Міністерство освіти і науки України

Національний технічний університет

"Харківський політехнічний інститут"



КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни

«**ЕЛЕКТРИЧНІ ГЕНЕРАТОРИ ДЛЯ ВЕС і міні-ГЕС**»

для студентов специальности 141 «Электроэнергетика, электротехника

и электромеханика» специализации Электрические машины

проф. Шевченко В.В.

Харків – 2020

Лекція № 1

**ПРОБЛЕМИ ТА ОСНОВНІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ**

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ**

В даний час в нашій країні є значні невирішені проблеми, які є загальною причиною для всіх країн світу: забруднення навколишнього середовища; обмеженість копалин паливних і мінеральних ресурсів; безперервне зростання населення; значні втрати електроенергії. Поганий технічний стан електромереж, які недосконалі системи обліку викликають збільшення рівня втрат електроенергії: втрати в усіх мережах України складають близько 15-18%, а в деяких регіонах втрати через зношеності електромереж досягають і більш істотних значень. Основою силового енергетичного комплексу України є Об'єднана енергетична система (ОЕС), яка забезпечує централізоване енергопостачання власних споживачів і взаємодіє з енергосистемами сусідніх країн. В ОЕС входять електростанції енергогенеруючих компаній (14 ТЕС, 4 АЕС, 7 ГЕС і 1 ГАЕС, 97 ТЕЦ, 8 ВЕС, міні- і мікро-ГЕС, тощо), магістральні електричні мережі національної енергетичної компанії (НЕК) «Укренерго» і розподільні електромережі регіональних енергопостачальних компаній.

Середні показники за світовими енергосистем наступні: електростанції, які працюють на нафті - 38%, на природному газі - 20%, на вугіллі - 27%, що становить 85% від загального вироблення електроенергії. Решта 15% припадають на АЕС і на електростанції, працюють від поновлюваних джерел енергії. В Україні АЕС виробляють до 70 %. Загальна встановлена потужність енергосистеми України за різними джерелами оцінюється в 52900 МВт (за даними українських статистичних управлінь) або в 48000 МВт (за даними Європейського Банку Реконструкції та Розвитку). Загальна потужність 15 встановлених енергетичних блоків на 4 АЕС України становить 11800 МВт.

Стратегія розвитку атомної енергетики України, Росії, Китаю і ряду інших країн в першій половині XXI століття передбачає істотне зростання частки АЕС в балансі електроенергетики країни зі збільшенням виробництва електроенергії на них до 2020 р. більш ніж в 2 рази. Аналіз літературних джерел дозволяє зробити висновок, що зазначена завдання буде вирішуватися поетапно, шляхом підвищення одиничної потужності встановленого електрообладнання, продовження терміну служби АЕС першого покоління, добудови енергоблоків АЕС високого ступеня готовності, шляхом створення і введення в дію АЕС нового покоління з високими показниками рівня безпеки та економічності.

Рівень технічного оснащення та розвитку вітчизняного електромашинобудування, зокрема, заводу «Електроважмаш» (м. Харків), і результати попередніх конструкторських і технологічних розробок показують, що наша промисловість в змозі розробляти і виготовляти ТГ потужністю 1500 МВт як в тихохідному (1500 об/хв), так і швидкохідному (3000 об/хв) варіантах. В обох варіантах пропонується без водневий ТГ з повним водяним охолодженням, що забезпечує вибухо-пожеже-безпеку енергоблоку і володіє підвищеною надійністю внаслідок низького рівня нагрівання і вібрацій, високого ступеня досконалення конструкції. Зарубіжні фірми при створенні ТГ потужністю понад 1000 МВт орієнтуються на чотириполюсні виконання з частотою обертання 1500 об/хв. (50 Гц) або 1800 об/хв. (60 Гц). Це генератори потужністю 1150 - 1360 МВт, виготовлені в Японії (Міцубісі), США (Дженерал Електрик, Вестінгауз), Німеччини (Крафтверкюніон), Швейцарії (Броун Бовері). Найбільшою потужності 1485 МВт досягла Франція (Альстом).

В даний час більшість віддалених споживачів, які не мають централізованого електропостачання, отримують електроенергію від дизельних електростанцій. Дорожнеча дизельного палива призводить до збоїв в електропостачанні, простою підприємств, дискомфортним умов існування населення. У той же час енергозабезпечення об'єктів, розташованих в районах з хорошим вітровим потенціалом доцільно здійснювати від вітроелектричних установок (ВЕУ) з високонадійними магнітоелектричними синхронними генераторами (СГ) при безпосередньому приводі від вітротурбін.

Генератор приводиться в обертання вітродвигунами безпосередньо без мультиплікатора. Стабілізація параметрів електроенергії здійснюється за допомогою перетворювача типу випрямляч - інвертор напруги. Споживачі, які не вимогливі до якості електропостачання, підключаються безпосередньо до затискачів СГ. З огляду на можливість одиничного або дрібносерійного виробництва, з метою зниження вартості обладнання було прийнято рішення вивчити можливість виготовлення генератора ВЕУ на базі освоєних промисловістю машин суміжного класу. Тоді існуюча технологічне оснащення і налагоджене виробництво дозволять значно скоротити терміни і вартість його виготовлення. Разом з тим, через низьку швидкості вала вітротурбіни в оптимальному варіанті електрична машина повинна мати відносно великий зовнішній діаметр *D* при малій довжині. Орієнтація на серійно випускається змушує трохи відійти від бажаних співвідношень D/*l*, проектуючи вітрогенератор на заданому діаметрі. Згідно з проведеними розрахунками, в якості генераторів вітроенергетичних установок слід вибирати синхронні генератори (на потужність до 5 кВт) або асинхронні генератори (на великі потужності).

Техніко-економічні показники магнітоелектричної синхронної машини залежать як від властивостей постійних магнітів, так і від виконання магнітних систем статора і ротора. При виборі конструкції генератора зіставлені два типи компонування ротора: з радіальним і тангенціальним намагнічуванням постійних магнітів. Порівняльні розрахунки показали, що в даному випадку перевагу слід віддати другому варіанту з традиційною пазової структурою статора і масивними полюсами на роторі.

Коли СГ працює на напівпровідниковий перетворювач, номінальні значення частоти і напруги на його затисках можуть бути обрані з міркувань економічності та експлуатаційної надійності. Енергетично доцільно встановлювати машини з частотою вироблюваного напруги не менше 400 Гц. Це положення, зокрема, відкриває можливості вибору числа полюсів 2*р* з умови мінімізації витрат постійних магнітів і побудови раціональної схеми обмотки статора при заданому числі пазів серійного прототипу.

Розглянемо дані дослідного зразка вітрогенератора з наступними номінальними даними: *S*ном = 10 кВА; *U*ном = 230 В; *n*ном = 300 об/хв. при *f* = 105 Гц; *m* = 3; постійні магніти *Nd*2*Fe*14*В*; залишкова індукція *Вr* = 0,82 Тл; коерцитивної сила *НС* = 75·104 А/м; генератор розроблений для використання в районах з високими швидкостями вітрового потоку. В даному випадку номінальна швидкість вітру *V* = 13,6 м/с, діаметр вітроколеса *D* = 4,5 м.

Перевагами СГ є проста технологічна конструкція, невисока вартість, можливість швидкої наладки виробництва. Завдяки полому ротора і застосування для ряду конструктивних елементів матеріалів з малою питомою вагою вдалося знизити масу індуктора і генератора в цілому. Як недолік машини можна відзначити деяке збільшення витрати активних матеріалів при використанні статора серійної асинхронної машини.

В даний час найбільш часто в якості генераторів вітроенергетичних установок (ВЕУ) використовують асинхронні генератори (АГ). АГ можна класифікувати за наступними показниками: за способом збудження; за характером вихідної частоти (постійна, змінюється); за способом стабілізації напруги; за конструктивним виконанням (з короткозамкненим, фазним, порожнистим ротором); по числу фаз.

Характер вихідний частоти і методи стабілізації напруги в значній мірі обумовлені способом освіти магнітного потоку машини. Класифікація АГ за способом збудження є основною. Залежно від способу збудження розрізняють генератори з самозбудженням і з незалежним збудженням.

Використання енергії поновлюваних джерел в даний час є одним з пріоритетних напрямків розвитку світової енергетики. Основною перевагою поновлюваних джерел енергії є їх невичерпність та екологічна чистота, що сприяє поліпшенню екологічної ситуації і не призводить до змін енергетичного балансу на планеті.

Розвиток вітроенергетики в Україні перспективне в першу чергу в екологічному плані і створює перспективи реального зменшення рівня застосування викопного палива, за рахунок чого зменшуються рівні шкідливих викидів і забруднення навколишнього середовища. З точки зору екології, розвиток вітроенергетики особливо важливо для курортно-туристичних зон України, розташованих на півдні і в Карпатах, є найбільш сприятливими для будівництва вітроелектростанцій (ВЕС). Виходячи з планованого розширення використання енергії вітру на території України слід встановити параметри, що визначають ефективність експлуатації вітроенергетичних установок (ВЕУ), встановити, що визначає рентабельність їх застосування, визначити технічні параметри, що визначають доцільність їх будівництва і експлуатації.

У зв'язку з тим, що запаси викопного палива є вичерпними, а відходи теплових і атомних електростанцій сприяють забрудненню навколишнього середовища, питання використання екологічно чистих способів виробництва електроенергії актуальний для світової громадськості і обговорюється вже не перше десятиліття. У періодичних виданнях постійно обговорюються проблеми стан і розвиток вітроенергетики в країнах Європи і власне можливість використання енергії вітру. Розгляд проблем, пов'язаних з вітроенергетикою, актуально і для України.

Більшість авторів сходяться в тому, що вже сьогодні Україна має досвід будівництва та експлуатації сучасних ВЕС. Безумовно, відзначають вони, існує ряд проблем для розвитку вітроенергетичної галузі, але майже всі вони вирішувані.

Основними з негативних факторів, які обмежують розвиток вітроенергетики в Україні, є:

- недосконалість нормативного та правового забезпечення в усіх напрямках освоєння ВЕУ;

- відсутність економічної стимулюючої політики держави;

- недостатній рівень фінансування науково-дослідних і конструкторських розробок;

- недостатня інформованість і консерватизм потенційних виробників і споживачів.

Однак, зазначають вони, останнім часом роботи по впровадженню відновлюваних джерел енергії отримали державну підтримку - прийнятий ряд державних програм з освоєння поновлюваних, нетрадиційних і вторинних джерел енергії, а також впровадження енергозберігаючих технологій.

На сьогоднішній день в Україні створено науково-технічні основи вітроенергетичного комплексу та розпочато його практичне використання. На їхню думку, основні результати роботи, отримані станом на початок 2003 року, полягають у наступному:

- визначено вітроенергетичний потенціал, можливості та перспективи розвитку вітроенергетики на території країни;

- освоєна технологія і організовано серійне виробництво ВЕУ на машинобудівних заводах;

- спроектовані, побудовані та введені в експлуатацію перші черги ВЕС;

- ведеться робота зі створення нормативно-правової та нормативно-технічної бази вітроенергетики.

Отже, як вже було сказано вище, вітроенергетичний потенціал в Україні існує, але він має недостатньо ефективний характер. Причиною цього (стосовно до вже існуючих ВЕС) стало використання метеоданих при проектуванні вітроелектростанцій, що мають загальний характер і велику похибку. Відсутність досвіду проектування на перших етапах розвитку вітроенергетики, а також сучасних комп'ютерних засобів аналізу привело до того, що якщо ВЕУ на майданчиках ВЕС встановлені неоптимальним чином, то за оцінками фахівців ефективність ВЕУ знижується на 15 - 20%.

Крім того, в процесі освоєння ліцензійного виробництва ВЕУ *USW* 56-100 були проблеми з ненадійністю окремих вузлів, що призвело до втрати робочого часу і зниження коефіцієнта технічної готовності, а відповідно і до зниження ефективності ВЕУ. Але, як стверджують вони, поступово проблеми знаходять своє рішення. Поліпшується якість українських комплектуючих і використовуваних матеріалів. Закуповується і використовується сучасна апаратура для реєстрації параметрів потоку вітру. Для розміщення ВЕУ на майданчиках ВЕС використовуються комп'ютерні програми. Прикладом тому може служити Тарханкутська вітроелектростанція, розроблена за допомогою програми *WindFarm* і урахуванням попередніх вимірювань вітрового потоку, що дозволило підвищити коефіцієнт використання встановленої потужності ВЕУ *USW* 56-100 до проектних величин 0,14 - 0,20.

Введення в експлуатацію перших черг Донузлавській, Мирновская, Новоазовської, Тарханкутської і Трускавецької промислових вітроелектростанцій дозволило Україні вийти в 2002 році на 13 місце в Європі по загальній встановленій потужності вітроелектростанцій (44,9 МВт). Станції функціонують в умовах Енергоринку України і за станом на 01.02.2003 виробили понад 63 млн. кВт-год електроенергії.

Вітроенергетика - екологічно чиста галузь енергетики і спосіб зменшення техногенного впливу на навколишнє середовище, яка заснована на використанні невичерпного джерела енергії і в сучасних умовах відноситься до перспективних технологій, що дозволяє зберігати ресурси. Вітроенергетика дозволяє економити органічне та ядерне паливо для виробництва електроенергії, зменшити транспортні витрати на перевезення палива, виключити з господарського обороту витрати на вивезення та захоронення відходів атомних електростанцій, золи та шлаків теплових електростанцій. При виробництві електроенергії на ВЕС відсутні викиди в атмосферу оксидів азоту, сірки та інших речовин, які сприяють створенню парникового ефекту і негативно впливають на людей, флору і фауну.

Робота ЕС України зі зниженою частотою унеможливила регулювання перетоків з суміжними ЕС і, відповідно, змінила режими роботи міждержавних зв'язків України.

**Хронологія цих змін така:**

- починаючи з 1993 р припинена стійка паралельна робота з ЄЕС Росії (в розрізі року здійснюються як паралельні, так і роздільні роботи)

- У 1995 р від України відокремилися ЕС Польщі, Чехії та Словаччини;

- З 1997 р, відключені міждержавні зв'язки з ЕС Болгарії і Румунії. Робота електричних мереж ЕС України в частково-ізольованому або ізольованому режимах характеризується низкою факторів, що призводять до зниження надійності електропостачання споживачів і зниження економічності роботи, а саме:

- зміною напрямку перетоків потужності в мережах (орієнтація в напрямку «захід-схід»); граничної завантаженням зв'язків внутрішніх перетинів;

- практичною неможливістю отримання взаємодопомоги від суміжних ОЕС в аварійних режимах;

- складністю регулювання частоти і, в зв'язку з цим, роботою зі зниженою частотою і необхідністю введення значних обсягів примусових обмежень постачання споживачів (для чого застосовуються графіки аварійного відключення - ДАТ, відключення центрів харчування - ЦП, спеціальна автоматика відключення навантаження - САОН, спеціальні графіки місцевої розвантаження - СГМР);

- граничної завантаженням ВЛ 330 кВ центральних районів України в режимах зупинок газо-мазутних блоків за умовою топливо-забезпечення;

- складністю проведення ремонтних робіт на ПЛ міжсистемних транзитів (неможливість відключення) і на прилеглих до них ВЛ;

- розвантаженням основних системо-утворюючих мереж 330 - 750 кВ західних регіонів і, відповідно, збільшенням напруги понад допустимі величин в мережах 110 кВ і вище західних і центральних регіонів.

Одним з найважливіших стратегічних напрямків розвитку ЕС України на перспективу є перехід на паралельну роботу як з енергооб'єднанням СНД, так і з ЕС Європейських країн. Вирішення цієї складної технічної задачі забезпечить не тільки підвищення надійності та безпеки енергопостачання, а й дасть можливість отримання валютних коштів (за рахунок експортних поставок електроенергії), необхідних для реконструкції і модернізації об'єктів ЕС. Здійснення режимів спільної роботи з Європейськими країнами можливо тільки після реалізації заходів по приведенню ЕС України у відповідність до вимог каталогу UCPTE / CENTREL. Заходи поділяються на технічні та організаційні. До технічних заходів належать забезпечення резерву потужності на станціях не нижче 20-25% пікового споживання, швидкість відпрацювання автоматичних систем первинного регулювання - не нижче 2,5% / 5-30 с, наявність централізованої системи вторинного регулювання, відповідність критерію "N-1" забезпечення відхилення частоти в межах ± 0,5 Гц. Організаційні заходи стосуються забезпечення виконання договорів і взаємних угод і ін.

Для реалізації вимог Каталогу в Україні будуть потрібні значні інвестиції і досить тривалий період часу.

**Лекція № 2**

**УМОВИ ЕФЕКТИВНОЇ РОБОТИ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК**

Для ефективної роботи ВЕУ необхідною умовою є виконання певних вимог до їх розміщення. Так, для щодо постійної роботи ВЕУ потрібно їх розміщення в місцевостях, де вітровий потенціал становить не менше 2500 годин на рік. Ідеальні місця для використання енергії вітру - протяжні, продуваються з усіх боків рівнини, розташовані на височинах. Саме на таких територіях середньорічна швидкість вітру перевищує 5 м/с, що забезпечує ефективну роботу ВЕУ.

Основний вплив на клімат і, як наслідок, на вітровий режим території України мають Атлантичний і Північний Льодовитий океани, Карпати, Подільські, Волинські та Придніпровські височини, Донецький кряж і Кримські гори, близькість Чорного і Азовського морів, а також рівнинний характер місцевості (Причорноморська низина).

За середньорічним швидкостям вітру (більше 5 м/с) можна виділити сім регіонів і дві зони. До регіонів належать Карпатський, Причорноморський, Приазовський, Донбаський, Західно-Кримський, Східно-Кримський, до зон - Харківська і Полтавська.

Значить, в цілому досить великі площі України в різних регіонах сприятливі для будівництва ВЕС. Сумарна потужність ВЕУ станом на 1 вересня 2003 року по даними [8] в Україні становить 50,3 МВт. За даними [7], сумарна потужність в кінці 1999 року дорівнювала 11,4 МВт, а в кінці 2000 року вже 24,15 МВт. Таким чином, приріст склав більше 100%. Україна залишається єдиною країною колишнього Радянського Союзу, в якій активно розвивається вітроенергетика. Тут налагоджено серійне виробництво вітроагрегатів. Поки це ліцензійні ВЕУ USW56-100 потужністю 107,5 кВт.

Загальна потужність перспективних ВЕС в Україні оцінюється в 16000 МВт з можливою річним виробленням електроенергії близько 30 млрд. кВт/год. При цьому потужність ВЕС в складі енергетичної системи не повинна перевищувати величини генеруючого резерву, приблизно 7500 МВт.

Однак, в деяких джерелах [5] вказується на певний негативний вплив вітроенергетичних установок на геокліматичний стан районів, в яких вони розташовані на великій площі і в великій кількості. Також вітроенергетичні установки можуть чинити негативний вплив на біологічні об'єкти. Цей аспект також необхідно враховувати.

**Висновки.** В умовах великої залежності України від закордонних поставок енергоносіїв, проблем вітчизняної теплової та атомної енергетики, використання енергії вітру стає для країни особливо актуальним. На думку експертів, вітроенергетика є одним з найбільш ефективних напрямків розвитку української енергетики. Для цього в Україні є всі необхідні умови. З одного боку, це досить значний вітровий потенціал, який, за оцінками фахівців, становить понад 500 млрд. кВт-год на рік. З іншого боку, це наявність науково-виробничого потенціалу для виробництва вітроагрегатів. Вченими підраховано, що існує можливість будівництва в різних регіонах України ВЕС потужністю понад 16000 МВт, що допоможе покрити 20 - 30% загального обсягу електроенергії, споживаної в країні.

**Вибір конструктивних рішень вітроенергетичних комплексів малої і середньої потужності.** Загальносвітові проблеми електроенергетичного комплексу вимагають, як збільшення встановлених потужностей, так і зниження втрат у вже працюючих установках і системах. Зберігається завдання створення економічних, з хорошими технічними і експлуатаційними характеристиками генераторних блоків, тип яких визначатиметься з урахуванням географічних особливостей регіону, енергоносія, необхідної потужності електроенергії. Крім того, намітилася тенденція відмови від єдиної моно-енергетики для всієї країни, не залежно від типу виробництва, з метою переходу до сучасної структури генерування і розподілу теплової і електричної енергії – полі-енергетиці.

Перспективи використання вітроенергетики (ВЕ) неодноразово розглядалися різними авторами, але ці роботи були присвячені окремо схемам включення, окремо - системам управління. Багато робіт присвячені питанням вибору генераторів для вітроенергетичних установок (ВЕУ) Матеріали, представлені в статті, базуються на публікаціях по нетрадиційній енергетиці, на даних досліджень, представлених в матеріалах конференцій і в наукових журналах.

У структуру енергокомплексів різних країн нетрадиційна енергетика входить з різною питомою вагою: у країнах центральної Європи (Голландія, Данія) нетрадиційна енергетика забезпечує до 80 % потреб в енергії, в США, Німеччини – за різними джерелами – до 20 % з постійною тенденцією наростання встановлених потужностей, в Україні – до (3 – 5) %.

Поєднання напрямів нетрадиційної енергетики в різних країнах найрізноманітніше: у країнах з достатніми гідроресурсами перевагу віддають гідроенергетиці, яку також відносять до поновлюваних джерел, в країнах з неенергоємною промисловістю – це вітроенергетика, енергетика на біогазах, торфі і навіть дровах, паперових кульках, стружці і тирсі. Для України перспективна, в деякій мірі, вітроенергетика.

Нетрадиційна енергетика, зокрема, вітроенергетика, не може замінити класичні теплові електростанції. Більш того, на наш погляд, майбутнє промислово розвинених країн, все-таки, неможливе без атомної енергетики. Звичайно, на АЕС існують серйозні проблеми і, в першу чергу, проблема поховання радіоактивних відходів. Пошук рішення цієї проблеми не припиняється: є цікаві пропозиції по повторному використанню тепловиділяючих елементів (ТВЕЛ-ів) першого круга експлуатації, так звана мала енергетика, шукають рішення по очищенню «заражених» ТВЕЛ-ів, створенню нових конструкцій з продовженим терміном служби (у елементах, званих ТВСА, замість 1,5-2 років термін експлуатації 4,5 - 5 років). Є технології по їх переробці після 25-30 літньої витримки в басейнах і т.ін.

Проблеми класичних ТЕС нерозв'язні, оскільки використання органічного палива має кінцеву межу, викиди в атмосферу йдуть щохвилини, проблеми зольних відвалів на сьогодні також не мають остаточного рішення. Значні зміни можливі тільки у разі відкриття принципово нових джерел енергії і способів їх перетворення в промислово прийнятні види. Створення гідроакумулюючих і парогазових електростанцій дозволить певною мірою вирішити питання покриття пікових навантажень і близько розташованих електроприймачів. Проте використовувати їх потужності для видалених і малопотужних споживачів нерентабельне. До цієї групи споживачів слід віднести окремі фермерські господарства, кордони лісників, пасіки, дачі, невеликі гірські селища і т.д. Відсутність розвинених ліній електропередач, достатньо великі відстані роблять можливим забезпечення електроенергією цих споживачів тільки за рахунок автономних джерел енергії – дизельних електроустановок, сонце- і вітроустановок.

Для вирішення подібних проблем основну роль грають вітроустановки невеликої потужності. Отже, для підтримки рівня життя в дрібних населених пунктах і в одиничних господарствах необхідно створювати системи малих енергоустановок. Мала вітроенергетика не вимагає великих територій. Локальні вітроенергетичні установки (ВЕУ) можуть бути встановлені практично скрізь, де середньорічна швидкість вітру не менше 4-5 м/с, а для тихохідних багатолопастевих ВЕУ не менше 3 м/с.

Проведемо оцінку рекомендованих рішень на прикладі даних експлуатації вітроагрегата АВЕ-250С Аджігольської вЕс виробництва НВО "Південне" (спільно з НВО "Ветроен") потужністю 250 кВт, який забезпечує електроенергією СМТ Леніно.

основні дані вітроагрегату: діаметр вітрового колеса 25 м; розрахункова швидкість вітру 14 м/с; робочий діапазон швидкостей від 5 до 30 м/с; швидкість при бурі - до 60 м/с; 3 лопаті вітрового колеса; частота обертання вітрового колеса 47,7 об/хв.; висота осі обертання 25 м; робочі температури від (-50)ОСдо (+40)ОС; вироблення електроенергії 0,5-1,0 млн. кВт.год; термін служби 25 років; характеристики трифазного струму 400 В, 50 Гц, рис. 2.1. Повний обертаючий момент Q, що діє на ротор, може бути розрахований, як сума всіх обертаючих моментів, направлених по осі лопаті вітротурбини, помножений на число лопатей. Повна потужність, що виробляється вітрогенератором, рівна твору повного обертаючого моменту Q на значення кутової швидкості ротора генератора Ω.

