підземний бак, з нього — в градирню, де охолоджується і повертається у конденсатор;

станції з пароутворювачем, які працюють на родовищах гарячої води під тиском (англ. Flash steam power stations). Гаряча вода із свердловини надходить спочатку у пароперетворювач, в якому нагріває конденсат первинної пари до кипіння;

станції з бінарним циклом, в яких геотермальна теплота передається вторинній рідині (наприклад фреону або ізобутану) і реалізується класичний цикл Ранкіна.

ГеоТЕС споруджують переважно в районах активного вулканізму.

Техніко-економічні показники таких електростанцій зазвичай перевищують показники електростанцій такої ж потужності, що працюють на рідкому паливі чи вугіллі.

За різними прогнозами потужність геотермальних станцій до 2030 р. зросте до 40–70 млн кВт.

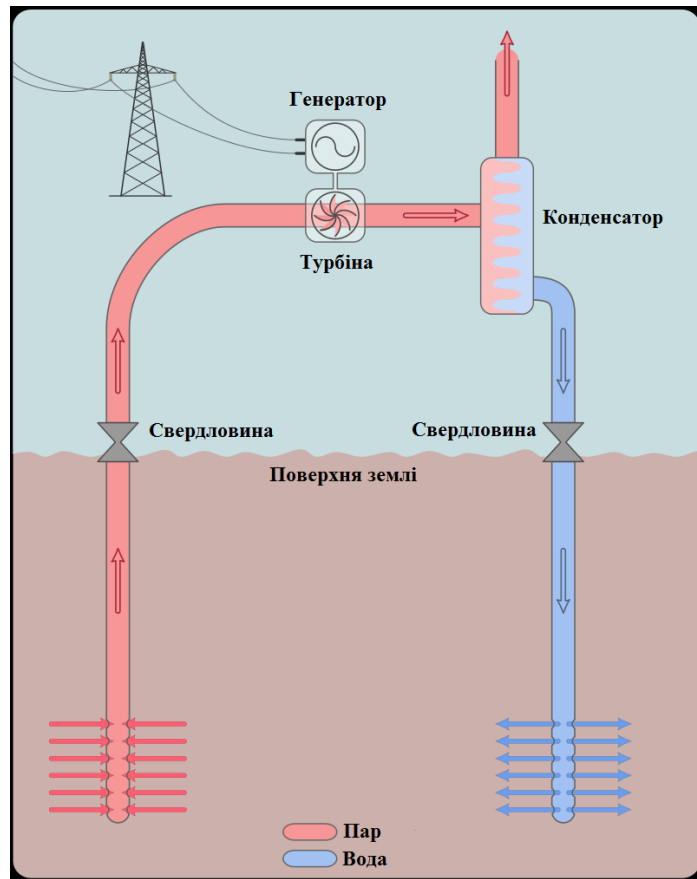


Рис. 10.2. ГеоТЕС на родовищі сухої пари

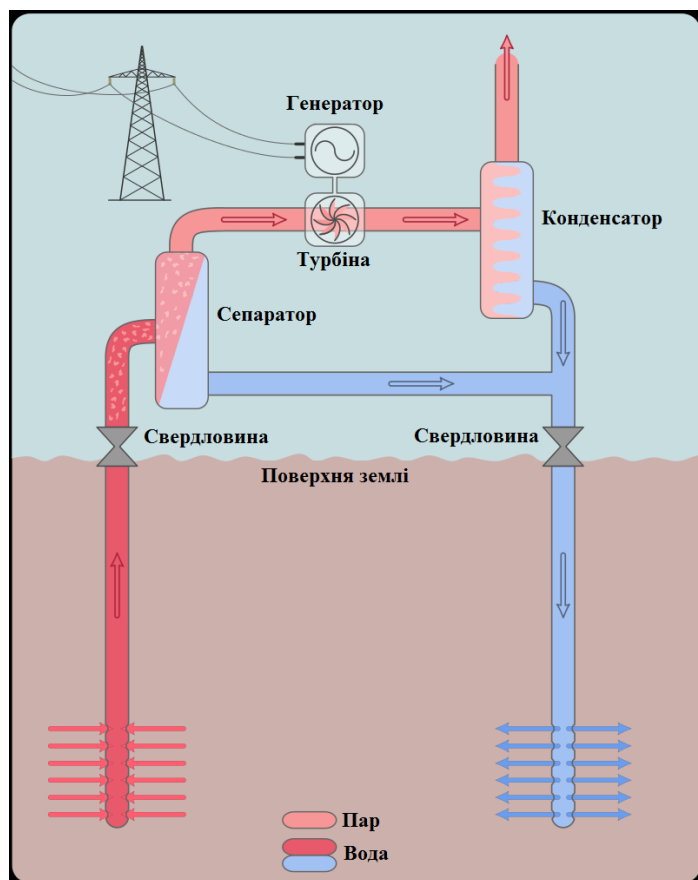


Рис. 10.3. ГеоТЕС з паротворювачем на родовищі гарячої води

Переваги й недоліки геотермальних електростанцій

Переваги

Головні позитивні фактори:

- *Відновлюваність.* Геотермальна енергія існуватиме доти, доки не охолоне наша планета. Підземні резервуари є природними сховищами гарячої води. На відміну від покладів нафти, газу, вугілля, ці резервуари постійно заповнюються водою.

- *Екологічність.* Вплив геотермальної енергетики на навколишнє середовище мінімальний. Існує певне забруднення, але воно дуже незначне в порівнянні з використанням викопного палива.

- *Надійність.* На відміну від сонячної та вітрової енергії, геотермальна є доволі передбачуваною. Потужність електростанцій можна визначити з високим ступенем точності. Не потрібно турбуватися по хмарний день чи відсутність вітру. Гаряча вода надходить з-під землі цілодобово.