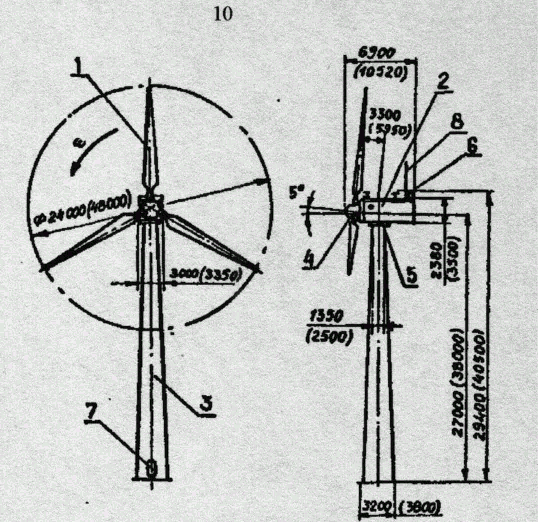


Рисунок 2.1 - Загальний вигляд і основні розміри ВЕУ Р-250 і Р-1000

(цифри в дужках). 1 - лопать вітрового колеса; 2 - головка ВЕУ; 3 - башта;

4 - обтічник вітрового колеса; 5 - опорно-поворотний пристрій; 6 – датчики

системи управління ВЕУ; 7 – експлуатаційний люк; 8 - громовідвід.

Максимально можливе значення потужності, яку реально можна одержати від вітроустановки, в порівнянні з теоретично можливим значенням, визначається співвідношенням 16/27 (59,3 %). Це відбувається у випадку, якщо швидкість вітру на вільному просторі («вільна швидкість») зменшується в три рази, тобто коли інтерференційний показник αθ = 1/3. Значення 59,3 % часто називають межею Betz-а в теорії вітротурбин і з вертикальною, і з горизонтальними осями.

Більшість виробників ВЕУ при виготовленні лопатей турбін обирають зігнуті контактні поверхні. орієнтовно величина електроенергії, що виробляється, в рік може бути розрахована:

*Е* = *К*\**Vm*3\**At*\**N*, кВт\*год

де *К* = 3,2 – чисельний коефіцієнт, одержаний для типових характеристик роботи вітрогенератору, знання приблизного значення середньої швидкості і частоти зміни швидкості вітру; *At* **-** перетин поверхні, що утворюється лопатями вітро-турбіни, м2; *Vm* **–** середньорічна швидкість вітру через перетин поверхні, що утворюється лопатями вітро-турбіни, м/с; *N* **–** число вітроенергетичних установок, шт.

Нижче в графічному вигляді (рис. 2) представлено результати статистичної обробки, одержані за період пробної експлуатації вітроагрегатів АВЕ-250С Аджігольськой вЕс. В даний час там встановлено 24 ВЕУ потужністю по 250 кВт. На рис. 3 приведено дані по виробленню електроенергії, які одержано відповідно до річного графіка залежності вироблення електроенергії протягом року, побудованому для одного генератора. Тип генератора для ВЕУ - асинхронний з к.з. ротором, з жорстким кріпленням симетричних лопатей вітротурбіни з горизонтальним валом. Протягом доби швидкість вітру міняється і міняється величина електроенергії, що виробляється. Величину електроенергії, що виробляється, одержуємо, умножаючи число годин роботи при однаковій швидкості на відповідну потужність вітротурбіни, одержану з графіка на рис. 2.2.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рисунок 2.2 – Залежність потужності від швидкості вітру  *N* = *f*(*V*) вітроагрегату АВЕ-250С | Рисунок 2.3 – Типова крива залежності  потужності ВЕУ від швидкості обертання  вітротурбіни |

На рис. 2.3. представлений типовий варіант вироблення електроенергії ВГ залежно від швидкості вітру. На представленій гістограмі розглянута покрокова швидкість вітру із зміною в 1 м/с. Це виконано в межах операційного ряду зміни швидкості вітру для вітротурбіни (тобто між входом і виходом повітря).

Ці дані можуть використовуватися для побудови графіка вироблення електроенергії протягом року з урахуванням зміни швидкості вітру. Графік на рис. 1.4. показує величину електроенергії, що виробляється, протягом 1-го року одним генератором при характеристиці *Р* = *f*(*V*) (рис. 2.4) і графіка залежності вироблення електроенергії від швидкості обертання вітрогенератора (рис. 2.5).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Час роботи однієї ВЕУ на протязі року, години, | Швидкість вітру, м/с | Рисунок 2.4 – Залежність вироблення електроенергії від швидкості вітру для ВГ на протязі року  по годинам |
| Величина електроенергії, яку виробляє ВЕУ протягом року, кВт\*год | Швидкість вітру, м/с | Рисунок 2.5 – Залежність кількості вироблення електроенергії від швидкості вітру для ВГ по годинам на протязі року, кВт\*год |

Чим довший інтервал часу вимірювання, тим точніше оцінка розподілу швидкості вітру. Потужність залежить від швидкості вітру в кубі, тому навіть маленька помилка у визначенні швидкості може привести до великої погрішності при встановленні величини електроенергії, що виробляється.

Перші ВЕУ вже відпрацювали 10-15 років і потребують капітальних ремонтів і модернізації. Для підвищення потужності встановлених ВЕУ пропонується змінити систему кріплення вітротурбіни з жорсткою на м'яку, що дозволить збільшити потужність. Також слід використовувати сталеві лопаті замість склопластикових, що дозволить подовжити термін служби на 10 %.

Т.ч., при зміні системи механічного кріплення, зміни типу лопатей вітротурбини, установці регульованих по частоті обертання ВЕУ для встановлених АГ можна в тих же установках одержати потужність

Nнове = (27/16)\*NВстановлене

Nнове= (27/16)\*250 = 420 кВт

Завдання розв'язувалося із залученням математичного апарату теорії випадкових функцій. Згідно з цією теорією зміни швидкостей вітру можна розглядати, як елементи випадкового процесу V(t) на вітровому полі ВЕС в годинах проходження максимуму навантажень. Вони дають можливість розрахувати мінімальну швидкість вітру, прояв якої можна чекати із заданою вірогідністю на ВЕС протягом доби в години максимуму.

Теоретичні принципи визначають також механізм розрахунку «очікуваної» швидкості вітру для обґрунтування економічної ефективності ВЕС.

1. Для ВЕУ сільських регіонів слід встановлювати АМ з к.з. ротором, які, в порівнянні з іншими типами, найбільш надійні, дешеві хоч і не позбавлені недоліків.

2. До недоліків ВЕУ з (АГ) слід віднести:

1) АГ з к.з. ротором не дозволяють управляти режимними параметрами, що буває необхідно при поривчастому вітрі.

2) Для роботи будь-якої АМ в генераторному режимі необхідна реактивна потужність. А оскільки такі ВЕУ найчастіше працюють в автономному режимі, то для них необхідне автономне джерело реактивної потужності.

3) АГ обмежені в промисловому застосуванні із-за спотвореної форми вихідної напруги і незадовільних динамічних властивостей.

3. Якщо на ВЕС використовуватимуться сучасні ВЕУ із заввишки башти 60 м і при очікуваній швидкості вітру, рівній 5,32 м/с, потужність ВЕС, що виробляється, досягає 23 % від встановленої. Тобто очікувана потужність може бути навіть не 16/27 (59,3 %) від встановленої паспортної, а ще менше.

4. До достоїнств використання АГ для ВЕУ слід віднести простоту в обслуговуванні самої машини, її надійність, відносно невисоку вартість. При паралельній роботі такі генератори мають порівняно малі коливання потужності, що генерується, електромагнітного моменту і струму при змінній швидкості вітру і навіть його поривах.

Вибір розрахункових параметрів для кожної конкретної вітроустановки полягає у визначенні розрахункової швидкості вітру, одиничної потужності і розмірів вітроколеса, встановленої потужності і типу ЕМ, визначення системи регулювання, умов монтажу і експлуатації ВЕУ. Таким чином, вибір типу генератора для ВЕУ слід віднести до найважливіших питань вітроенергетики. Різні організації всього світу проводять дослідження по використанню нових і вдосконаленню вже встановлених генераторів. У Греції (університет в Афінах) досліджують можливість використання асинхронізованого генератора подвійного живлення; у Великобританії (Ноттінгем) – комутований реактивний синхронний генератор; у Нідерландах і Шотландії розроблений керований реактивний синхронний генератор для безредукторної установки; у Японії (р. Хатінойе) досліджували роботу асинхронного генератора (АГ) з короткозамкненим ротором, оснащеного системою управління тиристора реактивною потужністю в колі статора для зниження пускових струмів і так далі. Але всі ці генератори в Україні не мають баз виробництва і при сучасному стані економіки не зможуть бути запропоновані до промислового випуску. Тому для України, на наш погляд, прийнятне використання класичних типів генераторів або генераторів спеціального, але більш традиційного, виконання.

Найбільше поширення в даний час в діапазоні потужностей від декількох кВт до одного-двох МВт отримали АГ з короткозамкненими (к.з.) ротором. До недоліків ВЕУ з асинхронними генераторами слід віднести: необхідність встановлення редукторів, АГ з к.з. ротором не дозволяють управляти режимними параметрами, що буває необхідно при поривчастому вітрі, для роботи будь-якої асинхронної машини в генераторному режимі необхідна реактивна потужність. А оскільки такі ВЕУ найчастіше працюють в автономному режимі, то для них необхідне автономне джерело реактивної потужності, АГ обмежені в промисловому вживанні із-за спотвореної форми вихідної напруги і незадовільних динамічних властивостей.

До достоїнств використання АГ для ВЕУ слід віднести простоту в обслуговуванні самої машини, її надійність, відносно невисоку вартість.

При паралельній роботі такі генератори мають порівняно малі коливання потужності, що генерується, електромагнітного моменту і струму при змінній швидкості вітру і навіть його поривах.

Класичні по конструкції синхронні генератори з електромагнітним збудженням встановлюються на установках або малою, або дуже великій потужності. Технологія виготовлення і досвід розрахунку таких машин дозволяє встановлювати потужні безредукторні установки (потужністю до 2 МВт) з хорошими масогабаритними показниками, високим ККД і можливістю регулювати напругу в широких межах за рахунок зміни струму збудження. До недоліків вживання СГ у ВЕУ слід віднести: вищу вартість, складність конструкції, нижчу надійність, ніж в асинхронних машин; наявність ковзаючого контакту і необхідність в джерелі постійного струму для обмотки збудження; в СГ існує жорстка залежність частоти такою, що генерується ЕДС від швидкості валу. Якщо вітер нестабільний, то в генераторі з'являються високі значення змінних складових в режимних параметрах, погіршується робота таких генераторів паралельно з мережею. Це обмежує, а в регіонах з різкими поривами вітру робить неможливим, використання синхронних генераторів для прямого включення в мережу.

СГ із збудженням від постійних магнітів отримують все більшого поширення з розвитком ринку постійних магнітів. Такі конструкції дозволяють виключити ковзаючий контакт, підвищити надійність роботи генератора і всієї ВЕУ, підвищити ККД.

Для поощрения разработок и внедрения ВЭУ, правительства ряда стран (Швеция, Дания, Норвегия, Великобритания, Австрия) выдают частным фирмам крупные субсидии, доходящие подчас до 35-50 % капитальных вложений [5].

Темпи створення ВЕУ в країнах СНД відстають від темпів розвитку цього напрямку в інших розвинених країн. Це відбувається, перш за все, через відсутність дієвого господарського механізму, стимулюючого розвиток децентралізованої енергетики, непідготовленості машинобудування до серійного випуску сучасного ефективного обладнання для таких установок. Негативний вплив справила також стратегія розвитку енергетики в 60-ті - 80-ті роки – орієнтація на будівництво великих електростанцій у зв'язку зі значним зростанням видобутку нафти і природного газу [4].

Нетрадиційна енергетика знімає проблеми екології, але базується на джерелах ще більш низькопотенційних, ніж попередні, і тому може представляти лише тимчасове рішення. Так для України з сучасних способів якийсь інтерес представляє тільки вітроенергетика. Для інших країн перспективні і інші варіанти, але це також не вирішує глобальних проблем.

**Лекція № 3**

**Електричні генератори для ВЕС та міні-ГЕС**

В Україні, де чітко виражені години пікового споживання електроенергії, крім великих проблем з базовими потужностями, варто істотне питання про брак маневрених потужностей. Ремонт і модернізація існуючих блоків електростанцій всіх видів, пуск в експлуатацію другого енергоблоку Хмельницької та четвертого Рівненської АЕС дозволить, на наш погляд, вирішити на найближчі десятиліття питання отримання базових потужностей. Створення гідроакумулюючих та парогазових електростанцій дозволить в достатній мірі вирішити питання покриття пікових навантажень (джерела маневрених потужностей). Однак використовувати їх потужності для віддалених і малопотужних споживачів нерентабельне. До цієї групи споживачів слід віднести окремі фермерські господарства, кордони лісників, пасіки, дачі, невеликі гірські селища і т.д.

Відсутність розвинених ліній електропередачі, досить великі відстані роблять можливим забезпечення електроенергією цих споживачів тільки за рахунок автономних джерел енергії - дизельних електроустановок, сонце-і вітроустановок. Однак і тут перевагу слід віддавати використанню поновлюваних джерел енергії, тобто сонячної і вітрової. Сонячна енергетика для України можлива для дуже невеликого географічного регіону (Крим і ряд південних областей) і не весь календарний рік, а інші нетрадиційні способи отримання енергії: приливні станції, гейзерні, геотермальні і т.ін., **-** або не існують, або знаходяться в стадії перших розробок. Таким чином, на сьогоднішній день для України має сенс розглядати тільки **вітроенергетику**.

В деякій мірі можна очікувати поліпшення характеристик машин при використанні надпровідників з високою температурою.

Найбільшою мірою в даний час необхідні машини наступних значень потужності:

1) від 1 до 5 кВт для енергетичних установок індивідуального користування, що працюють від енергії вітру, сонця, гейзерів, припливів і інших поновлюваних джерел енергії, генератори постійного та змінного струму для дизель-генераторних установок;

2) від 1 до 1000 кВт для мікро- і міні-гідроелектростанцій;

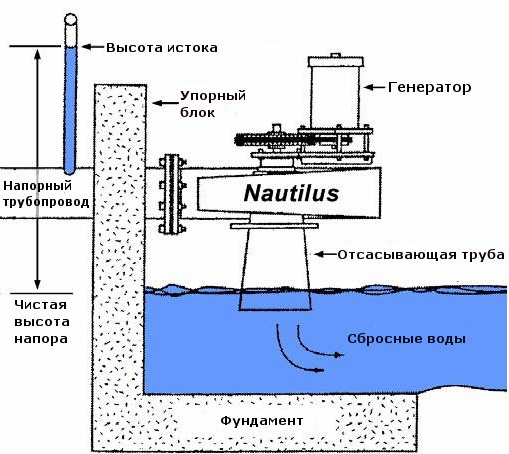
3) від 300 до 2000 кВт для автономних електростанцій для невеликих населених пунктів і для роботи в складі електроприводів з високими швидкостями;

4) від 500 до 10 тис. кВт - генератори для роботи з паровими і газовими турбінами для вирішення проблем міст з населенням в 20 - 100 тис. жителів;

5) від 16 до 320 МВт (турбогенератори з повітряним охолодженням) - для технічного переозброєння теплових електростанцій і теплових електроцентралей.

6) турбо- і гідрогенератори граничної потужності і з високим значенням напруги.

Зростаючий попит на енергоносії і боротьба за екологічну безпеку змусили вчених шукати нові підходи до перетворення відновлюваної енергії води в електрику. Як вдалий варіант застосування міні-ГЕС для використання на річках зі швидкістю течії від 1 м/с пропонується конструкція малогабаритної плаваючою на міні-понтоні малої електростанції. Ефективність міні-ГЕС вище, ніж ефективність інших альтернативних джерел, але виникає питання: наскільки вона буде відчутна при використанні міні-ГЕС на рівнинних річках без споруди додаткових гідротехнічних споруд?



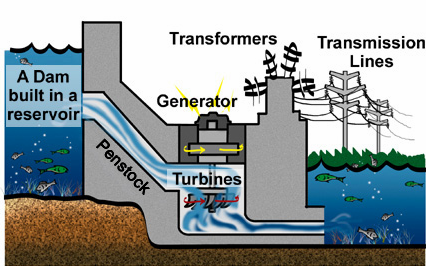
Мини–ГЭС — Гидрогенератор — Stream Engine

**Міні-ГЕС - гідрогенератор складається з регульованого бесколекторного генератора з постійним магнітом. Дана модель має більший ККД у порівнянні з іншими міні-ГЕС - гідрогенераторами і здатна виробляти більше 1 кВт електроенергії. Міні-ГЕС - гідрогенератор оснащений робочим колесом з шорсткою міді, універсальними гідравлічними насадками (настроюються розміри - від 3 мм до 25 мм). У комплект входить цифровий мультиметр для вимірювання сили струму на виході. Вся система гідрогенератора міні-ГЕС виготовлена з нержавіючих сплавів.**

**В умовах постійного зростання вартості електроенергії багато великих споживачі часто замислювалися: а чи можу я в питаннях енергопостачання не залежати від постачальників електроенергії та самостійно для своїх потреб виробляти електроенергію і не думати про кон'юнктуру ринку і вартості електроенергії, і таким чином знизити витрату електроенергії і витрати на електроенергію, тобто мати в наявності власну генерацію на підприємстві. При цьому ціна на електроенергію власної генерації на підприємстві повинна бути значно нижчою за ту, по якій мені відпускає її постачальник.**

**Так, це можливо. Відповідь – побудувати електростанцію, тобто налагодити виробництво електроенергії на свої потреби. Але як і для будь-якого проекту для того, щоб побудувати електростанцію необхідно заздалегідь зважити всі плюси і мінуси, оцінити собівартість проекту "власна генерація на підприємстві" (яка, зрозуміло, буде різною для різних типів споживачів), а також передбачуваний термін окупності витрат на будівництво власної генерації.**

**Варто відзначити, що споживач може бути як і дуже великим заводом (отже в цьому випадку буде потрібно багато потужності і тому проект буде з високою вартістю і досить довгим терміном окупності), так споживач може бути і середнім (наприклад, великі торгові комплекси) з меншою потребою в електричної потужності. Для таких споживачів реалізації цих проектів дешевше, а термін окупності набагато коротше.**

**Крім того, перевагами такого роду електростанцій (мобільні газотурбінні електростанції) є те, що побічним продуктом вироблення електроенергії є значне виділення теплової енергії, яке також може бути використано на потреби споживача.**

**Таким чином, будівництво системи власної генерації на підприємстві не тільки дозволить знизить питому вартість електроенергії для підприємств, але і дозволить організувати вироблення теплової енергії для потреб компанії. Але разом з тим є ряд моментів, які обов'язково необхідно враховувати перед ухваленням рішення про будівництво власної генерації на підприємстві для виробництва електроенергії:**

**1) Собівартість електроенергії, виробленої на об'єктах власної генерації на підприємстві (мобільного газотурбінної електростанції або мобільного газопоршневої електростанції) буде значно нижче, ніж електроенергії, що купується або у постачальника електроенергії, або на оптовому ринку електроенергії та потужності ОРЕМ. Це викликано тим, що споживачеві не потрібно буде оплачувати послуги з передачі електричної енергії (плата за транспорт) і збутову надбавку постачальника. Варто відзначити, що послуги на передачу і збутова надбавка може становити до 60% від кінцевого тарифу на електроенергії для підприємств.**

**2) Для побудови власної генерації на підприємстві (побудувати електростанцію) необхідно зробити підключення до джерела палива (те, на чому буде працювати електрична станція). Найчастіше цим паливом є природний газ. А з огляду на можливі складнощі при підключенню до газопроводу і можливе збільшення ціни на природний газ, що відпускається на внутрішньому ринку до рівня світових цін, це питання потребує дуже ретельної оцінки та додаткового опрацювання. В собівартості виробленої електроенергії на об'єктах власної генерації на підприємстві більшу частину становить вартість газу, тому при збільшенні його ціни собівартість електроенергії також буде зростати.**

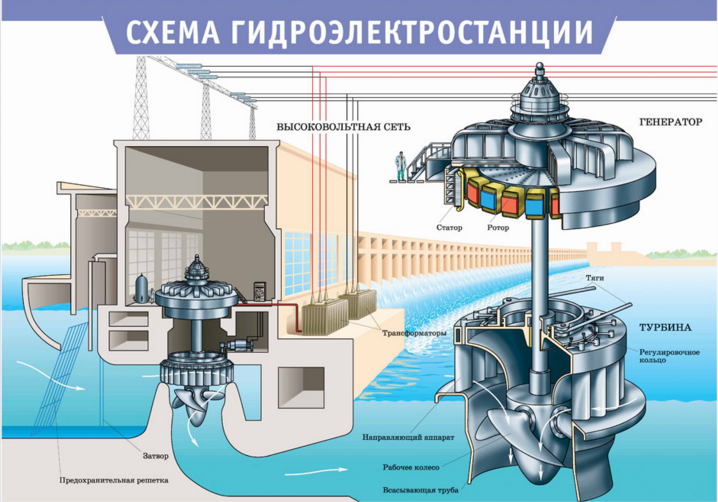
**3. При будівництві власної генерації (наприклад, мобільні газотурбінні електростанції) особливу увагу варто приділити питанням надійності електропостачання: адже рано чи пізно ті або блоки власної генерації на підприємстві доведеться виводити в плановий ремонт, або може виникнути будь-які позаштатна ситуація, що вимагає проведення зупинки станції. Для вирішення цього завдання необхідно або розраховувати будівництво генерації з певним резервом, або вживати заходів для підключення до зовнішніх джерел електропостачання, за якими в нормальний режим роботи власної генерації електроенергія надходити не буде. Однак в цьому випадку виникає питання вартості підключення до електромереж, а також питання оплати резерву потужності в електричні мережі, який може бути вирішене з 1 липня 2013р. Що це означає на практиці: а то, що споживачеві для забезпечення надійності електропостачання (для випадків, коли сам він не зможе виробляти електроенергію) доведеться підключитися до зовнішніх електромереж і потім, навіть якщо він споживати через ці зовнішні мережі не буде, повинен оплачувати резерв потужності (або відмовитися від нього). Варто відзначити, що це нововведення привнесено «Постановою Уряду РФ від 04.05.2012 №442 та поки не вступило в дію. Також до теперішнього моменту ціна оплати за резерв не визначена. Однак при організації технологічного підключення до електромереж (підключення до зовнішнього джерела електропостачання) і виконання ряду технічних заходів, власник електростанції може укласти договір і продавати надлишки виробленої електроенергії іншим споживачам. Це плюс.**

**4. При будівництві власної електростанції з'являться постійні експлуатаційне витрати, розмір яких не залежить від кількості вироблюваної електроенергії і тепла (заробітна плата обслуговуючого персоналу, планове обслуговування і ремонт тощо).**

**5. При будівництві електростанції можна вибрати варіант з когенерацією: в цьому випадку коли споживач побудує електростанцію буде відбуватися побічний ефект при виробленні електроенергії - виділення тепла - може бути використаний для опалення, а виділення холоду - влітку для кондиціювання.**

**6. Споживач з власною електростанцією може продавати надлишки виробленої електроенергії іншим споживачам на роздрібному ринку електроенергії за договірною ціною.**

**У Закарпатті прийняли програму з будівництва 330 міні-ГЕС. Побудувавши сотні ГЕС в гірських районах Закарпаття можна зменшити енергозалежність України. Але якщо ці плани все-таки виконають, туристичному потенціалу, рідкісним річковим видам та карпатським річкам - кінець, переконані екологи та науковці.**



**Більшість із запланованих для будівництва ГЕС належать до так званим «дериваційних». Принцип їх роботи такий: воду з гірської річки скидають в трубу, через яку вона тече від кількох сотень метрів до кількох кілометрів, потім потрапляє на агрегат, розташований нижче за течією, крутить турбіну, і потім її скидають назад в русло річки. При проектуванні цих гідроспоруд не надто зважають на рекреаційної привабливістю і навіть із заповідним статусом території. Адже на думку тих, хто сьогодні просуває будівництво таких ГЕС, жодного негативного впливу ці споруди ні навколишньому середовищу, ні на рекреаційного потенціалу не принесуть.**

**«Дериваційні (їх ще називають« прируслові ») міні-ГЕС фактично не впливають на навколишнє середовище і не втручаються в природні процеси: використання води немає (її відбір і випуск ідентичні), не впливатиме ці споруди і на зариблення річок».**

**Трохи гірше з так званими греблевимі ГЕС, - адже для їх роботи необхідно затоплювати територію. Щоб ГЕС ефективно виробляла електроенергію, повинні бути дотримані 2 головні чинники: величезні ухили річки і забезпеченість водою на протязі цілого року. Зрозуміло, що міні-гідроелектростанція використовує енергію маленьких водойм. В цілому ідея гідроенергетики в світі є не новою і досить випробуваною. Але, скажімо, якщо взяти за приклад Австрію - там робота над розробкою та будівництвом ГЕС триває 6-10 років, будівництву передують роки розрахунків та досліджень, щоб максимально вписатися в природні умови, зменшити вплив на навколишнє середовище, врахувати всі можливості. Будівництво дамб і гребель, відбір значної кількості води в дериваційних ГЕС та те, що потім цю воду скидають під тиском в іншому місці, - все це може привести до порушення рівноваги і до того, що русло річки зміниться і почнуться зсувні і ерозійні процеси, які вже сьогодні є однією з найбільших проблем Карпат.**

**Будівництво міні-ГЕС, безсумнівно, буде мати вплив і на біо-різноманіття. Постраждають і червонокнижні веснянка, і лосось дунайський, який знаходиться в Червону книгу, і струмкова форель, що також вході до переліку зникаючих видів, і харіус європейський, вид, що вписаний не лише в Червону книгу України, а й визначено як уразливий у всій Європі.**

**Ще більші ризики при будівництві каскаду греблевих ГЕС: якщо під час чергового паводку в гірському регіоні верхня дамба не втримає, решта падатимуть, як складене в ряд доміно. Масштаби такої катастрофи, руйнування та людські жертви, до яких це призведе, годі й уявити. Місцеві жителі в обіцянки на кшталт «побудують у вас ГЕС, і всім буде добре» не вірять. Так само як і не вірять, що ГЕС забиратиме не більше 20% річкового стоку, як обіцяють інвестори.**

**Зате досить привабливою є перспектива для підприємців-власників міні-ГЕС: якщо порахувати витрати на виробництво одного кіловата і не враховувати вище перелічених наслідків для природи і регіону, то гідроенергетика та дійсно є одним з найдешевших способів виробництва енергії. А продавати цю енергію в мережу не по ринкової вартості, а за «зеленим» тарифом, який в кілька разів перевищує вартість одного кіловата для споживача. Тому зрозуміло, чому десятки інвесторів кинулися отримувати дозволи, завозити труби і відводити землю під майбутні електростанції в Карпатах, створюючи чергову зону екологічного лиха.**

**Міні-ГЕС вважається прекрасною альтернативою для централізованого енергопостачання в важкодоступних і віддалених районах, а також районах, де обмежена передавальна потужність ЛЕП. Під час використання мікро-ГЕС, набагато легше вирішити проблему з перебоями електрики, а також зафіксувати ціну енергоресурсів на доступному для користувача рівні.**

**ГЕС і міні-ГЕС (їх переваги і недоліки)**

**1) переваги:**

**• не викидають в повітря важкі гази, а значить, несуть безпеку екології.**

**• Низька ціна на електрику.**

**• Швидко починають роботу.**

**• Вода - природний ресурс, який вважається невичерпним, а значить можна використовувати вічно.**

**• не порушують екологію і природний ландшафт.**

**2) недоліки:**

**• Досить часто через них відбувається затоплення земель.**

**• Будівництво проводять часто лише в місцях, де великий запас води.**

**• Небезпечні на гірських річках, де спостерігається висока сейсмічність.**

**• Іноді змінюються унікальні заплавні екосистеми по руслу річки, тому що регульовано і часто скорочено пускається вода з водосховища за величезний період часу.**

**• Забруднюються русла річок, знижується кількість риб у водоймі, скорочуються тропічні кола, зникають місця для гніздування деяких видів птахів.**

**Джерела енергії для міні-ГЕС: головним джерелом мікро-ГЕС є маленькі річки та струмки. Але є й інші джерела енергії для гідроелектростанції. Це системи водопідготовки, технологічні водостоки (наприклад, каналізаційні або промислові скиди), справжні перепади висот на зрошувальних каналах.**

**Ефективність міні ГЕС вище, ніж ефективність інших альтернативних джерел, але на скільки вона буде відчутна при використанні міні ГЕС на рівнинних річках без споруди додаткових гідротехнічних споруд не відомо. Для отримання великої кількості енергії потрібен суттєвий потік, як повітря, так і води. В умовах центральної України з цим погано. Але, тим не менше, розроблені міні-ГЕС, які здатні працювати на потоках води швидкістю 1,5-2 м/с.**

**Плаваючі міні-ГЕС**

**У розумінні більшості людей будь-яка гідроелектростанція є грандіозна споруда з бетону і сталі, - гребля перегороджує річку, заболочується місцевість, виникає ще цілий ряд екологічних проблем і технічних труднощів. Однак зростаючий попит на енергоносії і боротьба за екологічну безпеку змусили вчених шукати нові підходи до перетворення відновлюваної енергії води в електрику. Як вдалий варіант застосування міні ГЕС для використання на річках зі швидкістю течії від 1 м/с пропонується конструкція малогабаритної плаваючою на міні понтоні малої електростанції.**

**Переваги міні-ГЕС очевидні: на відміну від інших «безкоштовних» енергоджерел (сонячних панелей), гідросистеми можуть працювати незалежно від часу доби і погоди. Єдине, що їм може завадити - замерзання води. Для установки гідрогенератора не обов'язкова наявність великої ріки - ті ж водяні колеса з успіхом можна використовувати навіть в маленьких (але швидких!) струмках. Установки своєю роботою не призводять до викиду шкідливих речовин, не забруднюють воду і працюють практично безшумно. Для монтажу міні-ГЕС потужністю до 75 кВт не потрібно оформляти дозвільну документацію (хоча все залежить від місцевих органів влади і типу установки). Надлишок електроенергії можна віддавати в сусідні будинки і господарства.**

**Що стосується недоліків, то серйозною перешкодою для продуктивної експлуатації обладнання може стати недостатня сила течії. В цьому випадку доведеться будувати допоміжні споруди, що буде пов'язано з додатковими витратами. Відзначимо відразу, будівництво міні ГЕС суто індивідуально. Тому, не дивлячись на те, що нами освоєно виробництво турбін різної потужності, необхідно проектування і прийняття до уваги всіх особливостей конкретного водоймища. На базі наших гідротурбін ми пропонуємо будівництво малих гідроелектростанцій різної потужності для котеджів і господарств.**

**Плаваюча міні ГЕС - це невеликий понтон, під яким встановлена гідротурбіна з генератором. Залежно від швидкості течії річки турбіна малої ГЕС вироблятиме в добу від 5 до 132 кВт.год. Електрика по кабелю передається на берег для підключення в електромережу.**

**Плаваючі міні-ГЕС має ще цілий ряд переваг:**

**• Мінімальна вартість.**

**• Великий термін експлуатації.**

**• Легко транспортується, встановлюється і демонтується.**

**• Для збоку, експлуатації та обслуговування не потрібно спеціальної освіти і технічної бази.**

**• Використання міні гідроелектростанцій не завдає шкоди екології.**

**Наприклад, 132 кВт електроенергії досить для одночасного енергопостачання кількох домоволодінь. Гідростанції можуть використовуватися як на великих, так і на малих річках України.**

**Міні ГЕС складається з трьох основних частин:**

**1. Апаратна. 2. Понтон. 3. Гідроколеса.**

**Залежно від глибини річки і швидкості потоку води, у гідроколеса можуть змінитися геометричні розміри.**

**Так, потужність міні-ГЕС в залежності від швидкості потоку води (площа гідроколеса = 1 м2):**

**1м/с - 205 Вт. 1,5 м/с - 692 Вт. 2 м/с - 1640 Вт.**

**2,5 м/с - 3203 Вт. 3 м/с - 5535 Вт.**

**На сьогоднішній день для України має сенс з усіх можливих видів електроенергетики від поновлюваних джерел розглядати тільки вітроенергетику. До війни особливо це було перспективне для Донецького регіону, де досить стійка «роза вітрів», а також дуже велика протяжність низьковольтних ліній електропередачі. Тому вже в найближчі роки між м Слов'янському та м Краматорському планується спорудження 60 «вітряків», які виробляють електроенергію.**

**Сонячна енергетика для України можлива для дуже невеликого географічного регіону (Крим і ряд південних областей) і не весь календарний рік, а інші нетрадиційні способи отримання енергії: приливні станції, гейзерні, геотермальні і т.д., - або не існують, або знаходяться в стадії перших розробок. Таким чином, на сьогоднішній день для України має сенс розглядати тільки вітроенергетику.**

**Нетрадиційна енергетика трохи знімає проблеми екології, але базується на джерелах ще більш низько потенційних, ніж попередні, і тому може представляти лише тимчасове рішення.**

**Невозобновляемость і нерівномірність розподілу викопних енергоносіїв по земній кулі з кожним роком все більше турбує людство і ставить питання про негайне виявленні та практичному використанні поновлюваних джерел енергії (ВДЕ) для вирішення енергетичних проблем. За оцінками Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) первинні енергоносії, або, як прийнято їх називати, класичні джерела отримання енергії, становлять сьогодні основу електроенергетики всіх країн. За даними МЕА електростанції працюють на таких видах первинних енергоносіїв: на нафти – 38%, на природному газі – 20%, на вугіллі - 27%, що становить 85% від загального виробітку енергоресурсів. Решта 15% припадають на АЕС і на електростанції, що працюють від поновлюваних джерел енергії.**

**В останні роки в багатьох країнах досягли значних успіхів у підвищенні економічності будівництва ВЕС, надійності, терміну служби і в зниженні собівартості електроенергії. Якщо брати до уваги ще й екологічні фактори, то ВЕС вже сьогодні виявляється більш економічною, ніж електростанції на вугіллі і АЕС, [3]. Широкий спектр використання характерний для сучасних автономних ВЕУ. Крім забезпечення електроенергією різних автономних споживачів, вони застосовуються для вироблення тепла і механічної енергії, необхідних в різних сферах промисловості, сільського господарства і життя суспільства.**

**Для заохочення розробок і впровадження ВЕУ, уряди низки країн (Швеція, Данія, Норвегія, Великобританія, Австрія) видають приватним фірмам великі субсидії, які доходять часом до 35-50% капітальних вкладень**

**Темпи створення ВЕУ в країнах СНД відстають від темпів розвитку цього напрямку в інших розвинених країн. Це відбувається, перш за все, через відсутність дієвого господарського механізму, стимулюючого розвиток децентралізованої енергетики, непідготовленості машинобудування до серійного випуску сучасного ефективного обладнання для таких установок. Негативний вплив справила також стратегія розвитку енергетики в 60-80-ті роки – орієнтація на будівництво великих електростанцій у зв'язку зі значним зростанням видобутку нафти і природного газу.**

**Вітроенергетична техніка в порівнянні з іншими джерелами енергії володіє очевидними перевагами. Серед них:**

**- відсутність витрат на видобуток і транспортування палива;**

**- низькі питомі трудовитрати на спорудження ВЕУ - ці витрати на порядок менше, ніж для теплових і атомних станції;**

**- широкий технологічний діапазон прямого використання енергії ВЕУ (зокрема, автономність і робота в централізованих мережах, сумісність з іншими джерелами енергії);**

**- короткі терміни введення потужностей в експлуатацію;**

**- відсутність шкідливого впливу на навколишнє середовище (в цьому відношенні вітротехніка поступається лише геліо-системам).**

**Лекція № 4**

**КЛАСИФІКАЦІЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК**

Вітрогенератори використовуються як засоби альтернативної енергетики. Їх застосування можна рекомендувати в районах, що не мають традиційного енергопостачання, а також в місцях, де спостерігаються часті перебої з подачею електроенергії.

По розташуванню осі ротора виділяють вітрогенератори (ВГ) з горизонтальною віссю і вертикальною віссю. Серед вітроустановок з вертикальною віссю обертання знайшли застосування вітроустановки з ротором Дар’є і з ротором Савоніуса, [1].

Переважна більшість сучасних ВГ мають горизонтальну вісь обертання, завдяки наступним перевагам:

1) більш високий ККД, ніж у ротора Савоніуса (приблизно в 3 рази), і високі масогабаритні показники;

2) легше регулювати потужність і здійснювати Буревій захист, ніж у роторів Савоніуса і Дар’є;

3) більш гарне строгування ротора в слабкий вітер, ніж у ротора Дар’є.

У той же час малопотужні ВЕУ з вертикальною віссю обертання знайшли деякий застосування, завдяки малому шуму, простоті конструкції і відсутності необхідності орієнтації ротора на вітер. Світова частка виробництва ВГ з горизонтальною віссю обертання становить понад 95%. Тому подальша класифікація приведена для ВГ з горизонтальною віссю обертання.

За швидкохідності ВГ діляться на швидкохідні і тихохідні. Ротор швидкохідних ВГ має 2 або 3 лопаті з аеродинамічним профілем. Тихохідні ВГ мають 6 і більше лопатей зі спрощеним профілем з листового матеріалу. Швидкохідні ВГ мають більш високий ККД і високу частоту обертання, але малий стартовий момент ротора. Незважаючи на більш високу вартість, більшого поширення набули швидкохідні 3-х лопатеві ВГ, ніж 2-х лопатеві. 3-х лопатевої ротор генерує менше вібрацій і виглядає більш естетично.

За встановленої потужності ВЕУ можна класифікувати наступним чином:

1) ВЕУ малої потужності (встановлена потужність до 100 кВт),

2) ВЕУ середньої потужності (встановлена потужність від 100 до 1000 кВт),

3) ВЕУ мегаватного класу (встановлена потужність більше 1000 кВт), [1].

За типом вироблюваної енергії ВЕУ бувають: електричні, водонасосні, пневматичні і теплові. У першому випадку ротор за допомогою трансмісії зв'язується з електрогенератором, у другому випадку ротор приводить в дію водяний насос, в третьому випадку - компресор, в четвертому механічну теплову мішалку. Переважна більшість сучасних вітроустановок мають електричні генератори (більше 95%), так як електроенергію можна легко транспортувати і перетворювати в будь-які інші види енергії, [3].

За типом споживачів енергії розрізняють автономні ВГ і ВГ мережевого призначення. У першому випадку ВЕУ здійснюють енергопостачання віддалених від центральних електромереж споживачів. У другому випадку споруджуються ВЕС, що налічують кілька десятків або сотень великих ВГ, які віддають енергію в мережу. Як правило, мережеві установки мають потужність понад 100 кВт, а автономні - менше 100 кВт, [1].

Через мінливості швидкості вітру автономні ВЕУ не можуть забезпечити гарантоване енергопостачання. При роботі ВЕУ на електричну мережу проблема гарантованого енергозабезпечення вирішується автоматично, так як ВЕУ не є основним джерелом енергії. Для забезпечення гарантованого енергозабезпечення автономні ВЕУ доповнюються системами акумулювання енергії або використовуються спільно з традиційними енергоустановки, такими як дизельні та бензинові електростанції, печі та теплові котли.

Системи акумулювання електроенергії є громіздкими і складають значну частку вартості ВЕУ, тому дані системи розраховуються для перекриття невеликого вітрового штилю (менше тижня). Найбільшого поширення набули електрохімічні акумуляторні батареї (АКБ). Однак існують приклади ВЕУ, в яких акумулювання здійснюється з невеликими грошовими витратами. Наприклад, система водяного опалення, насосна або компресорна станція. У першому випадку теплова енергія акумулюється у вигляді гарячої води, у другому випадку енергія акумулюється у вигляді піднятої на певну висоту води або у вигляді стислого повітря.

В автономному енергопостачанні найбільшими перепонами поширення набули вітро - дизельні комплекси (ВДК), які включають акумуляторну батарею та дизельні електростанції (ДЕС). ВДК здатні забезпечити гарантоване автономне енергопостачання. За рахунок економії дизельного палива ВДК конкурентоспроможні з ДЕС.

**Характеристика конструктивних елементів та систем ВЕУ**

Для поліпшення аеродинаміки і підвищення міцності лопать ротора повинна володіти такими ознаками:

1) використаний профіль (зазвичай авіаційний) з високим аеродинамічним якістю (відносини підйомної сили профілю до сили лобового опору),

2) присутній звуження лопаті (відношення ширини лопаті біля основи до ширини лопаті на кінці), яке може становити від 2 до 6,

3) присутній крутка лопаті – зміна кута установки профілю лопаті (кут між площиною обертання і хордою профілю) по довжині відповідно до визначеного законом. (Кількісно крутка виражається різницею між кутом установки профілю лопаті біля основи і на кінці і може становити 10-20 град).

4) для збільшення міцності лопать може мати змінну по довжині відносну товщину профілю (відношення товщини профілю до його хорді), при цьому відносна товщина збільшується до основи від, наприклад від 0,2 до 0,1.

Для спрощення технології виготовлення лопатей геометрія може бути спрощена. Зокрема, може бути відсутнім крутка і звуження. Спрощення форми лопаті може знизити потужність ВЕУ на 5-10%.

В даний час лопаті виготовляються з алюмінію; (фанери) дерева, 3) склопластика (вуглепластика). Найбільшого поширення набули склопластикові лопаті завдяки наступним перевагам:

1) склопластик володіє високою питомою і втомної міцністю,

2) технологія склопластику дозволяє отримувати лопаті з будь геометрією,

3) виробництво склопластикових лопатей не вимагає високотехнологічного обладнання і може бути освоєно без значних капітальних вкладень.

У загальному випадку ВЕУ представляє собою комплекс взаємопов'язаного обладнання та споруд, призначений для перетворення енергії вітру в інші види енергії (електричну, механічну, теплову та ін.) і включає в себе вітроагрегат і вітродвигун.

Вітроагрегат, будучи основною частиною ВЕУ, складається з вітродвигуна, системи передачі вітрової потужності на навантаження (споживачу) і самого споживача вітрової енергії (якого-небудь пристрою: електромашинного генератора, водяного насоса, нагрівача і т. п.).

Вітродвигун є пристроєм для перетворення кінетичної енергії вітру в механічну енергію робочого руху вітродвигуна. Робочі рухи, які робить вітродвигун, можуть бути різними. На існуючих сьогодні вітродвигунах в якості робочого руху використовується круговий обертальний рух. Разом з тим відомі численні пропозиції (іноді навіть реалізовані) по використанню інших видів робочого руху, наприклад коливального.

Враховуючи явні переваги електричної енергії з точки зору її генерації, передачі, розподілу і перетворення, переважного розвитку і поширення набули вітроелектричні установки. Сучасні ВГ (у зарубіжній літературі їх називають вітротурбіни) являють собою складну автоматизовану електромеханічну систему з перетворення кінетичної енергії рухомих мас повітря (вітрового потоку) в електричну із заданою якістю.

Світовий досвід використання ВЕУ показав, що конструктивне вона повинна складатися з вітродвигуна (ВД) 1, машинного відділення 2, опори 3 (рис. 4.1).

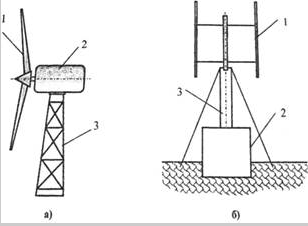


Рисунок **4.1 *–*** Загальний вигляд вітроелектричної установки:

а – з горизонтально-осьовим ротором; б – з вертикально-осьовим ротором

Залежно від виду енергії, що виробляється ВЕУ поділяють на вітроелектричні та вітромеханічні. Електричні ВЕУ, у свою чергу, поділяються на вітроустановки, що виробляють електроенергію постійного або змінного струму. Механічні ВЕУ служать для приводу робочих машин.

ВГ кожної групи відрізняються одна від одної перш за все конструктивним виконанням, типом фундаменту, способом установки вітроагрегату на вітер, системою регулювання, системою передачі вітрової потужності, способом монтажу і способом обслуговування.

Електричні ВЕУ змінного струму поділяють на:

* – автономні;
* – гібридні, що працюють паралельно з енергосистемою сумірної потужності (наприклад, з дизельною установкою);
* – мережеві, які працюють паралельно з потужною енергосистемою.

Механічні ВЕУ за призначенням поділяють на:

* – вітронасосні для приводу водяних насосів;
* – вітросилові для роботи з промисловими і побутовими механізмами.

Класифікація ВЕУ за областями застосування визначається їх призначенням.

Як правило, ВГ складаються з наступних функціональних частин:

* – первинного перетворювача;
* – електричного генератора;
* – опорно-поворотного пристрою;
* – системи управління ВЕУ.

Горизонтально-осьові ВЕУ середньої та великої потужності можуть мати механізм регулювання кута установки лопатей ротора і механізм орієнтації вітроагрегата.

*Первинний перетворювач* включає в себе вітродвигун і призначений для перетворення кінетичної енергії вітру в обертальний рух ротора генератора. Первинний перетворювач і електричний генератор утворюють вітроагрегат (ВА). Опорно-поворотний пристрій призначений для розміщення вітроагрегата на башті (опорі).

Одна або декілька груп вітроелектричних установок утворюють вітрову електричну станцію (ВЕС), до складу якої входять (крім ВЕУ):

* – система управління ВЕС:
* – одна або кілька метео-вишок;
* – трансформаторні підстанції (ТП);
* – підстанція.

*Система керування ВЕС* здійснює керування, контроль і облік роботи ВЕС в цілому і кожної ВЕУ окремо. Метео-вишка призначена для визначення швидкості і напряму вітру та видачі цієї інформації в систему керування ВЕС. Трансформаторна підстанція обслуговує декілька ВЕУ (групу) і забезпечує підвищення напруги від генераторів ВЕУ до величини лінії електропередачі на підстанцію. Підстанція ВЕС призначена для розподілу і передачі енергії від ВЕС в електромережу енергосистеми.

Вітродвигуни класифікують за рядом різних ознак, як основних, так і другорядних. Одним з основних ознак класифікації є орієнтація вектора кутової швидкості обертання ротора вітродвигуна щодо векторів швидкості вітру у вільному атмосферному потоці. За цією ознакою вітродвигуни підрозділяють на колінеарні і ортогональні.

**Колінеарним** називають вітродвигун, для якого вектори швидкості вітру і кутової швидкості обертання ротора вітродвигуна, паралельні або антипаралельні. Таким є горизонтально-осьовий вітродвигун. Ортогональним в загальному випадку називають вітродвигун, для якого вектори швидкості вітру і кутової швидкості обертання ротора вітродвигуна, перпендикулярні. Можливі два випадки варіантів їх поєднання:

* – вектор обертання кутової швидкості обертання ротора вітродвигуна перпендикулярний поверхні землі; таким вітродвигуном є вертикально-осьовий вітродвигун, званий іноді роторним, або карусельним;
* – вектор обертання кутової швидкості обертання ротора вітродвигуна паралельний поверхні землі; такий вітродвигун називається іноді барабанним.

Можливий вітродвигун, у якого кут між векторами швидкості вітру і кутової швидкості обертання ротора вітродвигуна є гострий (від 0 до 90°).

Такий вітродвигун можна назвати похило-осьовим. Прикладом реалізації цієї схеми є шнековий вітродвигун.

За іншою основною ознакою, за принципом силової аеродинамічної взаємодії лопатевої системи вітродвигуна з потоком набігаючого на нього повітря, вітродвигуни можна підрозділити на два типи:

* – вітродвигуни, які використовують під час руху лопатевої системи підйомну силу, що виникає на робочих елементах лопатевої системи (жорстких лопатях, циліндрах, що обертаються) і створює круглий момент;
* – вітродвигуни, які використовують під час руху лопатевої системи розходження в аеродинамічних силах, що виникають на різних елементах лопатевої системи (крилових лопатях або яких-небудь інших поверхнях), в моменти руху цих поверхонь за напрямком вітру і проти напрямку вітру, тобто розходження в аеродинамічному опорі, що виникає на елементах лопатевої системи.

Незважаючи на різноманіття теоретично можливих і практично реалізованих схем ВЕУ, сучасні вітроагрегати незалежно від рівня потужності є або пропелерними горизонтально-осьовими, або ортогональними вертикально-осьовими вітродвигунами (використовують підйомну силу на лопатях), оскільки саме ці два типи вітродвигуна мають найбільш високі техніко-економічні показники.

Горизонтально-осьові вітродвигуни в порівнянні з вертикально - осьовими мають наступні переваги:

* – можливість самостійного пуску без допоміжного приводу за рахунок зміни кута установки лопатей;
* – більшого значення коефіцієнта використання енергії вітру;
* – більшого значення коефіцієнта швидкохідності ***X*** і, як наслідок цього, велику частоту обертання вітродвигуна, що дозволяє зменшити масогабаритні показники електромеханічного обладнання;
* – виключення необхідності в кутовій передачі обертального моменту.

До основного недопіку пропелерних горизонтально-осьових двигунів слід віднести необхідність в пристрої орієнтації на напрямок вітру.