- *Технологія швидко вдосконалюється.* Постійно з'являються нові рішення, що дозволяють використовувати підземну гарячу воду й пару більш раціонально. Це стосується й інших відновлюваних джерел енергії.

Недоліки

Негативні особливості геотермальної енергії:

- *Обмежена зональність.* На планеті існує доволі мало місць, де гаряча вода виходить з-під землі в достатній для будівництва електростанцій кількості. Найчастіше ці місця знаходяться далеко від населених пунктів.

- *Шкода для екології.* Хоча геотермальна енергетика є «зеленою», певний негативний вплив на природу все ж присутній. При переробці гарячої води виділяється певна кількість парникових газів.

- *Землетруси.* Буріння глибоких свердловин і викачування води з підземних резервуарів потенційно може призвести до тектонічних зсувів. В основному вони не є небезпечними через віддаленість термальних електростанцій від населених пунктів. Але зовсім ігнорувати цю небезпеку не можна.

- *Високі початкові затрати.* Буріння свердловини на глибину кілька кілометрів, будівництво електростанції, прокладання інфраструктури для передачі енергії вимагає значних коштів.

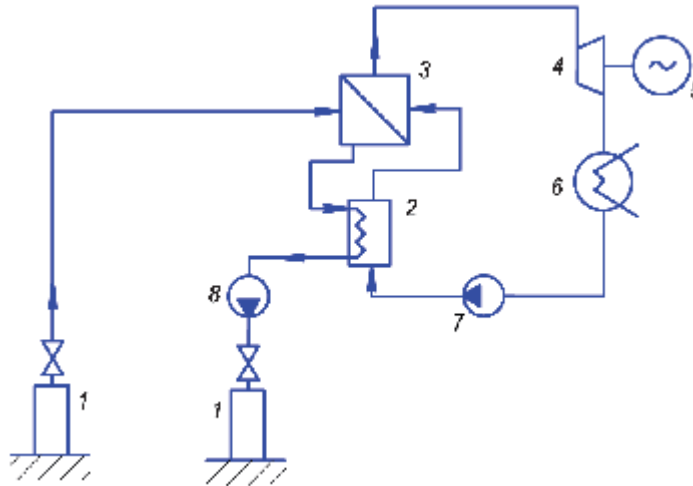


Рис. 10.4. Принципова схема двоконтурної геоТЕС:

1 – свердловина; 2 – теплообмінник; 3 – парогенератор; 4 – турбіна; 5 – електрогенератор; 6 – конденсатор з повітряним охолодженням; 7 – конденсатна живильна помпа; 8 – нагнітальна помпа ся територією станції;

Контрольні запитання

1. Опишіть принцип роботи гібридних електростанцій.
2. Які види геотермальних електростанцій ви знаєте?
3. З чого складається геотермальна електростанція?
4. Назвіть переваги й недоліки геотермальних електростанцій?
5. Геотермальна енергія - ...?
6. Який коефіцієнт геотермальної електростанції

Зміст звіту

1. Мета і програма роботи.
2. Електричні схеми.
3. Перелік обладнання і вимірювальних приладів.
4. Таблиці експериментальних і розрахункових даних.
5. Графіки залежностей.
6. Висновки.