Ортогональні вертикально-осьові двигуни в порівнянні з пропелерними горизонтально-осьовими володіють такими перевагами:

* – незалежністю функціонування від напрямку вітрового потоку, що усуває необхідність орієнтування вітродвигуна на цей напрямок;
* – вертикальним валом, що дозволяє розмішувати електромеханічне обладнання біля основи ВЕУ, що знижує вимоги до міцності і жорсткості опори, не обмежує масогабаритні показники обладнання, спрощує технічне обслуговування та ремонт;
* – можливістю кріплення лопатей до ротора в декількох місцях, що знижує вимоги по міцності і жорсткості лопаті;
* – меншим значенням окружної швидкості лопаті за менших значень коефіцієнта швидкохідності;
* – відносною простотою виготовлення лопатей.

До числа недоліків вертикально-осьових вітродвигунів слід віднести: менший коефіцієнт використання енергії вітру; меншу швидкохідність.

За системою орієнтації на напрямок вітру можна виділити наступні системи орієнтації на напрямок вітру:

1) **Флюгер**. Використовується для ВЕУ потужністю до 50 кВт. Відрізняється простотою і надійністю, але не може обмежити кутову швидкість розвороту головки ВЕУ.

2) **Віндрозний механізм**. Складається з 1 або 2-х вітрових коліс, які через черв'ячний редуктор орієнтують головку ВГ. У порівнянні з флюгером, вимагає обслуговування, але забезпечує малу швидкість розвороту головки. Обмежено використовується на ВЕУ потужністю від 10 до 250 кВт.

3) **Електромеханічна система орієнтації**. Орієнтацію здійснює електропривод по команді від датчика напрямку вітру. Використовується на ВЕУ потужністю понад 50 кВт.

Необхідність обмеження кутової швидкості розвороту головки пов'язано з тим, що з ростом швидкості розвороту ростуть навантаження на лопаті і головний вал. При використанні флюгера доводитися посилювати конструкцію лопатей і головного валу. Також існують системи регулювання частоти обертання ротора і буремні захисту.

**Існують наступні системи регулювання та обмеження потужності.**

1) *Відцентрово-пружинне регулювання*. Регулювання здійснюється за рахунок зміни кута установки лопатей під впливом відцентрових сил. Забезпечує керування частоти обертання ротора в 5-10%. Використовується для автономних ВЕУ потужністю від 5 до 50 кВт. Для забезпечення буремного захисту лопаті можуть виводитися автоматично у флюгерне положення (кут близький до 90 ºС) при швидкості вітру більше 25-30 м/с.

2) *Відведення ротора в косою потік*. Регулювання здійснюватися за рахунок зміни кута косого потоку (кута між нормаллю до площини ротора і напрямком вітру). Точність підтримання частоти обертання мала - 20-30%. Використовується для автономних ВЕУ потужністю до 10 кВт, призначених для заряду АКБ. При роботі ВЕУ на випрямляч не потрібно стабільна частота електричного струму, а, отже, і стабілізація частоти обертання ротора. Дана система регулювання забезпечує автоматично буревій захист, так як при швидкості вітру 25-30 м/с кут косого потоку ротора близький до 90 ºС при цьому потужність і частота обертання навіть менше, ніж в номінальному режимі. Основна перевага даної системи - простота і надійність, так як використовуються неповоротні лопаті.

3) *Активне регулювання*. Регулювання здійснюється за рахунок зміни кута установки лопатей електричним або гідравлічним приводом по команді від автоматичної системи управління. Використовується для ВЕУ потужністю понад 50 кВт. Для забезпечення буремного захисту лопаті виводяться автоматично під флюгер (кут установки близький до 90 ºС) при швидкості вітру більше 25-30 м / с.

Також на ВЕУ є системи зупинки вітрогенератора. Вони можуть бути доповнені фрикційними гальмівними пристроями головного валу. Щогла ВЕУ раскрепляется розтяжками. Вежа розтяжок не має.

**Електрична схема мережевої ВЕУ** є найбільш дешевою і простій. Дана схема включає ведений мережею інвертор. Якщо генератор ВЕУ працює на змінній частоті обертання, то електрична схема може включати ще керований випрямляч:

1) Вітроагрегат (ВА), що складається з вітрогенератора (ВГ), щогли (вежі) і кабелю.

2) Контролер навантажень, які підключатися безпосередньо після генератора ВЕУ.. Функція контролера - підключати та відключати секції навантаження.

3) Регулятор заряду акумуляторної батареї (АКБ), який виконує функцію випрямляча і зарядного пристрою для АКБ. У найпростішому випадку даний блок перемикає вітрогенератор на ТЕН, коли АКБ заряджена.

4) Акумуляторна батарея (АКБ).

5) Контролер навантажень постійного струму. Для зменшення потужності інвертора навантаження постійного струму можуть бути підключені безпосередньо до АКБ. Функція контролера відключати дані навантаження, якщо АКБ розряджена.

6) Термоелектричний елемент (ТЕН), для розсіювання потужності ВЕУ в разі, коли АКБ заряджена. ТЕН повинен бути присутнім на ВЕУ з регулюванням потужності висновком ротора в косою потік. Навантаження на конструкцію ветроагрегата на холостому ходу для даний схеми регулювання значно зростають.

7) **Інвертор** – перетворювач напруги АКБ в стандартне (220 В/50 Гц або 380 В/50 Гц).

АБ діляться на кислотні та лужні. Серед кислотних АБ найбільшого поширення набули свинцево-кислотні акумулятори. Лужні акумулятори бувають залізонікелеві, нікель-кадмієві, срібно-цинкові, нікель-цинкові та ін. Нікель-цинкові і срібно-цинкові не представляють інтересу для побутових енергосистем через високу вартість. Для ВЕУ можна рекомендувати свинцево-кислотні, або залізонікелеві батареї.

Використання нікель-кадмієвих батарей важко, так як важко дістати банки підходящої ємності (близько 150-250 А\*год). Використання свинцевих АБ переважне, але у свинцевих АБ є наступні недоліки:

1) низька екологічність в порівнянні з лужними АБ. Даний недолік можна виправити, якщо розмістити АБ поза житловими приміщеннями.

2) невелика кількість глибоких циклів розряду.

Інвертор перетворює енергію постійного струму, запасені в АКБ, в стандартну напругу 220В / 50 Гц. Потужність інвертора вибирається виходячи з пікової потужності споживання.

Є дві групи інверторів, які розрізняються за вартістю приблизно в 1,5-2 рази. Перша група більш дорогих інверторів забезпечує синусоїдальну вихідну напругу. Друга група забезпечує вихідна напруга у вигляді спрощеного сигналу, який називається «модифікована синусоїда». Для переважної більшості побутових приладів можна використовувати модифіковану синусоїду, хоча є відомості, що дана синусоїда зменшує довговічність деяких електроприладів.

Сучасні інвертори допускають роботу з перевантаженням. Розрізняють перевантаження коротку - протягом декількох секунд. І тривале перевантаження в межах півгодини. Для сучасних інверторів коротка перевантаження може становити від 2 до 3,5, тривале перевантаження може скласти від 1,2 до 1,5.

Інвертор повинен мати наступні ступені захисту (аварійне відключення): від перевантаження, від перезарядження АКБ, від перерозрядки АКБ, від помилки підключення «плюса» і «мінуса».

**Лекція № 5**

**5.1. Зниження втрат електроенергії за рахунок використання ВЕУ**

Дослідження режимів роботи електричних мереж, зокрема Криму, довели, що робота ВЕС призводить до зниження втрати потужності в усій електричної мережі, оскільки ВЕС, в більшості випадків, перебувають на периферійній частині мереж енергопостачальної компанії. Проведені розрахунки, [3], режимів навантажень в варіантах розміщення ВЕС в різних регіонах Криму дали такі результати: середнє зниження втрат потужності в електричній мережі на 1 кВт встановленої потужності ВЕС становить 0,04 кВт.

З урахуванням прийнятого коефіцієнта використання потужності (25%) зниження втрат енергії на протязі року оцінюється в 92,5 кВт.год на 1 кВт ВЕУ, що забезпечує річну економію коштів енергопостачальної компанії 3,1 дол./кВт.

Держава в даний час бере на себе частину витрат на видобуток вугілля (за даними Донецького інституту вугілля - 15%).

ВЕС, як відомо, економить паливо, тому інвестор ВЕС має всі підстави зарахувати до свого активу таку «вугільну» дотацію, яка становить близько 5,5 дол./кВт.

Потрібно взяти до уваги те, що в разі роботи ВЕС економиться не тільки 15% вартості палива, які держава оплачує шахтам у вигляді прямих субсидій, а всі 100% палива. Річний ефект в цьому випадку міг би перевищити 30 дол./кВт потужності ВЕС.

Ця економія, хоча і є реальною, але вона так розсіюється в економіці України, що залишається незрозумілим, хто саме отримує цю економію і хто за це хоча б частково повинен заплатити інвестору, який вклав гроші в будівництво ВЕС. Тому механізм використання 100% «паливного» ефекту є проблемним.

5.2. **Використання стаціонарних ВУ**

Вітрогенератори використовуються як засоби альтернативної енергетики. Їх застосування можна рекомендувати в районах, що не мають традиційного енергопостачання, а також в місцях, де спостерігаються часті перебої з подачею електроенергії.

Вітроенергетичні установки (ВЕУ) умовно можна розділити на чотири групи:

– ВЕУ з потужністю до 1 кВт

– ВЕУ з потужністю до 10 кВт

– ВЕУ з потужністю до 30 кВт

– ВЕУ з потужністю до 100 кВт і вище.

ВЕУ першої групи володіють невеликими розмірами і вагою. Їх можна рекомендувати для використання в геологорозвідувальних партіях, для туристів в походах і подорожах, для живлення радіостанцій і заряджання акумуляторів автомобіля або яхти, а також для безпосереднього живлення електричних приладів. Крім того, ці ВЕУ відрізняє відносно невисока ціна.

Наступні групи можна віднести до стаціонарних ВЕУ. Ці ВЕС можуть повністю забезпечувати житловий будинок або виробничий об'єкт, постійно накопичувати в акумуляторних батареях великий ресурс електроенергії для використання в безвітряні періоди.

Стаціонарні ВУ використовуються також для живлення автономне функціонуючих систем: опалювальні і освітлювальні комплекси, насосні станції, метеостанції, охоронні і моніторингові системи. Група ВЕУ з потужністю до 10 кВт можна використовувати як систему автономного енергопостачання для невеликих господарств, приватних будинків, котеджів. Ці ВЕУ володіють великою вагою і великими розмірами. Для їх установки потрібний спеціально підготовлений майданчик (заливка фундаменту). У комплект входить генератор і ротор. Генератор, як правило, виробляє постійну напругу 12В, 24В або 48 В. Для можливості використання ВЕУ з будь-яким побутовим або промисловим устаткуванням, необхідно використовувати інвертори, що перетворять постійну напругу генератора в змінну напругу 220 В або 380 В. Для накопичення електроенергії в періоди безвітря рекомендуються акумуляторні батареї.

Третю групу складають ВЕУ потужністю до 30 кВт. Їх призначення схоже з призначенням ВЕУ другої групи. Відмінність складають більша вага - до 500 кг і великих розмірів. Відрізняються вони і декілька більшою ціною.

Четвертую групу ВЕУ можна віднести до професійного промислового устаткування. Цей тип можна порекомендувати для установки на ПП і для створення ВЕС. Для них потрібна заливка фундаменту. Вартість таких ВЕУ починається від 150 тис. євро.

ВЕУ потужністю 2—3 МВт потребує ділянки 20х20 м. Оскільки такі ВЕУ не потребують об'єднання в систему, то ділянку можна підібрати будь-де. Розосередженість ВЕУ наближує джерело електроенергії до споживача. Дослідження засвідчили, що сучасні ВЕУ мегаватного класу не нищать птахів, бо будь-який птах добре бачить вітроколесо, яке обертається зі швидкістю 2—30 об/хв.

Середньорічний приріст світової вітроенергетики становить в середньому 26—27% і є найвищим у порівнянні з іншими джерелами енергії.

Прогнозується, що після 2010 р. електроенергією, виробленою вітроенергетичними парками, буде користуватися 80 % населення ЄС, а до 2025 року завдяки таким паркам в Німеччині буде виведено із експлуатації 80 % потужностей АЕС. До 2050 року Німеччина планує генерувати 50% електроенергії шляхом використання енергії вітру. Данія таке завдання збирається вирішити до 2030 р. До цього часу всі прогнози щодо розвитку вітроенергетики не тільки виконувалися, але й перевиконувалися. На початку 90-х років прогнозувалося, що до кінця 2000 року потужність європейського парку ВЕС досягне 4 тис. МВт. Фактично ж в Європі на кінець 2000 року було введено в експлуатацію ВЕС загальною потужністю 12800 МВт, тобто в 3,2 рази більше, ніж прогнозувалося.

Наприкінці XX століття стали відчутними зміни клімату: зміна температури, збільшення сили та частоти несприятливих явищ. Найпоширеніше пояснення тому — парниковий ефект внаслідок спалювання вугілля, нафти та газу. В 1997 р. прийнято Кіотський протокол як частину Рамкової конвенції ООН про зміни клімату. Всі країни, які ратифікували цей документ, беруть на себе зобов'язання знизити викиди парникових газів у 2008—2012 роках.

Україна ратифікувала Кіотський протокол 4 лютого 2004 р., а з 2005 року він набув чинності. Згідно з протоколом, розвинуті держави разом з країнами з перехідною економікою можуть здійснювати спільні проекти зі зниження викидів. Це дозволить Україні реалізувати її гігантський потенціал енергозбереження та енергоефективності.

Набагато більшої ефективності ВУ можна досягти за умов реалізації їх будівництва в межах проектів спільного впровадження — шляхом продажу сертифікатів на викиди парникових газів. Згідно з Кіотським протоколом, для здешевлення ВЕС можна використати ще й квоти України на міжнародну торгівлю викидами парникових газів. Кошти, які можна отримати, не є позиками, а тому ВЕС, побудовані за ці гроші, будуть рентабельними з першого дня експлуатації.

Термін окупності ВУ, залежно від місцевості, забезпеченості комунікаціями, потужності установки тощо, становить від 3 до 8 років. Питомі капітальні витрати для станцій малої потужності становлять 800-1000 доларів за 1 кВт встановленої потужності і зменшуються зі збільшенням потужності установки. Тож капітальні витрати на ВЕС потужністю 250 кВт (Данія) становлять 40 тис. доларів США при терміну окупності 6,7 року.

Важливим аспектом використання ВУ є вартість електроенергії (грн/кВт•год), яка може бути підрахована за виразом

*B*=(*K*•*F*)/(0,25•*P*•*F*),

де *К* - капітальні витрати, грн. (дол.);

*F* - фактор поновлення витрат, при терміні дії установки 25 років *F*= 0,125;

*Р* - потужність установки, кВт;

*Т* - кількість годин роботи установки на рік, *Т* = 8760 год.

ВУ виробляють електроенергію практично без забруднення довкілля, але вплив на нього мають: відведення під будівництво значних територій та зміни ландшафту, шумові ефекти, радіоперешкоди. Проблема зменшення шумів розв'язується шляхом розташування вітроустановок на значних відстанях (допустимих за рівнем шуму – 40-50 децибелів) від житла. Отже, відстань від вітроагрегату до житла становить 150 м, ВЕС - 250 м.

Залежно від сфери застосування ВЕУ підрозділяють на дві підгрупи: вітронасосні та вітросилові згідно рис. 5.1.

Вітроустановки при роботі використовують ефект виникнення підйомної сили, що діє на лопаті вітротурбіни, яка в свою чергу обертає генератор, що виробляє електроенергію. Через змінного характеру вітру, частота і вихідна напруга генератора також нестабільно, тому неможливо організувати харчування споживачів безпосередньо від ВЕУ. У аеродинаміці широко застосовується ефект виникнення підйомної сили при дії потоку повітря на жорсткий профіль певного перетину.

Цей ефект використовують вітроустановки і вітроенергетичні системи. За рахунок спеціального перетину лопатей і вибору оптимального кута атаки, досягається коефіцієнт використання вітру до 0,48.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 5.1 - Загальна класифікація ВЕУ | Рис. 5.2 - Структурна схема автономних ВЕУ:  Г - генератор; АГ - асинхронний генератор;  БО - баластний опір; ПЧ - перетворювач частоти |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рис. 5.3 - Структурна схема гібридних ВЕУ: СГ - синхронний генератор,  АСГ - асінхронізований генератор; ПЧ - перетворювач частоти | Рис. 5.4 - Структурна схема мережевих ВЕУ: СГ - синхронний генератор; АГ - асинхронний генератор; АСГ - асінхронізований генератор; ПЧ - перетворювач частоти |

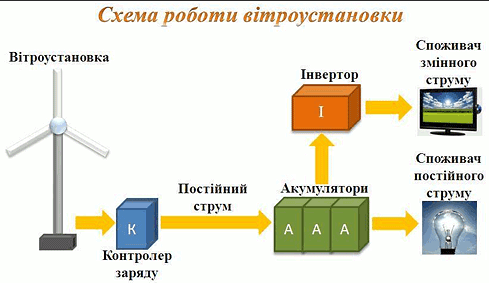


Рисунок 5.5 - Схема роботи вітроустановки

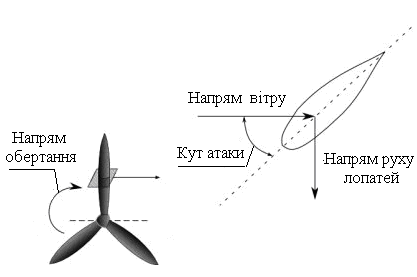


Рис. 5.6 - Схема дії потоку повітря на лопаті вітротурбіни

**Коефіцієнт використання вітру – відношення кінетичної енергії потоку після проходження через вітроколесо до енергії вільного потоку до нього: *Кв* = *Е*після/*Е*до**

Потужність вітрового потоку пропорційна площі, яку пересікає вітровий потік, і швидкості вітру в кубі. Вітроенергетичні ресурси у США і країнах Європи класифікують в залежності від середньорічної швидкості або середньорічної питомої потужності вітру на висотах 10 і 50 м від поверхні землі (табл. 5.1).

Таблиця 5.1.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Клас | Висота 10 м | Висота 50 м | Швидкість вітру, м/с | Питома потужність, Вт/м2 |
| Швидкість вітру, м/с | Питома потужність, Вт/м2 |
| 1 | 0 - 4,4 | 0 – 100 | 0 – 5,6 | 0 – 200 |
| 2 | 4,4 – 5,1 | 100 - 150 | 5,6 – 6,4 | 200 - 300 |
| 3 | 5,1 – 5,6 | 150 - 200 | 6,4 – 7,0 | 300 – 400 |
| 4 | 5,6 – 6,0 | 200 - 250 | 7,0 – 7,5 | 400 – 500 |
| 5 | 6,0 – 6,4 | 250 - 300 | 7,5 – 8,0 | 500 - 600 |
| 6 | 6,4 – 7,0 | 300 - 400 | 8,0 – 8,8 | 600 - 800 |
| 7 | 7,0 – 9,0 | 400 - 1000 | 8,8 – 11,9 | 800 - 1200 |

Принцип дії всіх вітроустановок один: під напором вітру обертається вітроколесо з лопатями, яке передає крутильний момент через систему передач валу генератора, що виробляє електроенергію. Реальний ККД кращих вітрових коліс досягає 45% у разі стійкої роботи при оптимальній швидкості вітру.

Існують дві принципово різні конструкції ВЕУ: з горизонтальною і вертикальною віссю обертання. Конструктивна схема ВЕУ з горизонтальною віссю наведена на рис. 5.7.

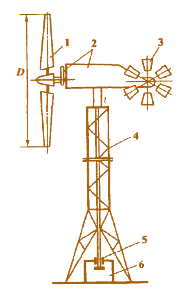


Рис. 5.7 - Конструктивна схема ВЕУ з горизонтальною віссю обертання:

1 – робоча лопать; 2 – трансмісія; 3 – віндроза; 4 – башта;

5 – вал відбору потужності; 6 – електрогенератор

Основними елементами установки є вітроприймальний пристрій (лопаті), редуктор передачі крутильного моменту до електрогенератора, електрогенератор і башта. Вітроприймальний пристрій разом з редуктором утворюють вітродвигун. Завдяки спеціальній конструкції лопатей в повітряному потоці виникають несиметричні сили, які створюють крутильний момент. Оскільки вітер може змінювати свою силу і напрям, вітрові установки обладнуються спеціальними пристроями контролю і безпеки. Ці пристрої складаються з механізмів розвороту вісі обертання за вітром (віндроза), нахилу лопатей відносно землі при критичній швидкості вітру, системи автоматичного контролю потужності та аварійного відключення для установок великої потужності.

Найчастіше на ВЕС (рис. 5.7) використовується трилопатеве вітроколесо з горизонтальним розташуванням вісі ротора. Удосконалення відбуваються шляхом збільшення розмірів лопатей, покращення техніко-економічних показників енергетичного обладнання і електронного управління, використання композитних матеріалів і застосування більш високих башт. Деякі ВЕУ функціонують зі змінною швидкістю або взагалі не використовують редуктор і працюють за методом прямого приводу. Так, при потужності ВЕУ 2,5 МВт діаметр лопатей вітроколеса досягає 80 м, а висота башти більше 80 м.

ВЕУ з вертикальною віссю обертання мають переваги перед установками з горизонтальною віссю, які полягають у тому, що зникає необхідність у пристроях орієнтації на вітер, спрощується конструкція і знижуються гіроскопічні навантаження, обумовлені додатковим напруженням в лопатях, системі передачі та інших елементах установки, з’являється можливість встановлення редуктора з генератором в основі башти. Конструктивна схема ВЕУ з вертикальною віссю обертання наведена на рис. 4.8.

У залежності від потужності генератора вітроустановки підрозділяються на класи, їх параметри і призначення наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 - Класифікація вітроустановок

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Клас установки | Потужність, МВт | Діаметр  колеса, м | Кількість  лопатей | Призначення |
| Малої потужності | До 0,1 | 3 – 10 | 3 – 2 | Зарядка акумуляторів, насоси, побутові потреби |
| Середньої потужності | Від 0,1 до 1,0 | 25 – 44 | 3 – 2 | Енергетика |
| Великої потужності | Більше 1,0 | >45 | 3 – 2 | Енергетика |

На сьогодні розроблена і використовується значна кількість схем перетворення енергії вітру в електричну енергію постійного чи змінного струму або для виконання механічної роботи. Середньорічне вироблення електроенергії з 1 км2 площі ВЕС при різних швидкостях вітру наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Річне вироблення електроенергії з 1 км2 площі ВЕС

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Середньорічна швидкість вітру, м/с | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Виробництво електроенергії, млн. кВт·год/км2 | 12 | 20 | 26 | 34 | 39 |

**Основними недоліками ВЕС є**:

• Непостійне і нерівномірне вироблення електроенергії як протягом доби, так і за сезонами року, що пов’язано з наявністю вітру і його швидкістю.

• Використання значних площ земельних ресурсів. Так, для ВЕС потужністю 1000 МВт треба загальна площа 70–200 км2, хоча більша частина цих земель може бути використаною в сільському господарстві та ін. (сама ВЕС займає 1% загальної площі). При використанні ВЕС морського базування цей недолік зникає. Обмеження шумового впливу ВЕС досягається їх віддаленістю від населених пунктів (для ВЕС до 300 м).

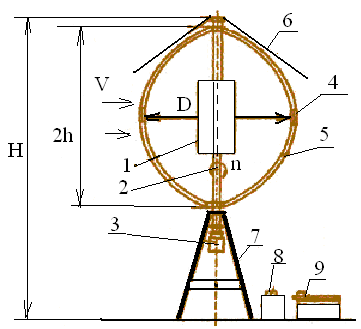


Рис. 5.8 - Конструктивна схема ВЕУ з вертикальною віссю обертання:

1 – стартер (ротор Савоніуса); 2 – вісь; 3 – електрогенератор; 4 – гальмівний пристрій;

5 – робоча лопать; 6 – розтяжка; 7 – рама; 8 – перетворювач напруги; 9 – акумулятор;

*V* – швидкість вітру; *H* – висота вітроустановки; *h* – половина висоти робочої лопаті;

*n* – швидкість обертання робочої лопаті; *D* – діаметр розгортки лопатей

## Стан і перспективи розвитку вітроенергетики

У більшості розвинених країн в умовах державного стимулювання виробництва електроенергії на основі відновлювальних джерел енергії за останні роки досягнуто значного прогресу у будівництві та використанні ВЕУ.

Активно освоюється енергія вітру в країнах, що розвиваються, – Індії, Китаї, Бразилії, Єгипті та ін.

Завдяки впровадженню науково-технічних досягнень, збільшенню потужності вітроелектростанцій, що об’єднують ряд ВЕУ, вже на початку ХХІ ст. собівартість електроенергії, яка виробляється ВЕС, знизилась до 6–7 центів за кВт·год і практично зрівнялася із собівартістю електроенергії ТЕС, а з урахуванням додаткових витрат, пов’язаних з екологічними факторами, буде нижча. Питомі капіталовкладення, які приходяться на 1 кВт встановленої потужності, на потужних ВЕУ (порядку 1000 дол./кВт) менше, ніж на вугільних ТЕС. Подальше зниження вартості й підвищення ефективності ВЕС досягаються збільшенням потужності ВЕУ і ВЕС, зростанням техніко-економічних показників ВЕУ при впровадженні нових науково-технічних рішень.

Тому розвиток ВЕС прямує шляхом як збільшенням одиничної потужності ВЕУ, так і їх кількості в складі ВЕС і відповідно в цілому потужності ВЕС.

**Лекція № 6**

**6.1. Компоновка ВЕС**

Модульна компоновка ВЕС при збільшенні одиничної потужності за останні роки до 5 МВт і більше створює сприятливі умови для їх роботи в об’єднаних енергосистемах, дозволяє підвищити їх надійність і ефективність.

Найважливіший показник – коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) – зріс до 25%, а за прогнозами до 2030 р. може досягнути 30%.

Широкий розвиток отримало будівництво ВЕС на шельфі у прибережних в основному мілководних акваторіях в Данії, Нідерландах, Швеції, Великобританії та інших країнах. У Канаді розглядається можливість будівництва ВЕС потужністю 0,7 млн. кВт на озері Онтаріо. За прогнозами до 2010 р. виробництво електроенергії на шельфових ВЕС складе до 8% загального виробництва електроенергії на ВЕС.

У 2007 р. загальна потужність ВЕС у світі склала 94 млн. кВт з виробленням біля 200 млрд. кВт·год (1,2% світового виробництва електроенергії), в країнах ЄС – 57 млн. кВт з виробленням більше 3,3% всієї електроенергії, в тому числі в Німеччині – 22,2 млн. кВт (з виробленням біля 6% всієї електроенергії), Іспанії – 15,1 млн. кВт, Данії – 3,1 млн. кВт, Італії – 2,7 і Франції – 2,5 млн. кВт, а у США – 16,8 млн. кВт (зі збільшенням у 2008 р. до 25,1 млн. кВт), в Китаї – 6,0 млн. кВт (зі збільшенням у 2008 р. до 12,2 млн. кВт), в Індії – 8 млн. кВт.



|  |  |
| --- | --- |
| Будівництво прибережної ВЕС  в Німеччині | Тарханкутська ВЕС в Криму (Україна) |

У світі в середньому щорічний приріст потужності ВЕС наблизився до 30%.

За прогнозами до 2010 р. потужність ВЕС досягне 170 млн. кВт. У країнах, які є лідерами у використанні енергії вітру, до 2030 р. частка електроенергії, що виробляється на ВЕС, може досягнути: в Данії – до 50% загального вироблення, в Німеччині – до 30%, у США – до 20%.

Завдяки своїй доступності енергія вітру знаходить широке використання в малій вітроенергетиці, в локальних системах енергопостачання споживачів. В Україні є необхідність і існують умови для швидкого розвитку вітроенергетики. Однак Україна за рівнем використання енергії вітру знаходиться на 14-му місті серед країн Європи.

Найбільша в Україні Тарханкутська ВЕС розташована на мисі Тарханкут у Криму і введена в експлуатацію в 2001 р. На кінець будівництва її проектна потужність складе 70 МВт, а кількість вітроустановок буде доведена до 700. У 2008 р. станція включала 127 вітроустановок типу USW56-100 загальною установленою потужністю 13,5 МВт і чотири – типу Т600-48 потужністю 1,8 МВт.

**6.2. Характеристика елементів і систем ВЕУ**

Конструктивно ВЕУ складається з різних елементів, рис. 6.1. Для поліпшення аеродинаміки і підвищення міцності лопать ротора повинна володіти такими ознаками:

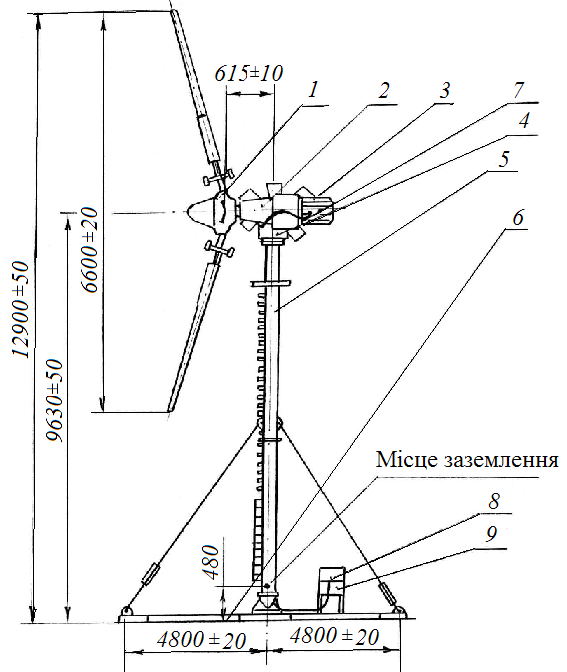


Рис. 6.1 – Вертикальна вітроустановка «Вітряк» (завод «Південмаш», Україна)

1. Вітроколесо. 2. Редуктор циліндричний. 3. Генератор. 4.Редуктор черв’яковий.

5. Башта. 6. Фундамент. 7. Кабель. 8. Блок автоматики. 9. Блок управління

1) використаний профіль (зазвичай авіаційний) з високим аеродинамічним якістю (відносини підйомної сили профілю до сили лобового опору),

2) присутня звуження лопаті (відношення ширини лопаті біля основи до ширини лопаті на кінці), яке може становити від 2 до 6,

3) присутній скрутка лопаті - зміна кута установки профілю лопаті (кут між площиною обертання і хордою профілю) по довжині відповідно до визначеного законом. Кількісно скрутка виражається різницею між кутом установки профілю лопаті біля основи і на кінці і може становити 10-20 град.

4) для збільшення міцності лопаті може мати змінну по довжині товщину профілю (відношення товщини профілю до його хорді), при цьому відносна товщина збільшується до основи, наприклад, від 0,2 до 0,1.

Для спрощення технології виготовлення лопатей геометрія може бути спрощена. Зокрема, може бути відсутнім скрутка і звуження. Спрощення форми лопаті може знизити потужність ВЕУ на 5-10 %.

В якості електричного перетворювача можна виділити наступні типи генераторів, які використовуються на ВЕУ: синхронний генератор з постійними магнітами; синхронний генератор з електричним збудженням; асинхронний генератор.

Електрична схема мережевий ВЕУ є найбільш дешевою і простою. Дана схема включає ведений мережею інвертор. Якщо генератор ВЕУ працює на змінній частоті обертання, то електрична схема може включати ще керований випрямляч.

Енергію вітру використовували вже тисячу років тому для помелу зерна, закачування води та виконання інших практичних завдань. Сьогодні, в усьому світі працюють сотні тисяч вітряних млинів, багато з яких використовують для прокачування води. Але енергія вітру вельми цікава для екологічно чистого варіанту вироблення електроенергії за допомогою вітрогенераторів.

Спроби виробництва електрики від енергії вітру робилися (з різним ступенем успіху), починаючи з кінця дев'ятнадцятого століття. Маленькі вітрогенератори для зарядки акумуляторів почали використовувати, починаючи з 1930-х. Однак тільки з 1980-х років розвиток вітроенергетики досягло такого рівня, що стало можливо використовувати великі вітроенергетичні установки для вироблення електрики. Вартість вітроенергетичних установок постійно знижувалася між початком 1980-х і початком 2000-х.

Вітер сьогодні є одним з рентабельних методів вироблення електрики, зважаючи на високу вартість корисних копалин. Удосконалення техніки веде до безперервного зниження її собівартості і безперервному підвищенню надійності обладнання.

Багато робіт присвячено цьому питанню, але немає конкретних рекомендацій щодо вибору електрогенератора для ВЕУ з урахуванням його потужності. Актуальним залишається питання вибору конструкцій ВЕУ за умовами підвищення їх ККД, зниження порогу мінімально допустимої швидкості вітру і, відповідно, розширення території їх можливого використання.

**Лекція № 7**

**7.1. Стабілізація частоти і напруги асинхронного генератора**

АГ, призначений для отримання трьох фазного струму постійної частоти при змінній частоті обертання, може бути виконаний з розміщенням обмотки збудження на статорі або на роторі. До недоліку відноситься наявність контактних кілець зі щітками в колі струму навантаження. З цієї причини область його застосування обмежується установками порівняно невеликої потужності. Для генераторів другого типу характерні більш значні потужності і можливість безконтактного виконання.

Обмотка якоря є вихідною. Незалежно від ставлення частоти обертання ротора до частоти обертання поля вона знаходиться в генераторному режимі. Обмотка збудження є вхідною. Режим її роботи залежить від ковзання.

Якщо ковзання позитивно, то вхідні обмотка, аналогічно обмотці статора АД, споживає активну реактивну потужності з мережі. При негативних ковзаннях переходить в режим АГ, віддаючи активну потужність в мережу, до якої приєднана, і споживаючи з цієї реактивну намагнічує потужність.

Активна потужність, що генерується обмоткою збудження, з енергетичних міркувань повинна повертатися на вал. Звідси випливає, що для збудження АГ доцільно використовувати синхронну машину, розташовану з ним на одному валу. Залежно від знаку ковзання, синхронна машина буде перебувати в генераторному або руховому режимі, будучи в тому і в іншому випадках збудником, тобто джерелом реактивне потужності.

У міру наближення частоти обертання ротора до синхронної активна і реактивна потужності кола збудження все більше зменшуються. При ковзанні *S* = 0 ротор збуджується постійним струмом. Реактивна потужність вхідний обмотки стає рівною нулю, а активна потужність визначається лише втратами в міді обмотки Струм збудження створює нерухоме щодо ротора магнітне поле, що обертається в просторі з синхронної кутовий швидкістю відповідної бажаної частоті на виході. При будь-якому відхиленні частоти обертання ротора від синхронної повинна бути виконана умова ω=const.

Для цього необхідно, щоб при виникненні нерівності по обмотці ротора протікав трифазний струм з певною послідовністю фаз. Так як магнітне поле, створене трифазним струмом збудження, обертається щодо ротора з кутовою швидкістю, то зі співвідношення

ω = ω*r* + ω0*r*

стає очевидною можливість виконання умови. Вона грунтується на утворенні обертового щодо ротора магнітного поля, частота обертання якого змінюється за значенням і напрямку в залежності від ковзання (рис. 7.1).

При відставанні ротора від поля по обмотці збудження протікає струм прямого проходження фаз. Величини і збігаються за напрямком, і їх арифметична сума дорівнює частоті обертання поля. У разі відставання поля ротор збуджується струмом зворотного проходження фаз. Напрямок обертання поля щодо ротора змінюється на протилежне, а алгебраїчна сума і дорівнює одній і тій же частоті обертання поля.

Зауважимо, що генерування електричної енергії принципово можливо також при позитивних ковзаннях *S*>1. Однак воно характеризується неприйнятними для практики енергетичними показниками.

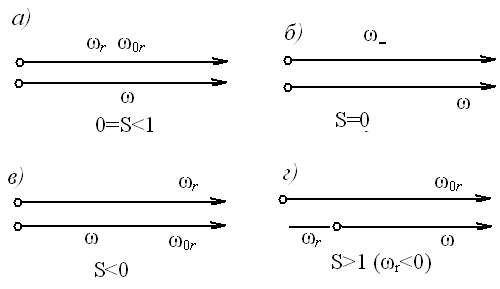


Рисунок 7.1 – Зміна значення та напряму відносної частоти обертання

магнітного поля в залежності від ковзання:

*а* – режим двигуна; *б* – генераторний режим; *в* – режим неробочого ходу:

*г* – режим противключення

Після підстановок

де *р —* число пар полюсів генератора, можна отримати вираз для частоти струму ротора, що задовольняє умові сталості частоти обертання поля:

.

На підставі рівнянь у вирази для ковзання  маємо .

З двох останніх виразів випливає, що *fB*=*f*1·*s*.

Частота обертання поля щодо ротора відповідно частота ковзання можуть формально приймати як позитивні, так і негативні значення. Поняття негативною частоти є умовним, пов'язаних з фізичним процесом генерування електричної енергії при випереджаючої по відношенню до поля частоті обертання ротора.

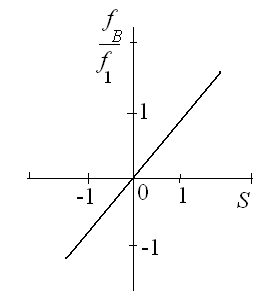


Рис. 7.2. Зависимость относительной частоты тока и ЭДС ротора от скольжения

Частота струму збудження, виражена у відносних одиницях, дорівнює ковзанню. Залежність являє собою пряму, що проходить через початок координат (рис. 7.2).

Поряд з частотою необхідно стабілізувати напругу на виході генератора. Основними чинниками, що впливають на вихідну напругу, є частота, значення і характер навантаження. Для ЕРС фази обмотки якоря видно, що при умова може бути виконано за допомогою впливу на основний магнітний потік Ф, що є функцією струму збудження.

Таким чином, стабілізація частоти і напруги АГ при змінюються частоті обертання і навантаження досягається регулюванням частоти і амплітуди струму збудження прямий або зворотній послідовності. При синхронній частоті обертання сталість напруги на виході забезпечується тими ж методами, які застосовуються по відношенню до синхронних генераторів

**7.2. Перспективи розвитку нетрадиційної енергетики в Україні**

За оцінками МЕА первинні енергоносії, або, як прийнято їх називати, класичні джерела отримання енергії, становлять сьогодні основу електроенергетики всіх країн. За даними МЕА електростанції працюють на таких видах первинних енергоносіїв: на нафті - 38%, на природному газі - 20%, на вугіллі - 27%, - що становить 85% від загального виробітку енергоресурсів. Решта 15% припадають на АЕС і на електростанції, що працюють від відновлюваних джерел енергії (ВДЕ).

Підвищення інтересу до ВДЕ викликало також сучасне подорожчання енергоносіїв (особливо нафти), яке викликало скорочення використання мінеральних паливних ресурсів для вироблення електроенергії.

В останні десятиліття вчені звернули увагу на можливість використання в якості нових джерел енергії потенціал екологічно чистих нетрадиційних відновлюваних джерел (НВД) - сонця, вітру, тепла землі, енергії морів і океанів, малих водних потоків і геотермальних джерел, енергії надлишкового тиску і тепла газових потоків... На рис. 1 наведено можливі джерела енергії і напрямки використання НВД.

В даний час загальна встановлена потужність енергосистеми України за різними джерелами оцінюється в 52900 МВт (за даними українських статистичних управлінь), або в 48000 МВт (за даними Європейського Банку Реконструкції та Розвитку).

Створення гідроакумулюючих і парогазових електростанцій дозволить достатньою мірою вирішити питання покриття пікових навантажень (джерела маневрених потужностей). Однак використовувати їх потужності для віддалених і малопотужних споживачів нерентабельне. До цієї групи споживачів слід віднести фермерські господарства, кордони лісників, пасіки, дачі, гірські селища і т.д. Відсутність розвинених ліній електропередач, досить великі відстані роблять можливим забезпечення електроенергією цих споживачів тільки за рахунок автономних джерел енергії-дизельних, сонце- і ВУ, рис. 7.3.

Сонячна енергетика для України можлива для дуже невеликого географічного регіону і не весь календарний рік, а інші нетрадиційні способи отримання енергії: приливні станції, гейзерні, геотермальні і т.д., - для України або не існують, або перебувають у стадії перших розробок. Тому основну увагу слід, на наш погляд, приділяти вітроенергетиці. З цього випливає проблема максимального використання і перетворення енергії вітру в електричну енергію. Для вирішення справжніх проблем основну роль відіграють ВУ невеликої потужності. З досвіду розвинених країн відомо, що добова потреба сім'ї у сільській місцевості становить до 2 кВт∙год., досить великого фермерського господарства - до 10 кВт, невеликого села (до 50 сімей) – 50 кВт∙год. Отже, для підтримки рівня життя в малих населених пунктах і в одиничних господарствах необхідно створювати системи малих енергоустановок.

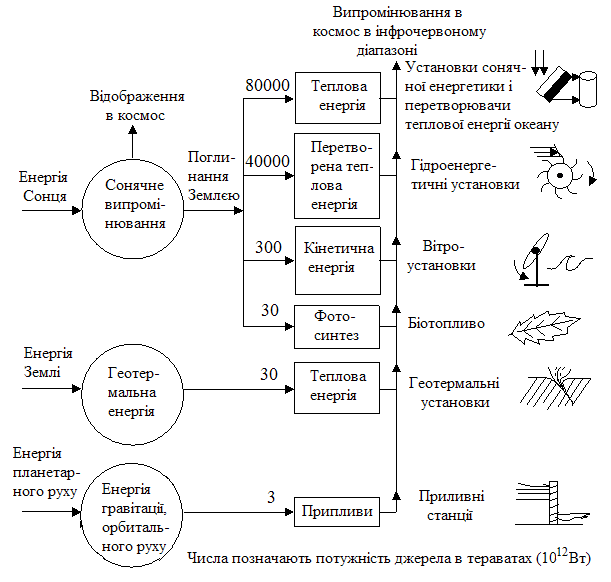


Рисунок 7.3 - Можливі джерела енергії і напрямки використання НВД

Мала вітроенергетика не вимагає великих територій. Локальні вітроенергетичні установки (ВЕУ) можуть бути встановлені практично скрізь, де середньорічна швидкість вітру не менше 4–5 м/с, а для тихохідних багато лопатевих ВЕУ не менше 3 м/с.

Орієнтирами для України можуть служити Національні програми інших країн:

1) США - до 2020 р. ввести в дію ВЕС загальною потужністю 50 ГВт;

2) Данія - до 2030 р. ввести в дію ВЕС загальною потужністю 9 ГВт.

Практика показує, що швидше розвиваються ВЕУ, які працюють паралельно з енергосистемою. Автономні установки через складнощі системи управління не завжди надійні і менш енергоємні і цій напрям стримується через проблеми технічного та теоретичного характеру. Однак це не заважає їх широкому практичному використанню. Так, у 2010 р. у світі функціонувало понад 1 млн. ВЕУ потужністю від 0,5 до 5 кВт, які використовувалися для господарських потреб. Промислова виробка електроенергії йде в напрямку збільшення потужності ВЕУ. Зараз в Данії встановлено ВЕУ потужністю до 10 МВт.

За планами розвитку ВЕУ в Україні до 2020 р. загальна потужність ВЕС повинна досягти 1,99 ГВт, а до 2030 р - 16 ГВт. У складі існуючих енергосистем планується будівництво ВЕС в Харківській області (Старий Салтів, Печенізьке і Комсомольське водосховища) та інших районах.

**До основних проблем створення та експлуатації** ВЕУ відносяться ефективність, безпека і надійність та облік впливу на навколишнє середовище.

**До основних технічних рішень слід віднести**:

1) вибір розрахункових параметрів ВЕУ і типу генератора,

2) визначення оптимального аеродинамічного профілю вітроколеса,

3) вибір конструктивних і компонувальних рішень основних вузлів,

4) визначення методів і способів монтажу.

Вибір розрахункових параметрів для кожної вітроустановки полягає:

1) у визначенні розрахункової швидкості вітру,

2) у визначенні одиничної потужності і розмірів, конструкції вітроколеса,

3) у визначенні встановленої потужності і типу генератора для ВЕУ,

4) у визначенні системи регулювання,

5) у визначенні умов монтажу та експлуатації ВЕУ.

Так як в Україні не великі середні швидкості вітру, то для використання ВЕУ для генерування електричної енергії гостро стає питання максимального використання енергії потоку вітру. У зв'язку з цим ведуться розробки модифікування вітродвигуна. Але також для виконання даного завдання необхідно підібрати такий електричний генератор, який максимально ефективно буде перетворювати механічну енергію вітроколеса в електричну енергію і з високим ступенем надійності забезпечити електропостачання споживачів.

**7.3. Аеродинаміка вітротурбін і аеродинамічні сили**

Вітрогенератори працюють в змінному середовищі, в повітрі. Об'єкт в повітряному потоці відчуває силу, яка на нього впливає (рис. 7.4). Ця сила еквівалентна двом складовим силам, чинним в перпендикулярних напрямках.

Ці сили називаються тягова сила (сила опору) і підйомна сила. Величини цих сил тяги і підйомної сили залежать від форми об'єкта, його орієнтації щодо напрямку повітряного потоку і швидкості повітряного потоку.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Рисунок 7.4 – На об'єкт в повітряному потоці діє сила, ***F***, від повітряного потоку, який складається з двох складових:  тягова сила, ***D***, діюча у відповідності з напрямком повітряного потоку;  і підйомна сила, ***L***, що діє під кутом 90°  до напрямку повітряного потоку |

Тягова сила - це складова, яка спрямована в напрямку повітряного потоку. Класичні вертикальні лопаті вітряка і водні колеса обертаються в основному горизонтальними силами тяги. При проектуванні об'єктів, для яких потрібно мінімізувати сили опору, необхідно вибирати таку форму, яка створює найкращий обтікання. Прикладами таких згладжених форм є форма сльозинки, форми риб, перетин крила літака.

Підйомна сила - складова, яка підходить під прямим кутом до напрямку повітряного потоку. Це сила «підйому», яка дозволяє літакам відірватися від землі і летіти, хоч в інших випадках вона створює можливість руху в різні сторони (як у вітрильних кораблях) або притискає вниз, як в спойлері автомобіля. Підйомна сила, що діє на плоску пластину, дуже мала при направленні повітряного потоку під кутом, що прагне до нуля до плоскої поверхні. При маленьких кутах щодо направлення повітряного потоку (так званий, кут атаки), на підвітряного стороні створюється область низького тиску, яка рухає в напрямку «вниз», тобто на «підвітряній» стороні.

Сила, яка дає можливість літати птахам, літакам і планерам, це підйомна сила, яка рухає сучасні парусні кораблі (яхти), підтримує і змушує літати вертольоти. Це ті ж сили, які створюють можливість сучасної ВУ виробляти електроенергію.

Вигин або опуклість плоскої пластини створює підйомну силу, залежну від створеного кута атаки, і контактної взаємодії з вигнутою стороною профілю пластини. Певний вплив чинить твердість крила, структура багатолопатевої конструкції вітроустановки. Для маложорстких варіантів лопатей вітроустановки ефективніше використання так званих, секцій крила, яких два основних виду: несиметричний і симетричний. Обидва варіанти мають явно виражену верхню поверхню, загострений кінець, «початок», (який збігається з напрямком руху повітряного потоку), і закінчення рельєфу, «кінець». Геометрія крил зараз проектується за допомогою спеціально створеного і постійно вдосконалюється програмного забезпечення. Нові форми крил проектуються і оптимізуються з урахуванням останніх вимог аеродинаміки. Такі ж вимоги і можливості використовуються при виборі форми лопатей вітроустановок. На рис. 7.5 представлені типові коефіцієнти підйому та тяги для обраного перетину крила. Знання цих коефіцієнтів вельми важливо для вибору форми перетину крила і лопатей вітроустановок.

Величини підйомної сила і сили тяги пропорційно пов'язані з величиною вироблюваної вітром електроенергії. По розташуванню осі ротора виділяють вітрогенератори з горизонтальною віссю і вертикальною віссю. В основному сучасні вітрогенератори мають горизонтальну вісь обертання (до 95%), тому вони мають такі переваги порівняно з роторами з вертикальною віссю:

1) більш високий ККД, і менші масогабаритні показники;

2) в них легше регулювати потужність і здійснювати буревій захист;

3) у них краще рушання ротора в слабкий вітер.

Малопотужні ВЕУ з вертикальною віссю обертання застосовують у випадках необхідності зниження робочого шуму, у них простіше конструкція і відсутня необхідність орієнтації ротора на вітер. Тому подальша класифікація приведена для вітрогенераторів з горизонтальною віссю обертання.