Список Літератури

1. Козирський В. В. Електропостачання агропромислового комплексу. Київ: Аграр. освіта. 2011
2. Титко Р. Відновлювальні джерела енергії (Досвід Польщі для України) Варшава: 2010
3. Кривцов В. С., Олейніков О. М., Яковлев О. І., Невичерпна енергія. Книга 1. Вітроелектрогенератори Харків: ХАІ, 2004 -396с.
4. Кривцов В. С., Олейніков О. М., Яковлев О. І. Невичерпна енергія. Книга 2. Вітроенергетика. Харків: ХАІ, 2005 -503с.
5. Кривцов В. С., Олейніков О. М., Яковлев О. І. Невичерпна енергія. Книга 3. Альтернативна енергетика. Харків: ХАІ, 2010 -620с.
6. Кривцов В. С., Олейніков О. М., Яковлев О. І. Невичерпна енергія. Книга 4. Вітроводнева енергетика. Харків: ХАІ, 2010 -579с
7. Конструкції та розрахунок енергетичних засобів в сільському господарстві. Херсон: ХДТУ
8. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії Івано-Франківськ: Полум"я 2000
9. Гурский Д. А.. Вычисления в Mathcad.—Мн.: Новое знание, 2003,—814с.
10. Стаднік М. І. Оптимізація складу генеруючого обладнання автономного енергопостачання тваринницької ферми при використанні біогазу.
Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Всеукраїнський науково - технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» С.81-88. - Вінниця, 2018. - №2(101), - 150с
11. Стаднік М. І., АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ АГРЕГАТИВ МАЛОЇ ГЕС ТА РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ДО ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ. /Стаднік М. І., Васильківський В. А./ Вінницький національний аграрний університет .
Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Всеукраїнський науково - технічний

журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» С.73-80. - Вінниця, 2018. - №2(101) ,- 150с

12. Стаднік М. І., ВИБІР ВСТАНОВЛЕНОЇ ПОТУЖНОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ТА ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ /Стаднік М. І., Рубаненко О.О., Бондаренко С. В./ Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Всеукраїнський науково - технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» С.166-1175. - Вінниця, 2017. -№1(96) ,- 189с Вінницький національний аграрний університет

13. Стаднік М. І.,.ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА СОНЯЧНІЙ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ВІДНОСНО ЇЇ ВСТАНОВЛЕНОЇ ПОТУЖНОСТІ /Стаднік М. І., Рубаненко О. О., Бондаренко/ С.В Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Всеукраїнський науково - технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» С.213-220. - Вінниця, 2016. -№3(95) ,- 249с

14. Стаднік М. І., АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ВІННИЦЬКІЙ ОБЛАСТІ / Стаднік М. І. ,Рубаненко О. О., Бондаренко С. В./ Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Всеукраїнський науково - технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК» С.104-114. - Вінниця, 2016. -№2(94) ,- 128с.

Зміст

ВСТУП	3
ПРАКТИЧНА РОБОТА №1	
СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА	9
ПРАКТИЧНА РОБОТА №2	
ВІТРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	28
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3	
ГІДРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	42
ПРАКТИЧНА РОБОТА №4	
ТЕПЛОВІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	53
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5	
АВТОНОМНІ БІОГАЗОВІ МАЛІ ЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ	65
ПРАКТИЧНА РОБОТА №6	
ГІБРИДНІ СОНЯЧНІ СТАНЦІЇ	82
ПРАКТИЧНА РОБОТА №7	
АВТОМАТИЗАЦІЯ МАЛИХ ГЕС ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ МЕРЕЖІ	89
ПРАКТИЧНА РОБОТА №8	
ДИЗЕЛЬНІ ЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ	95
ПРАКТИЧНА РОБОТА № 9	
АВТОНОМНІ ТІ ГІБРИДНІ СЕС	104
ПРАКТИЧНА РОБОТА №10	
ГЕОТЕРМАЛЬНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	111
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	118