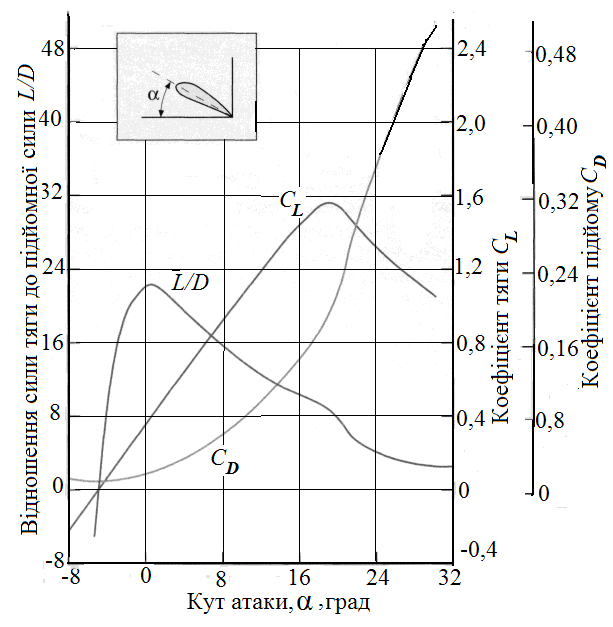


Рисунок 7.5 - Типові коефіцієнти підйому та тяги для обраного перетину крила

Коефіцієнт тяги *CL*, коефіцієнт підйому *CD*, і відношення сили тяги

до підйомної сили, (L/D), для різних значень кута атаки α. Область практичного

використання відповідає куту атаки тільки праворуч від піку в кривій *CL*

**За швидкохідності ВЕУ діляться на швидкохідні і тихохідні**.

Ротор швидкохідних ВЕУ має 2 або 3 лопаті з аеродинамічним профілем. Тихохідні ВЕУ мають 6 і більше лопатей зі спрощеним профілем з листового матеріалу. Швидкохідні ВЕУ мають більш високий ККД і високу частоту обертання, але малий стартовий момент ротора. Незважаючи на більш високу вартість, більшого поширення набули швидкохідні 3-х лопатеві ВГ, ніж 2-х лопатеві.

У 3-х лопатевих роторів менше вібрації і виглядають вони більш естетично.

За встановленої потужності ВЕУ можна класифікувати наступним чином:

1) ВЕУ малої потужності (встановлена потужність до 100 кВт);

2) ВЕУ середньої потужності (встановлена потужність від 100 до 1000кВт);

3) ВЕУ мегаватного класу (встановлена потужність більше 1000 кВт).

За типом споживання енергії розрізняють автономні вітроустановки і вітроустановки мережевого призначення. У першому випадку ВЕУ здійснюють енергопостачання віддалених від центральних електромереж споживачів. У другому випадку споруджуються ВЕС, що налічують кілька десятків або сотень великих вітроустановок, які віддають енергію в мережу. Як правило, мережеві установки мають потужність понад 100 кВт, а автономні менше 100 кВт. Через мінливість швидкості вітру автономні ВЕУ не можуть забезпечити гарантоване енергопостачання. При роботі ВЕУ на електричну мережу проблема гарантованого енергозабезпечення вирішується автоматично, так як ВЕУ не є основним джерелом енергії.

Для забезпечення гарантованого енергозабезпечення автономні ВЕУ доповнюються системами акумулювання енергії або використовуються спільно з традиційними енергоустановками, такими як дизельні та бензинові електростанції, печі та теплові котли.

Для заохочення розробок і впровадження ВЕУ, уряди низки країн (Швеція, Данія, Норвегія, Великобританія, Австрія) видають приватним фірмам великі субсидії, які доходять часом до 35-50% капітальних вкладень.

Темпи створення ВЕУ в країнах СНД відстають від темпів розвитку цього напрямку в інших розвинених країн. Це відбувається, перш за все, через відсутність дієвого господарського механізму, стимулюючого розвиток децентралізованої енергетики, непідготовленості машинобудування до серійного випуску сучасного ефективного обладнання для таких установок. Негативний вплив справила також стратегія розвитку енергетики в 60-ті - 80-ті роки - орієнтація на будівництво великих електростанцій у зв'язку зі значним зростанням видобутку нафти і природного газу.

Широкий спектр областей використання характерний для сучасних автономних вітроенергетичних установок (ВЕУ). Крім забезпечення електроенергією різних автономних споживачів, вони застосовуються для вироблення тепла і механічної енергії, необхідних в різних сферах промисловості, сільського господарства і життя суспільства, а при певних умовах ці установки працюють на єдину енергосистему.

**Лекція № 8**

**8.1. Загальні відомості про вітроенергетичні установки (ВЕУ)**

У програмах з розвитку вітроенергетики в СНД, і зокрема, за програмою "Екологічно чиста енергетика" передбачено створення великого числа ВЕУ в діапазоні потужностей від 0,25 - 1,0 кВт до 1250 кВт:

1) Малі, універсальні ВЕУ - розробляють для автономних споживачів.

2) ВЕУ потужністю 1250 кВт створені для освоєння екологічних і конструктивних переваг вертикальних осьових схем установок великої потужності, завдяки чому в подальшому можна вирішувати задачу створення ВЕС потужністю 10 - 15 МВт.

3) ВЕУ потужністю 250 - 400 кВт створюються, як уніфіковані агрегати для роботи паралельно з енергосистемою.

4) ВЕУ потужністю 100 кВт призначена для електро- і теплопостачання споживачів, віддалених від центральних електромереж і знаходяться в зонах зі сприятливими вітровими навантаженнями. Те ж саме відноситься до уніфікованої ВЕУ потужністю 30 кВт, що служить для забезпечення автономних споживачів.

Уніфікована ВЕУ потужністю до 8 кВт в залежності від комплектації та умов роботи передбачає різні варіанти виконання (потужністю 8; 5,5; 4 і 3 кВт), [4].

Вітроенергетична техніка в порівнянні з іншими джерелами енергії володіє очевидними перевагами. Серед них:

- відсутність витрат на видобуток і транспортування палива;

- низькі питомі трудовитрати на спорудження (ВЕУ) - ці витрати на порядок менше, ніж на теплових і атомних станціях;

- широкий технологічний діапазон прямого використання енергії ВЕУ (зокрема, автономність і робота в централізованих мережах, сумісність з іншими джерелами енергії);

- короткі терміни введення потужностей в експлуатацію;

- відсутність шкідливого впливу на навколишнє середовище (в цьому відношенні вітротехніка поступається лише геліосистемам).

Науково-технічна та патентна інформація багата різними пропозиціями щодо вдосконалення і розвитку ВЕУ. У більшості випадків в них переслідуються цілі:

1) підвищення ефективності установок, коефіцієнта використання вітру, надійності, часу роботи, терміну служби,

2) спрощення конструкції агрегатів і систем та ін.

Нижче наведено огляд найбільш характерних пропозицій вдосконалення вітроустановок.

**8.2. Пропозиції щодо вибору типу електричних генераторів для ВЕУ**

В останні десятиліття вчені звернули увагу на можливість використовувати в якості нового джерела енергії - потенціал нетрадиційних відновлюваних досить екологічно чистих джерел енергії (НВДЕ) - сонця, вітру, тепла землі, енергії морів і океанів, малих водних потоків і геотермальних джерел , енергії надлишкового тиску і тепла газових потоків, силікатних композицій.

За деякими оцінками, до середини майбутнього століття ВЕС, можливо, будуть забезпечувати 10% споживання електроенергії в світі.

2) механічні елементи установки (висоту вежі, тип лопатей і систему їх кріплення, орієнтації по «розі вітрів», систему протибуревого захисту).

3) треба переконатися, що скомпоновані елементи будуть відповідати рівню ВЕУ, вимогам підвищення потужності в одиниці виконання, вимогам енергозбереження і надійності.

В даний час все частіше доводиться зустрічатися з завданням поєднання в одному виконавця різних напрямків діяльності, які раніше були чітко розмежовані. Наприклад, виробництво електричних машин йшло на одному підприємстві, а всі системи управління виконувалися на інших. Особливості сучасних конструктивних рішень електричних машин, зміна їх системи управління, нарешті, навіть областей використання призвело до того, що стало недоцільним розділяти ці виробництва. Система управління є складовою частиною машини, тому проектування, виготовлення та випробування краще в єдиному комплексі.

Тому вибір і комплектація складових частин ВЕУ повинні вестися в комплексі:

1) необхідно вибрати окремі компонувальні складові: генератор; систему випрямлення, інвертування, збудження;

Кожен із зазначених типів генераторів має переваги і недоліки, табл. 8.1.

Для вирішення цих проблем основну роль грають вітроустановки невеликої потужності. З досвіду розвинених країн відомо, що добова по-потреба сім'ї в сільській місцевості становить до 2 кВт·год., досить великого фермерського господарства - до 10 кВт, невеликого села (до 50 сімей) - 50 кВт·год.

Таблиця 8.1 - Порівняння генераторів для ВЕУ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № з/п | Генератор | Переваги | Недоліки |
| 1 | **АГ з к.з. ротором** | 1) простота в обслуговуванні і надійність,  2) невисока вартість.  3) мають порівняно малі коливання генерується потужності, електромагнітного моменту і струму при паралельній роботі і при змінної швидкості вітру і його поривах.  4) можливо встановлювати безредукторні установки з малими масогабаритними показниками, високим ККД і можливістю регулювати напругу в широких межах за рахунок зміни струму збудження. | 1) необхідність встановлення редукторів, тому треба використовувати дешеві тихохідні турбіни (з частотою обертання 20–30 об/хв.). Тому генератор приєднують через редуктор з високим коефіцієнтом перетворення (Кред = 50–70), що потребує додаткових витрат на установку, обслуговування, ремонт, знижує надійність, є джерелом механічного шуму;  2) неможливо управляти режимними параметрами, що буває необхідно при поривчастим вітром;  3) для роботи в автономному режимі необхідний автономне джерело реактивної потужності;  4) обмеження в промисловому застосуванні через спотвореної форми вихідної напруги і незадовільних динамічних властивостей. |
| 2 | **СГ з магнітоелектричним збудженням** | 1) виключення ковзаючого контакту  2) висока надійність роботи,  3) високе значення ККД. | 1) необхідність придбання дорогих постійних магнітів, технологія яких в Україні не відпрацьована.  2) сталість магнітного потоку, тобто неможливість його регулювати.  3) висока вартість.  4) відсутність вітчизняної бази виробництва. |
| 3 | **АГ з фазним ротором** | 1) Можливо використовувати в автономних системах в поєднанні з іншими машинами. Можливо каскадне з'єднання двох АГ або з'єднання АГ і ДПТ з паралельним збудженням.  2) простота в обслуговуванні;  3) надійність,  4) мають порівняно малі коливання генеруємої потужності, електромагнітного моменту і струму при паралельній роботі і при змінної швидкості вітру і його поривах. | 1) необхідність встановлення редукторів, тому використовують дешеві тихохідні турбіни (з частотою обертання 20–30 об/хв.). Тому генератор при-з'єднують через редуктор з високим коефіцієнтом перетворення (Кред = 50–70), що вимагає додаткових витрат на установку, обслуговування, ремонт, знижує надійність, є джерелом механічного шуму.  2) неможливо управляти режимними параметрами, що буває необхідно при поривчастому вітрі;  3) для роботи в автономному режимі необхідне автономне джерело реактивної потужності;  4) обмеження в промисловому застосуванні через спотвореної форми вихідної напруги і незадовільні динамічні властивості.  5) наявність ковзаючого контакту, що знижує надійність. |

Закінчення табл. 8.1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  з/п | | Генератор | | Переваги | Недоліки | |
| 4 | | **СГ з електромагнітним збудженням** | При застосуванні перетворювача з явною ланкою постійного струму і інвертором напруги при широтно - імпульсному управлінні можливо отримати в струмі мережі низький склад гармонік, поліпшити динамічні властивості об'єкта, можливо керувати реактивну потужність з боку генератора. | 1) висока вартість, складність конструкції, більш низька надійність, ніж у АМ;  2) наявність ковзаючого контакту і необхідність в джерелі постійного струму для обмотки збудження;  3) значне ускладнення, збільшення ваги і подорожчання конструкції при необхідності безредукторної установки;  4) жорстка залежність частоти ЕРС від швидкості обертання. Це обмежує, а в регіонах з різкими поривами вітру унеможливлює, використання СГ для прямого включення в мережу без напівпровідникового перетворювач частоти.  5) Для забезпечення параметрів струму і напруги з допустимими технічними характеристиками необхідно застосовувати перетворювачі з явною ланкою постійного струму і інвертором напруги. |
| 5 | | **Асинхронізований синхронний**  **генератор** | | 1) Можливо використовувати в автономних системах в поєднанні з іншими машинами. Можливо каскадне з'єднання з АГ або з'єднання АГ і ДПТ з паралельним збудженням.  2) Велика стійкість. | 1) Наявність на роторі ковзаючого контакту для підведення напруги до обмотки збудження ротора;  2) необхідно використання перетворювача частоти для регулювання напруги збудження;  3) при відхиленні швидкості вала від синхронної потрібно значне збільшення реактивної потужності і напруги, що підводяться до обмотці збудження;  4) при наближенні ковзання до нуля і наявності несинусоїдальності у випрямлячі, живильному обмотку збудження, в напрузі генератора виникають значні субгармонічні складові;  5) при паралельній роботі та регулюванні напруги за величиною і фазою ковзання, в напрузі виникають пульсації, що практично повторюють пульсації моменту вітротурбіни. | |
| 6 | | **Спеціальні СГ з**  **магнітоелектричним збудженням** | | 1) виключення ковзаючого контакту;  2) прості та зручні в експлуатації;  3) високе значення ККД;  4) зберігають стійкі робочі характеристики протягом не менше десяти років. | 1) необхідність у придбанні дорогих постійних магнітів, технологія яких до кінця в Україні не відпрацьована;  2) сталість магнітного потоку, тобто неможливість його регулювати;  3) висока вартість генераторів;  4) відсутність вітчизняної бази виробництва. | |

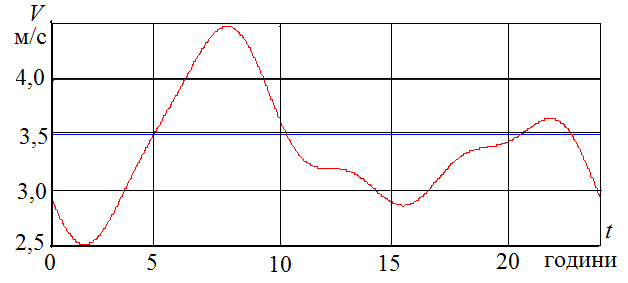


Рисунок 8.1 - Зміна швидкості вітру протягом доби (16.01.2014 р.)

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рисунок 8.2 - Типичная кривая зависимости мощности ВЭУ от скорости  вращения | Рисунок 8.3 - Зависимость выработки  электроэнергии в течение года одной ВЭУ  в зависимости от скорости ветра при  среднемесячной выработке электроэнергии  по графику, представленному на рис. 8.2 |

Отже, для підтримки рівня життя в дрібних населених пунктах і в господарствах необхідно створювати системи малих енергоустановок. Мала вітроенергетика не вимагає великих територій. Локальні вітроенергетичні установки (ВЕУ) можуть бути встановлені практичне всюди, де середньорічна швидкість вітру не менше 4-5 м /с, а для тихохідних багатолопатевих ВЕУ – не менше 3 м/с.

Європа, де вже зараз виробляється 70 - 75% всієї вітротехніки, є лідером в світовому виробництві та використанні енергії вітру. За даними Європейської енергетичної комісії протягом поточного десятиріччя потужність ВЕС в країнах Європи зросте до 40000 МВт і до 100000 МВт до 2020.

Настільки інтенсивний розвиток вітроенергетики спостерігається не тільки в Європі, але і в багатьох країнах світу. Це підтверджує те, що вітроенергетика, як екологічно чистий поновлюване джерело енергії, в майбутньому стане одним з важливих джерел вирішення енергетичних потреб людства.

Чим довший інтервал часу вимірювання, тим точніше оцінка розподілення швидкості вітру. Потужність залежить від швидкості вітру в кубі, тому навіть маленька помилка у визначенні швидкості може призвести до великої похибки при встановленні величини вироблюваної електроенергії. Для остаточної оцінки величини вироблюваної енергії слід враховувати втрати передачі електроенергії і коефіцієнт готовності вітротурбіни. Коефіцієнт готовності визначається надійністю монтажу і визначає частину (або відсоток) часу, коли ведеться вироблення електроенергії з урахуванням поломок вітроустановки. Звичайні комерційні ВЕУ мають щорічний коефіцієнт готовності до 90%, деякі - до 95–98%.

Напрямок вітру зазвичай грає меншу роль з точки зору ефективності роботи ВЕУ. Однак в різних ландшафтах вітри різних румбів мають неоднакову поривчастість і швидкість. Їх повторюваність визначають по розі вітрів - графіку, поки-показують, який відсоток загального пори року вітер має той чи інший напрямок. Кутові градієнти швидкості істотно впливають на роботу механізмів автоматичної орієнтації і на величину гіроскопічних навантажень.

Потужність ВЕУ:

Відповідно до думки багатьох дослідників, якщо відомо середнє значення швидкості вітру на майданчику установки вітротурбін, то орієнтовно вироблена електроенергія в рік (*Е*, кВт\*год.) може бути розрахована:

*Е* = *К*·*Vm*3·*At·N*, кВт·год.

де *К* = 3,2 – чисельний коефіцієнт, отриманий для типових характеристик роботи вітрогенератора, знання приблизного значення середньої швидкості і частоти зміни швидкості вітру.

*Vm* **–** середньорічна швидкість вітру через перетин поверхні, утвореної лопатями вітротурбіни, м/с; *At* **-** перетин поверхні, утвореної лопатями вітротурбіни, м2;

*N* **–** число вітроенергетичних установок, шт.

Важливою характеристикою вітроколеса є також число лопатей. У більшості застосовуваних в світі ВЕУ число лопатей не перевищує чотирьох, при цьому генерується потужність залежить в основному від захоплюваної ВК площі і мало залежить від числа лопатей. В системі двох лопатей є небезпека виникнення биття, оскільки при обертанні центр мас лопатей може не збігатися з віссю обертання і лопаті можуть прогинатися під власною вагою. Застосування противаг усуває це зміщення, однак, навіть будучи врівноваженим, дволопатеве вітроколесо вібрує з подвоєною частотою обертання, що при накладенні на коливання опори може привести до руйнування ВЕУ.

Ці недоліки відсутні в трилопатевий вітроколесі, яке врівноважують шляхом балансування, наприклад, за допомогою противаг.

Ширина і товщина лопатей практично не впливають на величину потужності, однак більш тонкі лопаті дозволяють досягти більш високих швидкостей обертання завдяки зменшенню власної маси і тертя об повітря.

Тихохідні генератори можуть бути з'єднані з вітроколесом безпосередньо, без редуктора, і працювати при змінній частоті обертання в широкому діапазоні її зміни, що дозволяє зменшити габарити агрегату в цілому, спростити передавальні вузли і, отже, зменшити витрату матеріалів. Техніко-економічні дані, ступінь складності, надійність роботи, собівартість, термін окупності та інші показники дозволяють говорити про доцільність подальшого пошуку систем генерування з використанням оптимальних безконтактних низько оборотних генераторів з автоматичною системою регулювання напруги.

При роботі синхронної ВЕУ паралельно з енергосистемою коливання крутного моменту на вітродвигунів не повинні перевищувати (30 - 50)% Мн що виключає небезпека випадання СГ із синхронізму, при цьому необхідно, щоб синхронна машина володіла достатнім запасом динамічної стійкості в періоди впливу раптово виникають поривів вітрового потоку.

ВЕУ з АГ, підключеним на паралельну роботу з мережею, перетворює енергію вітрового потоку в електроенергію трифазного змінного струму і віддає її в мережу. При цьому коливання частоти обертання ротора АГ по відношенню до номінальної частоті обертання повинні бути не більше 2%, що пов'язано з необхідністю забезпечити значний запас динамічної стійкості по моменту. Разом з тим асинхронна ВЕУ повинна мати захист від перевищення частоти обертання, оскільки при дуже сильних поривах вітрового потоку аеродинамічний момент вітродвигуна може перевищити максимальний момент АГ, в результаті чого він може перейти на нестійкий ділянку механічної характеристики.

Відзначимо, що сумарний коефіцієнт використання енергії вітрового потоку асинхронного ВЕУ нижче, ніж у синхронної, що пов'язано зі споживанням з мережі реактивного струму на збудження і зниженням величини cosφ.

Для асинхронної ВЕУ великої потужності вельми ефективним способом підвищення економічності, стабілізації напруги і частоти може бути використання синхронного компенсатора, який постачає асинхронну ВЕУ реактивним струмом намагнічування і дає можливість повної автоматизації процесу регулювання реактивної потужності, коефіцієнта потужності cosφ і в певних межах стабілізувати напругу на клемах генератора .

Досвід експлуатації генераторів з постійними магнітами показав, що вони мають певною перевагою в порівнянні з розглянутими системами в частині забезпечення високого ККД, але це реалізується в основному в ВЕУ малих потужностей.

**8.3. Узгодження потужностей вітродвигуна і генератора при змінній частоті**

**обертання ВЕУ**

При проектуванні ВЕУ необхідно забезпечити стійку роботу установки в усьому діапазоні розрахункових швидкостей вітру. У кожній точці механічної характеристики ВЕУ необхідно мати рівність потужностей вітродвигуна і генератора. Механічна потужність ВД певним чином залежить від швидкості вітру і частоти обертання, причому кожної швидкості вітру v при певній кутовий частоті обертання відповідає максимум розвивається ветродвігателем механічної потужності (рис. 8.4).

Електромагнітна потужність генератора в загальному випадку також є функцією частоти обертання ротора, а точка робочого режиму ВЕУ знаходиться на перетині двох характеристик. Цією точкою визначається виробляється електромагнітна потужність за вирахуванням втрат в генераторі.

Реальна робота ВЕУ малої потужності при змінній частоті обертання і швидкості вітру представлена на рис. 8.4, де побудовані у відносних одиницях механічні характеристики ВД - залежність потужності Р від кутової частоти обертання ротора Ω при реальних швидкостях вітру v в діапазоні від 7 до 22 м/с. Лінійна частина всіх характеристик (лінії а-а ', в-в', с-с ", і d-d ') відповідає робочій (стійкою) частини механічних характеристик.

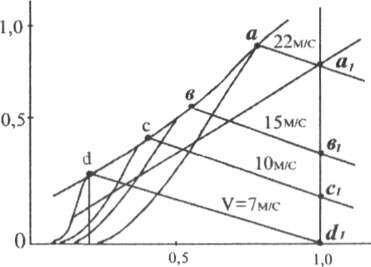


Рисунок 8.4 – Механічні характеристики вітродвигуна при різних швидкостях вітру

Номінального режиму роботи ВЕУ відповідає точка *а*'. При Ω = const і змінної швидкості вітру все робочі точки розташовуються на вертикальній пунктирною прямий *a*'-*d*'. При змінній частоті обертання (Ω →var) можна забезпечити роботу при всіх швидкостях вітру в точках, близько розташованих до максимальних (точки *а, в, с* і *d*). Як видно, при такій роботі збільшується в цілому потужність, що видається ВД, а значить, збільшується і вироблення електроенергії, що дозволяє більш ефективно використовувати вітропотенціал місцевості. Наприклад, при Ωном = const і *v* = 7,5 м / с (точка *d*') потужність вже практично дорівнює нулю, так як при Ω→var ця потужність складає майже 25% від номінальної ВЕУ.

При зміні навантаження і *v* = const робота відбувається за однією з характеристик - *аа*', *bb*', *сс*' або *dd*'. При цьому зі зменшенням *Р* зростає частота обертання Ω. Для звичайного, наприклад, синхронного генератора з метою забезпечення підтримки частоти вихідної напруги в заданих межах потрібно досить складне регулювання кута повороту лопатей, так як при Ω →Var таке регулювання взагалі не потрібно або достатня грубе регулювання шляхом повороту лопатей щодо поздовжніх осей.

Таким чином, для установок невеликої потужності може бути досить перспективною система, що складається з електричних машин змінного струму та транзисторних або тиристорних перетворювачів частоти, що приводяться вітродвигуном, які працюють зі змінною частотою обертання. Таке технічне рішення дає можливість значно знизити вартість ВЕУ в цілому.

Що розвивається генератором електромагнітна потужність повинна збільшуватися з ростом швидкості вітру v тільки до точок *d, с, в, а*, де він починає виробляти номінальну потужність, а ВД розвиває механічну потужність, відповідну номінальній швидкості *v*ном вітрового потоку. Оскільки допустима електромагнітна потужність генератора в загальному випадку кінцева, при подальшому збільшенні швидкості вітрового потоку потужність вітродвигуна повинна бути обмежена рівнем *Р*ном з кутовий швидкістю обертання ωном з регулюванням кута установка лопатей.

Для забезпечення стійкої роботи ВЕУ геометричне місце робочих точок повинно лежати на кривій *d-с-в-а*, що представляє собою геометричне місце максимумів сімейства механічних характеристик ВЕУ при різних швидкостях вітрового потоку. Якщо вибирати електричний генератор для роботи в точках *d, с, в, а*, тобто в точках характеристик, відповідних максимально можливої розвивається механічної потужності ВД, то ясно, що в такому режимі ВД буде працювати незначний час.

В результаті електрична машина буде використовуватися неефективно в переважної частини всього терміну експлуатації ВЕУ через низькі значень коефіцієнта навантаження.

Кутові швидкості обертання вітродвигунів існуючих конструкцій ВЕУ лежать в діапазоні 25 ... 300 об/хв., причому менші значення відповідають більш потужним установкам. Кутові швидкості обертання роторів сучасних електричних машин характеризуються діапазоном 750 - 1500 об/хв. Отже, для узгодження потужностей ВД і електричного генератора перш за все необхідно використовувати мультиплікатор з передавальним відношенням порядку 5 - 30. Застосування на ВЕУ, перш за все великої потужності, тихохідних електричних генераторів зі швидкостями обертання того ж порядку, що і швидкості обертання ВД, недоцільно як з технічної, так і з економічної точки зору, а створення і експлуатація високошвидкісних конструкцій ВД, особливо для ВЕУ середньої і великої потужності, небезпечно з міркувань забезпечення жорсткості, міцності і запобігання можливих механічних резонансів.

Тому правильний вибір оптимального передаточного відносини мультиплікатора і забезпечує більш ефективне узгодження потужних характеристик ВД і електричного генератора в широкому діапазоні швидкостей вітру.

З енергетичної точки зору для узгодження розглянутих потужних характеристик необхідно відповідним чином регулювати або потужність збудження електричного генератора, або кути установки лопатей, або кути установки тиристорів випрямляча і інвертора. Іншими способами домогтися високої ефективності роботи ВЕУ складно.

За планами розвитку ВЕУ в Україні до 2010 р загальна потужність ВЕС повинна досягти 1990 МВт, а до 2030 року – 16000 МВт, при цьому щорічне виробництво електроенергії на базі ВЕУ планується вивести на рівень 20 - 35% від загальної кількості вироблюваної в країні електроенергії.

Перспективними для впровадження вітроенергетики в Україні є райони, де середньорічні швидкості вітру перевищують 5 м/с. Це Азово-Чорноморська зона, рівнинний і гірський Крим, Карпати, Донецька і Луганська області, де середньорічні швидкості вітру досягають 6,5-7,5 м/с. В Україні в даний час працює 6 ВЕС, а всього змонтовано (і монтується) 11 ВЕС з названої вище встановленою потужністю.

Відомо, що енергетичний потенціал вітру на воді вище, ніж на суші, в 2 - 3 рази. Тому в ряді країн вітростанції розміщують на мілководді, що дозволяє підвищити ефективність їх використання. Так, наприклад, пілотний проект офшорної ВЕС «Борлум Вест» в Німеччині включає 12 вітротурбін по 5 МВт кожна, розміщених в 45 км на північ від острова Борлум в Північному морі.

У перспективі планується довести потужність цієї ВЕС до 1000 МВт. У планах розвитку вітроенергетики України - будівництво офшорних ВЕС на мілководних акваторіях Сиваша, Азовського і Чорного морів, Дніпро-Бузького лиману, внутрішніх водойм. Сюди ж відносяться пропозиції про створення ВЕУ на понтонах або на палях. Розрахунки показують, що за допомогою вітроустановок з таким розміщенням можна отримувати 10–15 % всієї електроенергії, що виробляється в Україні.

**Лекція № 9**

**РОТОРНІ (ортогональні) ВІТРОУСТАНОВКИ**

Відмінні експлуатаційні та технічні характеристики ортогональних (роторних) вітроустановок, оригінальний зовнішній вигляд, плавне безшумне обертання ротора, цікавий дизайн, екологічність і сучасність - все це свідчить про перспективність цього напрямку. На вітроустановках "Махаон" з вертикальною віссю обертання використовуються низькообертовий генератори з збудженням від постійних магнітів *NdFeB*. На відміну від генераторів, що застосовуються на класичних гвинтових установках, номінальна швидкість обертання становить 200-300 об/хв. Тому при малих і середніх вітрах (від 3 до 7 м/с). ККД роторних установок "Махаон" значно вище, ніж гвинтових .

Вітродвигун (ротор) вітроустановок "Махаон" виготовляється з двома або трьома вертикальними крилами на кожному ярусі, і різними екранами. Для вітроустановок потужністю 2 кВт і вище, що встановлюються в районах з помірними вітрами 5-7 м/с, доцільно використовувати вітроустановки з "трипелюсткова" ротором. В цьому випадку менше швидкість обертання ротора, але більше тяга вітродвигунів і здатність установки стійко працювати при малих вітрах. Установки випускаються з роторами в одноярусному і двоярусному виконанні в залежності від потужності встановленого генератора.

Генератор з мультиплікатором встановлюється вертикально на столі-опорі під ротором. Обертання передається від ротора на генератор безпосередньо або за допомогою мультиплікатора. Стіл-опора закритий знімними щитами-екранами від впливу зовнішнього середовища. При необхідності щити легко зняти для доступу до генератора і передавальному механізму. Струмоведучий кабель від генератора спускається вниз всередині стовбура щогли. Генератор однофазний, змінного струму зі збудженням від постійних магнітів, розташованих на роторі. Практично не вимагає обслуговування в процесі всього часу експлуатації. Розрахунковий термін експлуатації 15 років. Номінальна швидкість обертання генератора - 200-300 об/хв в залежності від потужності генератора. Генератор має низький момент страгивания, практично рівний нулю, що дозволяє почати вироблення електроенергії при швидкості вітру 2,2 м/с.

Ротор вітроустановки виготовлений із пластику. Вертикально розташовані лопаті кріпляться до горизонтальних несучих площинах. Всередині ротора встановлюються екрани, що покращують аеродинамічні характеристики ротора. Висота лопатей і екранів одного ярусу становить 2 метри, висота двох'ярусного ротора - від 3 до 4 метрів, діаметр ротора 2,0 - 3,5 метра. Ротор встановлюється всередині утримує рамки, виготовленої зі сталевих профільних труб. Для центрування ротора і утримання вітроустановки, до рамки кріпляться троси-розтяжки, нижні кінці яких закріплені у нижніх опор підстави щогли. Регулювання натягу здійснюється талрепами в нижній частині розтяжок.

Опорно-монтажний стіл роторної вітроустановки дозволяє встановити її на даху будівлі, будь-який інший щоглі або стовпі без комплектування штатної щоглою.

Роторні установки абсолютно безшумні, мають порівняно малу швидкість обертання ротора (до 200 об/хв), працюють в широкому діапазоні вітрів (від 2 до 50 м/с), не бояться штормових вітрів, не вимагають орієнтації на вітер, здатні добре працювати при низовому або сквозняковому вірі, тому не вимагають високого підйому ротора над землею.

Серійна одноярусна роторна установка потужністю 1 кВт на секційній щоглі

* **Переваги роторних вітроустановок**
* - не бояться різких короткочасних поривів вітру;
* • не бояться снігопадів, обмерзання, відмінно працюють в умовах сніжної зими, навіть за умови налипання снігу на ротор;
* • легко починає обертатися при вітри менше 1 м/с.
* • ротор не стоїть на місці (в одній площині, як повітряний гвинт), а постійно йде від вітру, тому установки не бояться штормових вітрів і легко, без додаткових заходів безпеки, в тому числі конструктивних, використовуються в більш широкому діапазоні вітрів (від 2 до 50 м/с). З підвищенням швидкості вітру тільки збільшується стійкість (ефект дзиги або гіроскопа);
* • ефективна робота при малих швидкостях вітру (3-4 м/с);
* • модульність конструкції ротора дозволяє нарощувати необхідну потужність установки за рахунок кількості модулів;
* • можливість монтажу установки на різних площах (дахи будівель, платформи, вишки, мобільні споруди (битовки, вагончики та ін.);
* • повна безшумність при всіх режимах роботи;
* • відсутність необхідності флюгерної системи, яка орієнтує гвинт на вітер, що дозволяє установці працювати при нестійких у напрямку вітрах, при різкій зміні напряму вітру;
* • порівняно мала швидкість обертання ротора (до 200 об/хв.) збільшує ресурс роботи підшипників, інтервал між мастилом рухомих поверхонь, загальний ресурс роботи;
* • нерухомий, розміщений нижче ротора генератор доступний для огляду і обслуговування практично завжди без зупинки і демонтажу установки;
* • можливість "підстроювання" системи під конкретну місцевість з певною середньою швидкістю вітру, оскільки передача обертання від ротора на генератор здійснюється через мультиплікатор. Змінюючи передавальні числа можна домогтися найбільшої ефективності в конкретному місці експлуатації установки;
* • можливість використання приземного низового вітру, а також сквознякового - уздовж вулиць, будівель, враховуючи рельєф місцевості.

**Пристрій роторної установки**

Роторна установка складається з лопатей-крил, крил-екранів, ступиці з опорними підшипниками, центральної осі ротора. Роторний двигун встановлюється всередині опорної рамки, яка кріпиться до двох горизонтальних пластин і верхньому майданчику опорно-монтажного столу. Опорно-монтажний стіл складається з верхньої та нижньої майданчиків, з'єднаних опорними стійками, встановлюється на верхню секцію щогли і кріпиться болтами. На центральній осі ротора кріпиться шків, що передає обертання від ротора на вал генератора за допомогою клинового ременя або ланцюга.

Опорна рамка центрується і утримується за допомогою тросів-розтяжок верхня частина яких закріплена в рим гайках на стійках рамки, а нижні кінці кріпляться на ґрунті до анкерних болтів. При установці ротора необхідно домогтися максимально вертикального положення ротора, але не перетягуватирозтяжки щоб уникнути деформації рамки і заклинювання підшипників.

Щогла ВУ складається з секцій у вигляді куба, що виготовляються з профільних сталевих труб. Сторона куба - 1 м. Вага однієї секції 25 кг. Секції збираються на місці монтажу щогли і з'єднуються між собою болтами з гайками. Збільшуючи кількість секцій можна зібрати і встановити щоглу практично будь-якої висоти. Утримання і стабілізація щогли здійснюється за допомогою сталевих тросів-розтяжок з талрепами, що регулюють натяг. Площа, яку займає щоглою з розтяжками на грунті - коло діаметром, рівним висоті установки з ротором. Щогла фіксується анкерними болтами на штатному фундаменті. Фундамент являє собою 4 шурфу глибиною 0,8 метра і діаметром 0,25 метра, розміщені по кутах квадрата зі стороною 1 метр.

Збірка ротора і рамки може проводитися на землі в горизонтальному положенні, а потім за допомогою підйомного крана або іншого підйомного обладнання встановлюватися в вертикальному положенні на опорно-монтажний стіл щогли. Можлива збірка і установка рамки і ротора на вже встановленої щоглі.

Вентильний генератор з порушенням від постійних магнітів не має колектора і щіткового механізму. Вихідна змінна напруга не регулюється і залежить від частоти обертання ротора, потужності навантаження, стану акумуляторної батареї. Генератор розміщується всередині опорно-монтажного столу. Обертання на вал генератора передається безпосередньо від ротора або через мультиплікатор.

Електричний кабель від клемної колодки генератора проходить всередині стовбура щогли і з'єднується з електронним приладом управління. Генератор має номінальну частоту обертання від 200 до 300 об/хв. в залежності від його потужності, нульовий момент страгивания, не вимагає обслуговування в процесі експлуатації.

Електронний прилад керування призначений для перетворення змінної напруги від генератора в постійну напругу для заряду акумуляторної батареї (АКБ), контролю напруги АКБ, контролю та індикації величини зарядного струму АКБ, комутації периферійних пристроїв і гальмування генератора при досягненні напруги на АКБ верхнього граничного значення. Прилад управління має ручний перемикач «гальмо» на передній панелі для примусового гальмування генератора в разі потреби. На панелі є індикатор включення блоку ТЕН і індикатор неправильного підключення полярності АКБ «полюс АБ». При готовності приладу до роботи світиться індикатор «мережу». На задній панелі приладу є роз'єми для підключення блоку ТЕН, генератора і фотоелектричних модулів (сонячної батареї) напругою 24-32 В постійного струму.

Блок ТЕН складається з нагрівальних елементів, розміщених в металевому корпусі. Тени (нагріваючи елементи) підключаються до приладу управління через клемні колодки.

При досягненні критичного значення напруги на АКБ прилад управління підключає тени до обмоток генератора і відбувається пригальмовування генератора. Після уповільнення швидкості обертання і падіння напруги на АКБ тени відключаються.

**Використання вітроелектричних установок**

Вітроелектричної установки працює спільно з акумуляторною батареєю. Батарея повинна складатися з акумуляторів (від 4 до 16-ї - в залежності від потужності генератора і напруги на акумуляторної батареї) ємністю 190-215 А / год. кожен і загальним напругою 24 або 48 В. Для з'єднання акумуляторів в акумуляторної батареї використовуються спеціальні акумуляторні дроти великого перерізу з мідним дротом.

Для отримання «побутової» мережі 220 V, 50 Гц використовується перетворювач струму-напруги - інвертор. Підключаючи до акумуляторної батареї інвертор більшої потужності, ніж вітрогенератор, можна живити електроенергією споживачі сумарною потужністю, що дорівнює потужності інвертора.

Тривалість роботи споживачів буде визначатися загальною ємністю акумуляторної батареї, ступенем її зарядженості, потужністю роботи (величиною струму заряду) вітрогенератора в цей момент. Навіть при непрацюючому вітрогенераторі час максимального споживання електроенергії від акумуляторної батареї через інвертор може становити кілька годин. Приблизно розрахувати час роботи можна так: загальна сумарна потужність споживачів (наприклад, 3000 Вт) ділиться на напругу акумуляторної батареї. Отримуємо струм розряду АКБ (3000/24 = 125 А).

Потім, загальна ємність батареї в поточний момент (можна оцінити по щільності електроліту або по напрузі при непрацюючому вітрогенераторі) ділиться на струм розряду. Отримуємо час повного розряду АКБ при підключених споживачів зазначеної потужності і непрацюючому на підзарядку батареї вітрогенераторі. (Наприклад, 400 А/год:125 = 3,2 години) Приблизно через такий час АКБ ємністю 400 А/годин розрядиться, і інвертор дасть сигнал на відключення споживачів.

У роторних вітроприймальних конструкціях, як лопатей застосовують різні криволінійні поверхні. Одна з таких конструкцій – ротор Савоніуса. Лопаті цієї установки виконані у вигляді напівциліндрів, проте вони розташовані трохи інакше ніж у карусельних вітряків. Як видно на рисунку, повітряний потік використовується більш раціонально, тому коефіцієнт використання енергії вітру у такого вітроколеса в 1,5 рази більше ніж у карусельного. При деяких перевагах (низький рівень шуму, широкий діапазон робочих вітрів, мала площа установки) дана конструкція має істотний недолік - низькі обороти (не більше 400 об/хв.), тому поступається крильчатим вітроустановки.

Існуючі вітроелектростанції можна розділити на дві основні групи в залежності від розташування осі обертання валу генератора: Горизонтально розташованим валом генератора (HAWT- Horizontal Axis Wind Turbines) – пропелерні. Вертикально розташованим валом генератора (VAWT - Vertical Axis Wind Turbines) - віндроторні.

Історично склалося так, що пропелерні (HAWT) набули широкого поширення. Віндроторні станції (VAWT), теоретично перевершуючи по ряду економічних і технічних характеристик пропелерні вітроелектростанції, до теперішнього часу просто не мали достатньо простого і економічно виправданого рішення конструкції.

В даний час існують різні типи ВЕС з різними технічними і енергетичними характеристиками (вказані коефіцієнти використання енергії вітру).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| http://www.enecsis.ru/types/type6.jpg | http://www.enecsis.ru/types/type2.jpg | http://www.enecsis.ru/types/type3.jpg |
| http://www.enecsis.ru/types/4.jpg | http://www.enecsis.ru/types/type5.jpg | http://www.enecsis.ru/types/type1.jpg |

Лекція № 10

**ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІТРОЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ**

Пропелерні вітростанції мають 1,2 або 3 лопаті складної конструкції, дорогий редуктор, систему контролю і гальма. Відомо, що з вітру максимально можна отримати 59% кінетичної енергії, після чого рух повітря припиниться.

Перетворення кінетичної енергії вітру пропелерними станціями в механічну широко варіюється в межах від 10 до 30%, залежно від типу станції. Можна уточнити, що ці результати вірні тільки в тому випадку, якщо напрямок вітру перпендикулярно робочого профілю лопатей станції. При поривчастим і мінливому вітрі результати добування енергії вітру більш гнітючі, оскільки системи "наведення на вітер" є примітивними у вигляді хвоста і розташовані за робочою поверхнею пропелера, в "відпрацьованому" потоці повітря, а не у вступнику. Через неефективність навіть такого наведення на вітер багато сучасних вітростанції випускаються без системи "наведення" (у великих станціях "наведення на вітер" здійснюється за рахунок повороту лопатей пропелера спеціальним механізмом).

Механічна енергія пропелерних станцій перетворюється в електричну за ККД 50-69%. (Різні типи редукторів, в'язкість трансмісійного масла). Інший факт - пропелерні станції часто виходять з ладу через високо розташованого вітроагрегата, оскільки не проводиться щорічне обслуговування і заміна масла. Як результат - відносно висока вартість кВт-год електроенергії.

ВРТБ – вітроелектростанція з вертикально розташованим валом генератора (VAWT). Основною перевагою конструкції вітростанції є її незалежне "наведення на вітер". Необмежена швидкість обертання ротора дозволяє працювати з усіма зустрічаються вітрами, включаючи штормові.

В результаті використання унікального рішення системи ротор-статор, яка "форсує" надходить вітер, а також грамотного рішення електричної схеми та генератора стало можливим перетворення кінетичної енергії вітру в механічну на рівні 39-42% і перетворення механічної енергії в електричну на рівні 90-94 % відповідно. Модульна конструкція дозволяє встановити необхідну потужність для споживача, грунтуючись на характеристиках вітру в місці установки. Інша перевага вітроелектростанції - розташування генератора, електричної схеми та акумуляторів на рівні землі. Це дозволяє своєчасно, легко і без великих витрат проводити технічне обслуговування станції. Як результат - низька вартість кВт-год електроенергії і зручність експлуатації.

Незалежно від розмірів станції генератор, система управління та інше обладнання встановлюються на рівні землі.

Відмінні особливості:

• генератор, система автоматики і ін. розташовані на рівні землі.

• робота при вітрах будь-якого напрямку без будь-яких додаткових операцій;

• робоча швидкість вітру від 3м/с і вище без обмежень;

• збільшується стійкість конструкції при підвищенні швидкості обертання ротора за рахунок гіроскопічного ефекту;

• безшумність (30 dB на відстані 5 при вітрі 15 м / с);

• простота монтажу та технічного обслуговування;

• швидке введення в експлуатацію;

• модульний принцип будови;

• можливість автономної роботи або паралельної роботи з іншими джерелами енергії, не вимагає наведення на вітер; надійність.

**Періоди затишку.** Протягом року бувають періоди затишшя вітрової активності, особливо це характерно для літніх місяців. В цей час вітер з'являється короткочасно або може взагалі бути відсутнім кілька днів поспіль. Вирішення питання енергопостачання об'єкта знаходиться в залежності від добового, тижневого і місячного графіків вітрової активності. Якщо затишшя короткочасні, в межах до 6-8 годин, з подальшим появою вітру силою понад 5-6 м/с, резервним джерелом живлення може служити акумуляторна батарея. При тривалих періодах зниження швидкості вітру до 3-4 м/с або затишшя, коли за рахунок енергії вітру може бути забезпечене електропостачання тільки частини споживачів (потреби першої категорії), до складу системи електропостачання повинна вводитися дизельна/бензинова електростанція або проводитися включення в місцеву електромережу.

**Схема електропостачання.** Надлишкова енергія дизельної/бензинової станції через реверсивний перетворювач частоти направляється в акумуляторну батарею.

З урахування середньомісячного числа годин затишшя і енергоспоживання приймачами 1-ї та 2-ї категорії встановлюється потужність дизельної електростанції для покриття максимумів навантаження I і II категорії. Її потужність становить близько 2,5-3 кВт. З числом годин використання в місяць рівним 95-105. Тобто ДЕС може працювати близько чотирьох діб в місяць. Протягом цих же годин при зниженні навантажень I і II категорії відповідно до їх графіком близько 6-8 год/добу може працювати акумуляторна батарея. Параметри акумуляторної батареї визначаються з розрахунку 10 годин забезпечення навантаження 1500 ВА - 6,8-7 А при розрахунковому напрузі 220 В. Для цих цілей може бути використана, наприклад, батарея свинцево-кислотних акумуляторів з 100-110 елементів типу ОР2S ISO або подібних автомобільних акумуляторів.

В травні 2019 р. біля берегів Великобританії в Ірландському морі запрацювала найбільша в світі плавуча ВЕС. Потужність *Walney Extension* становить 659 МВт. Вироблюваної нею енергії вистачить для живлення 590 000 будинків. Станція має 87 вітрогенераторів. Загальна площа станції складає приблизно 20 тисяч футбольних полів. Її потужність становить 659 МВт, що достатньо для забезпечення електроенергією майже 600 тисяч британських будинків. ВЕС використовує два типи вітрогенераторів: 40 Siemens Gamesa висотою 188 м, кожен з яких дозволяє генерувати 7 МВт, а також 47 генераторів MHI Vestas висотою 195 метрів, які генерують 8 МВт кожен.

Перша в світі плавуча електростанція запрацювала в жовтні 2017 року в 25 км від берегів Шотландії. Електростанція Hywind потужністю 30 МВт використовується для подачі енергії в місто Пітерхед.

Внесок вугілля в світову генерацію електрики за тридцять років скоротиться з нинішніх 37% до 12%, а нафта практично перестане використовуватися для цих цілей. Частка природного газу, а також атомної та гідроенергетики зміниться мало.

Швидше за все процес переходу на ВДЕ буде йти в Європі.

**Лекція № 11**

**ГЕНЕРАТОРИ міні-ГЕС**

У розумінні більшості людей будь-яка гідроелектростанція є грандіозна споруда з бетону і сталі, - гребля перегороджує річку, заболочівается місцевість, виникає ще цілий ряд екологічних проблем і технічних труднощів. Однак зростаючий попит на енергоносії і боротьба за екологічну безпеку змусили вчених шукати нові підходи до перетворення відновлюваної енергії води в електрику. Як вдалий варіант для використання на річках зі швидкістю течії від 1 м/с пропонується використання малих електростанцій – міні**-**ГЕС.

Ефективність міні-ГЕС вище, ніж ефективність інших альтернативних джерел, але на скільки вона буде відчутна при використанні міні**-**ГЕС на рівнинних річках без споруди додаткових гідротехнічних споруд? Це питання у одних взагалі не виникає, а інших призводить в розпач. Фізику, як то кажуть, не обманути. Для отримання великої кількості енергії потрібен суттєвий потік як повітря, так і води. В умовах центральної України з цим гірше. Але, тим не менше, є міні-ГЕС, які здатні працювати на потоках води швидкістю 1,5-2 м/с.

Переваги міні-ГЕС очевидні: на відміну від інших «безкоштовних» енергоджерел (сонячних панелей), гідросистеми можуть працювати незалежно від часу доби і погоди. Єдине, що їм може завадити - замерзання води. Для установки гідрогенератора не обов'язкова наявність великої ріки - ті ж водяні колеса з успіхом можна використовувати навіть в маленьких (але швидких!) струмках.

Установки своєю роботою не призводять до викиду шкідливих речовин, не забруднюють воду і працюють практично безшумно. Для монтажу міні-ГЕС потужністю до 75 кВт не потрібно оформляти дозвільну документацію (хоча все залежить від місцевих органів влади і типу установки). Надлишок електроенергії можна віддавати в сусідні будинки і господарства.

Що стосується недоліків, то серйозною перешкодою для продуктивної експлуатації обладнання може стати недостатня сила течії. В цьому випадку доведеться будувати допоміжні споруди, що буде пов'язано з додатковими витратами. Відзначимо відразу, будівництво міні-ГЕС суто індивідуально. Тому, не дивлячись на те, що нами освоєно виробництво турбін різної потужності, необхідно проектування і прийняття до уваги всіх особливостей конкретного водоймища.

**Плаваюча міні ГЕС -** це невеликий понтон, під яким встановлена гідротурбіна з генератором. Залежно від швидкості течії річки турбіна малої ГЕС вироблятиме в добу від 5 до 132 кВт.год. Електрика по кабелю передається на берег для підключення в електромережу.

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Плаваюча міні-ГЕС має ще цілий ряд переваг:**  • Мінімальна вартість.  • Великий термін експлуатації.  • Легко транспортується, встановлюється і демонтується.  • Для складання, експлуатації та обслуговування не потрібно спеціального освітньої технічної бази.  • Використання міні-ГЕС не завдає шкоди екології. |

**Міні ГЕС - технічні характеристики**

Міні ГЕС складається з трьох основних частин: 1. Апаратна. 2. Понтон. 3. Гідроколесо. Залежно від глибини річки і швидкості потоку води, у гідроколеса можуть змінитисягеометричні розміри. Потужність міні-ГЕС в залежності від швидкості потоку води (площа гідроколеса) – 1 м2)

1м/с – 205 Вт. 1,5 м/с – 692 Вт. 2 м/с – 1640 Вт.

2,5 м/с – 3203 Вт. 3 м/с – 5535 Вт.

|  |  |
| --- | --- |
|  | В останні кілька років широке поширення набули малонапірні малі ГЕС на основі архімедова гвинта. Архімедів гвинт вже протягом багатьох століть використовується, перш за все, як насос - в кожній країні світу встановлені сотні тисяч таких гвинтів, особливо на очисних спорудах. Незважаючи на те, що винахідником гвинта визнаний Архімед, достеменно відомо, що такі насоси ще в 250 році до нашої ери використовувалися в Єгипті для підйому води в зрошувальних системах.  **Принцип роботи ГЕС на базі Архімедова гвинта** прямо протилежний роботі насоса. Вода, потрапляючи на турбіну зверху, своєю масою тисне на поверхню гвинта. Скочуючись вниз по гвинту, вода змушує його обертатися. Встановивши на вал шнека генератор, можна отримувати електроенергію при напорі води навіть менше метра. |
|  |

Однак з економічних міркувань, не варто використовувати Архімедів гвинт при напорі менше 1,5 м. При напорі води понад 8 м використовуються кілька гвинтів, або підбираються турбіни більш підходящої конструкції.

Максимальні витрати яка протікає через турбіну води визначається діаметром шнека. Так в малій енергетиці найбільш часто використовується Архімедів гвинт діаметром 1 м, який здатний пропустити 250 л/с. Шнек діаметром 5 метрів пропускає до 15 м3/с Практичні напрацювання показують, що встановлювати гідроелектростанцію з діаметром гвинта більше 3 м недоцільно, набагато вигідніше встановити паралельно кілька турбін меншого діаметру. З цих міркувань метровий Архімедів гвинт здатний забезпечити вироблення 5 кВт/год електроенергії. Найбільша діюча мала ГЕС виробляє 500 кВт/год.

Зазвичай Архімедів гвинт обертається зі швидкістю 26 об/хв. Для зчленування зі стандартними електрогенераторами використовуються передавальні коробки, які збільшують швидкість обертання ротора генератора до 1500 об/хв. З точки зору економічної ефективності, Архімедів гвинт встановлюється під кутом 22 градуса до горизонту.

Архімедів гвинт надає безліч незаперечних переваг:

• Проектний термін експлуатації гідроелектростанції становить не менше 30 років. За умови капітального ремонту шнека, ГЕС може прослужити необмежений час.

• Великі розміри гвинта і повільна швидкість його обертання дозволяють рибам і великому сміттю без шкоди для електростанції безперешкодно подолати ГЕС. На відміну від інших малонапірні ГЕС не потрібно установки системи очищення води, що подається.

• Оскільки риба з легкістю і без шкоди для себе долає архимедів гвинт, такі ГЕС вважаються екологічно безпечними поновлюваними джерелами енергії.

• Оскільки архимедів гвинт не має зливу і відстійників, а на вихідній стороні турбіни досить лише незначного бетонування, вартість будівництва малої ГЕС обходиться досить дешево.

[**Синхронний генератор для міні- Г**](https://www.google.com/url?sa=i&source=imgres&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj189OBvJvjAhUN_aQKHU5YCQIQjhx6BAgBEAM&url=https%3A%2F%2Fdnepropetrovsk.flagma.ua%2Fsinhronny-generator-dlya-mini-ges-o3817565.html&psig=AOvVaw08ZAUpwFq7Ejg_z8wCfRNO&ust=1562336733253076)**ЕС**

Міні-ГЕС - це маленькі гідроелектростанції, які постачають електрикою ні міста, а окремо взяті будинки. Сьогодні такі технології активно використовуються в багатьох країнах світу. Портативні подібності Дніпрогес можуть бути відмінною альтернативної централізованого електропостачання або стати заміною традиційного джерела електрики в разі перебоїв в мережі.

Синхронні генератори для міні ГЕС потужністю 100-2000 кВт.

Напруга 400-6300 В.

Міні-гідротурбіни виробляють енергію за рахунок швидкого потоку води. І чим швидше тече вода, тим більше електрики виробляє турбіна. В середньому потужність наймініатюрнішою ГЕС становить 250 Вт (при швидкості потоку води в 2 м/с), так що електрики, що виробляється навряд чи вистачить для роботи мікрохвильовки, однак для ноутбука або освітлення приміщення - буде в самий раз. У регіонах, багатих на великі і малі річки з гарною проточністю, такі пристрої можуть бути гідною альтернативою стаціонарному електропостачання.

У Великобританії пішли ще далі. Студент Університету Leicester's De Montfort Том Бродбент представив концепт своєї системи, яка отримала назву HighDro Power. Ідея концепції полягає в тому, що мікро-ГЕС вбудовується в стічну систему багатоповерхового будинку: вода, яка переміщається по трубах вниз, впливає на лопатки турбіни, яка в свою чергу обертає генератор, що виробляє електрику.

**Переваги мікро- і міні-ГЕС**:

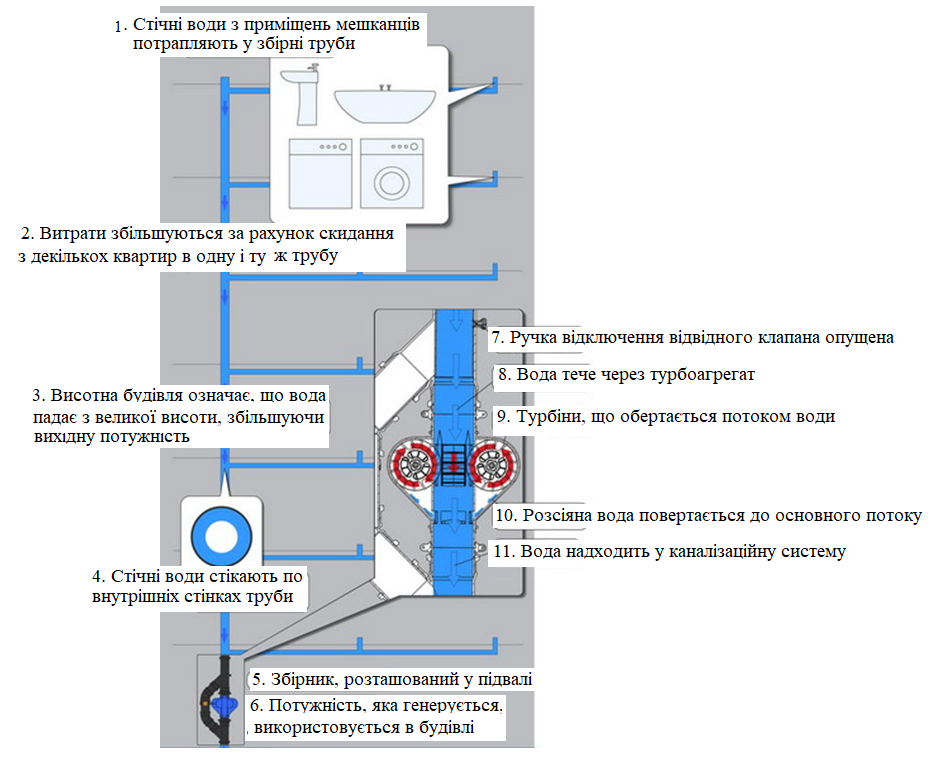
- відсутня порушення природного ландшафту і навколишнього середовища в процесі будівництва і на етапі експлуатації;

- відсутній негативний вплив на якість води: вона не втрачає первинних природних властивостей і може використовуватися для водопостачання населення;

- практично відсутня залежність від погодних умов;

- забезпечується подача споживачеві дешевої електроенергії в будь-який час року;

- відсутні проблеми, характерні великої гідроенергетики (будівництво складних і дорогих гідроспоруд, затоплення місцевості і т.п.).



**Джерела енергії для малої гідроенергетики є:**

- невеликі річки, струмки,

- природні перепади висот на озерних водоскидах і на зрошувальних каналах іригаційних систем,

- технологічні водотоки (промислові та каналізаційні скиди),

- перепади висот питних трубопроводів, систем водопідготовки та інших трубопроводів, призначених для перекачування різних видів рідких продуктів.

**Вартість:** Середня ціна нової міні-турбіни варіюється від 7 до 10 тисяч доларів.

**Гібридні електростанції.** Якщо потужність, вироблювана міні-ГЕС, вас не влаштовує, можна встановити генеруючу установку гібридного типу. Дизель-генератор (або бензогенератор), як правило, дуже шумні, неекологічних і вимагають значних витрат на експлуатацію. Вартість електроенергії, одержуваної за допомогою дизель-генераторів, становить не менше 15 руб/кВт год. Графік електричного навантаження споживача нерівномірний. У той же час дизель-генератори призначені для постійної роботи, регулярні відключення-виключення значно зменшують термін служби, знижують ККД генератора (двигун працює даремно, підвищуючи вартість виробленого кВт\*год).

Оптимальною є робота дизель-генератора в якості резерву в комбінованій системі електропостачання на основі відновлюваних джерел енергії, наприклад, міні-ГЕС, вітроустановки (або СФЕУ). Таким чином, міні-ГЕС працює при наявності стрімкого потоку води, видаючи потужність споживачеві. Як тільки міні-ГЕС перестає видавати необхідну потужність, включається дизель-генератор і поповнює нестачу.

Така схема електропостачання має такі переваги: надійність системи електропостачання, економія палива, збільшення ресурсу роботи дизель-генератора, екологічність.

**Автономні системи дозволяють:**

- безпечно і без витрат утримувати свій будинок в момент відсутності мешканців у будинку;

- при наявності мережевої інфраструктури істотно заощадити на комунальних платежах;

- убезпечити себе від раптових відключень електроенергії, газу, а також від стрибків електроенергії в мережі;

- у разі відсутності мережевої інфраструктури автономні системи є єдино можливим рішенням для комфортного проживання в будинку.

**Міні - гідроелектростанції** в залежності від способу використання водної енергії поділяють на **гребельні, дериваційні та вільнопоточні**.

**У гребельних ГЕС** концентрація напору води створюється за допомогою установки мостом, повністю перегороджує річку і піднімає рівень води в ній на необхідну позначку. Основними достоїнствами гребельних ГЕС є: можливість регулювання обсягів вироблення електроенергії і висока стабільність роботи, що досягається за рахунок накопичення води у водосховищі. До недоліків такого типу ГЕС можна віднести: високу вартість гідротехнічних споруд, затоплення і виведення з господарської діяльності великих площ, значний екологічний збиток.

**Дериваційна** безнапірна ГЕС використовує частину витрат річки, джерело її потенційної енергії - тільки перепад висот в рукаві. Цей тип ГЕС застосовують при великих ухилах річки і порівняно малих використовуваних витратах, головним чином в гірських умовах. Вони розраховані на невеликі потужності енергоустановок. Цей тип мікро-ГЕС широко використовується в багатьох країнах світу, що мають зазначені вище умови, забезпечуючи кращі екологічні умови.

В ГЕС з напірною деривацією використовують як перепад висот в дериваційне рукаві, так і невеликий підпір, створюваний греблею, в яку забирають значну частку витрат річки. Обидва типи дериваційних ГЕС, як правило, дешевше гребельних, але мають всі недоліки, властиві останнім, хоча і в меншій мірі.

**Вільнопоточні** ГЕС використовують кінетичну енергію потоку річки. Занурювані мікро-ГЕС цілорічної дії зручні для невеликих селищ, геологічних партій і фермерських господарств. Вони з успіхом могли б працювати паралельно з дизельними електростанціями, істотно скорочуючи витрати дизельного палива або замінюючи останні в разі аварії. Турбіна вільнопоточних мікро-ГЕС, в залежності від швидкості річки і потужності установки, обертається зі швидкістю 80200 об/хв. Вільнопоточні заглибні мікро-ГЕС найбільш економічні і мобільні, не потребують земляних робіт.

Потужність гідроелектростанції залежить від параметрів водного потоку річки, характеристик станції і її енергоустановок:

*N*ГЕС=*n*еу·ρ·*g*·*Qp*·*H*·ηеу

де Nrx - встановлена потужність гідроелектростанції;

пэу - кількість енергоустановок; *р* - щільність води; g - прискорення вільного падіння;

Qp - розрахункова витрата річки; ηеу - ККД енергоустановки;

Kq - коефіцієнт витрати (відношення витрати води *Q*, що проходить через ГЕС, до розрахунковій витраті річки *Qp*), для гребель ГЕС коефіцієнт витрати дорівнює одиниці, а для дериваційної - значно менше одиниці; *H* - корисний напір (натиск нетто);

Якщо значення встановленої потужності ГЕС і розрахункова витрата річки визначені, то наступним етапом буде вибір енергоагрегату. Залежно від необхідної потужності і витрати річки можливі безлічі рішень, що реалізують вироблення необхідного обсягу електроенергії, що досягається за рахунок варіації типів і кількості встановлюваних енергоагрегатів. Вибір оптимальної кількості енергоагрегатов і їх типів можна звести до вирішення завдання оптимізації.

Загальноприйнятим показником, що характеризує економічну доцільність того чи іншого рішення при проектуванні мікроГЕС, є вартість одного кіловата встановленої потужності, і найбільш ефективне рішення відповідає мінімальному значенню цього показника:



де *С*кВт - вартість 1 кВт встановленої потужності;

*С*Σ - сумарні капіталовкладення, витрачені на виготовлення, доставку і установку мікро-ГЕС; *N*ГЕС - сумарна потужність мікро-ГЕС.

Греблі ГЕС зазвичай застосовують для великих потужностей і вартість кожної греблі залежить від місцевих умов, то для ефективного застосування даної методики необхідний цілий ряд відомостей та матеріалів, що характеризують умови будівництва. Ці дані отримують в результаті досліджень і збору необхідних матеріалів і відомостей, які висвітлюють такі питання:

а) рельєф, рослинність, існуючі споруди, населені пункти та інші об'єкти на водозборі і поблизу будівництва майбутньої станції;

б) режим русла і водний режим річки; ці відомості отримують гідрологічними дослідженнями;

в) характер грунтів і підземних вод в підставі майбутніх споруд, наявність місцевих будівельних матеріалів; ці відомості дають геологічні вишукування;

г) економіка району (наявність робочої сили, механізмів, енергії, можливості збуту електроенергії, дорожньої мережі та т. д.).

Економічні відомості збирають при економічному обстеженні району будівництва.

**Лекція № 12**

**ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ВЕУ З РІЗНИМИ ТИПАМИ**

**ЕЛЕКТРИЧНИХ ГЕНЕРАТОРІВ ЗМІННОГО СТРУМУ**

Проблеми електроенергетичного комплексу вимагають, як збільшення встановлених потужностей, так і зниження втрат у вже працюючих установках і системах. Одним з найпотужніших нетрадиційних джерел енергії є енергія вітру. Тому на даний момент актуальним є аналіз вітроенергетичних установок (ВЕУ) і розробка технічних рішень, направлених на підвищення ККД ВЕУ і зниження порогу мінімальної швидкості вітру для номінального режиму роботи ВЕУ і, тим самим, розширення території для можливого їх використання.

Аналіз літературних джерел, технічні дані, опубліковані в прайсах технічних компаній, дозволяють зробити висновок, що перспективне впровадження поновлюваних, екологічно чистих джерел енергії. Економічне порівняння буде проводиться по різних параметрах у ряді інтервалів ВЕУ по активній потужності. Матеріали по вітроенергетиці базуються на відкритих публікаціях по нетрадиційній енергетиці, на даних досліджень, представлених в матеріалах конференцій і в наукових журналах. Дане порівняння є актуальним в даний час, оскільки до теперішнього часу не було робіт по вибору типа генератора для ВЕУ з точки зору технічних і економічних параметрів одночасно.

Слід вміти систематизувати дані про існуючім ВЕУ, запропонувати використовувати різні типи електричних генераторів для нетрадиційної електроенергетики, розглянути перспективу застосування в якості генеруючи елементів ВЕУ нових типів машин для підвищення їх енергетичних параметрів.

**Дослідження**. Розглянемо параметри економічного порівняння ВЕУ з різними типами електричних генераторів по інтервалах номінальної потужності ВЕУ. В залежності від типу генератора розглянемо ККД, (%), надійність (в.о.), витрати на обслуговування, (тис. грн.), витрати на монтаж, (тис. грн.), вартість генератора і змісту гондоли, (тис. грн.), вартість ВЕУ, (тис. грн.)

Нетрадиційна енергетика, зокрема, вітроенергетика, не може замінити класичні теплові електростанції, тобто вирішити проблеми енергопостачання країни. Для України ВЕУ мають невелику вагу (біля 5 %), в Європі – від 20 % до 80 % з постійною тенденцією наростання встановлених потужностей.

Для ухвалення рішення по вибору оптимального типу електричного генератора для ВЕУ з врахуванням межової потужності генераторів змінного струму на різних інтервалах потужності ВЕУ і для вживання в різних автономних і глобальних електричних мережах використовуватиметься такий математичний апарат для ухвалення оптимального рішення, як теорія ігор. Тобто проведемо розрахунки вказаних вище параметрів з використанням математичного апарату теорії ігор. Для розрахунку використовувалися критерії Вальда, Лапласа, Гурвіца, Севіджа, критерій додатків, критерій нестримного оптимізму.

Критерій Вальда:



Правило вибору рішення відповідно до критерію Вальда (міні-максного критерію (ММ - критерію)) можна інтерпретувати таким чином: матриця рішень доповнюється ще одним стовпцем з найменших результатів eir кожного рядка. Необхідно вибрати ті варіанти в рядках яких мають найбільше значення eir цього стовпця.

Вибрані т.ч. варіанти повністю виключають ризик. Це означає, що сприймане рішення не може мати гірший результат, ніж той, на який він орієнтується. Ця властивість дозволяє вважати ММ - критерій одним з фундаментальних.

Дані, необхідні для ухвалення рішення в умові невизначеності, зазвичай задаються у формі матриці, рядки якої відповідають можливим діям, а стовпці можливим достаткам системи. Під результатом вирішення *eij* = *е*(*Ei*; *Fj*) тут можна розуміти оцінку, відповідну варіанту *Ei* і умовам *Fj* і що характеризують прибуток, корисність або надійність. Зазвичай ми називатимемо такий результат корисністю рішення.

Тоді сімейство (матриця) рішень має вид:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | F1 | F2 | . . . | Fn |
| E1 | e11 | e12 | . . . | e1n |
| E2 | e21 | e22 | . . . | e2n |
| ….. | …… | …. | …. | …. |
| Em | em1 | em2 | . . . | emn |

Щоб прийти до однозначного і, по можливості, найвигіднішого варіанту рішенню необхідно ввести оцінну (цільову) функцію. При цьому матриця рішень  зводиться до одного стовпця. Кожному варіанту Ei приписується деякий результат eir, що характеризує в цілому всі наслідки цього рішення. Такий результат ми надалі будемо позначати тим же символом *eir*.

Розглянемо другий критерій – критерій Лапласа:



Критерій Гурвіца:

Прагнучі зайняти найбільш урівноважену позицію, Гурвіц передбачив оцінну функцію, яка знаходиться десь між точкою зору крайнього оптимізму і крайнього песимізму:



де С – ваговий множник, C= 1/2

Правило вибору згідно з критерієм Гурвіцу, формується таким чином:

1) матриця рішень  доповнюється стовпцем, що містить середнє зважене найменшого і найбільшого результатів для кожного рядка. Вибираються лише ті варіанти, в рядках яких коштують найбільші елементи eir цього стовпця.

2) При С = 1 критерій Гурвіцу перетворюється на ММ-критерій. При С = 0 він перетворюється на критерій «азартного гравця». Тобто ми стаємо на точку зору «азартного гравця», що робить ставку на те, що «випаде» найвигідніший випадок.

У технічних застосуваннях складно вибрати ваговий множник, оскільки важко знайти кількісну характеристику для тих доль оптимізму і песимізму, які присутні при ухваленні рішення. Тому найчастіше С = 1/2.

Критерій Севіджа (для матриці риску):

; 

Величину *aij* можна трактувати як максимальний додатковий виграш, який досягається, якщо в стані *Fj* замість варіанту *Ei* вибирати інший, оптимальний варіант для цього зовнішнього достатку. Величину *aij* можна інтерпретувати і як втрати, які виникають в стані *Fj* при заміні оптимального для нього варіанту на варіант *Ei.* У останньому випадку *eir* є максимально можливими (по всіх зовнішніх достатках *Fj, j* =) втрати в разі вибору варіанту *Ei*.

Відповідне критерію Севіджа, правило вибору тепер трактується так:

1). Кожен елемент матриці рішень  віднімається з найбільшого результату «max *eij*» відповідного стовпця.

2). Різниці *aij* утворюють матрицю залишків. Ця матриця поповнюється стовпцем найбільших різниць *eir*. Вибирають ті варіанти, в рядках яких є найменше для цього стовпця значення.

Вимоги, що пред'являються до ситуації, в якій приймається рішення, збігаються з вимогою до ММ - критерію.

Критерій додатків:



Правило вибору в цьому випадку формулюється так: матриця рішень доповнюється новим стовпцем, що містить добутки всіх результатів кожного рядка. Вибираються ті варіанти, в рядках яких знаходяться найбільші значення цього стовпця.

Критерій нестримного оптимізму («азартного гравця»):



*eij –* елемент розрахункової матриці (таблиця);

i – строки розрахункової матриці;

j – стовбики розрахункової матриці

Дані для подальшого економічного порівняння приведені в табл. 12.1. Початковими даними для розрахунку прийнята табл. 12.2. Результати розрахунків для різних типів генераторів приведені в табл. 12.3.

Розглянуте АГ з к.з. ротором, СГ з постійними магнітами, СГ з електромагнітним збудженням, АСТГ.

Таблиця 12.1 - Параметри економічного порівняння ВЕУ з різними типами

електричних генераторів по інтервалах номінальної потужності ВЕУ

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип генератора | ККД, % | Надійність, в.о. | Витрати на обслуговування, тис. грн. | Витрати на монтаж, тис, грн. | Вартість генератора і вмісту гондоли, тис, грн. | Вартість ВЕУ  тис, грн. |
| **До 10 кВт** | | | | | | |
| АГ с к.з. ротором | 70 | 0,82 | 37,8 | 50,4 | 84,0 | 251,9 |
| СГПМ | 93 | 0,93 | 24,2 | 48,4 | 84,8 | 242,2 |
| СГ с е.м. збудженням | 82 | 0,88 | 45,5 | 50,6 | 95,6 | 253,0 |
| АСТГ | 83 | 0,88 | 45,9 | 51,0 | 97,6 | 255,0 |
| **До 100 кВт** | | | | | | |
| АГ с к.з. ротором | 75 | 0,82 | 387,3 | 516,4 | 900,0 | 2582,1 |
| СГПМ | 90 | 0,93 | 247,2 | 494,4 | 952,0 | 2472,1 |
| СГ с е.м. збудженням | 86 | 0,88 | 468,0 | 520,0 | 1072,0 | 2600,0 |
| АСТГ | 87 | 0,88 | 469,8 | 522,0 | 1082,0 | 2610,0 |
| **До 1 МВт** | | | | | | |
| АГ с к.з. ротором | 80 | 0,82 | 842,4 | 1684,8 | 2901,0 | 8424,0 |
| СГПМ | - | - | - | - | - | - |
| СГ с е.м. збудженням | 85 | 0,88 | 1588,3 | 1764,8 | 3676,1 | 8824,0 |
| АСТГ | 86 | 0,88 | 1606,3 | 1784,8 | 3776,1 | 8924,0 |
| **Понад 1 МВт** | | | | | | |
| АГ с к.з. ротором | 96 | 0,82 | 1579,5 | 3159,0 | 5641,0 | 15795,0 |
| СГПМ | - | - | - | - | - | - |
| СГ с е.м. збудженням | 0,97 | 0,88 | 2916,0 | 3240,0 | 6750,0 | 16200,0 |
| АСТГ | 0,98 | 0,88 | 2934,0 | 3260,0 | 6850,0 | 16300,0 |

Після проведеного аналізу можна зробити висновок:

1) На інтервалі потужності 0 ≤ Рем ≤ 100 кВт, для виробництва електроенергії, тобто як генеруючий елемент, який з точки зору технічних, так з урахуванням економічних показників доцільніше встановлювати синхронні генератори з постійними магнітами (СГПМ), тобто генератори з мають магнітоелектричним збудженням.;

2) При потужності понад 100 кВт для ВЕУ краще вибирати АГ з к.з. ротором.

3) Одним із способів підвищення ефективності використання АГ з к.з. ротором може послужити вживання спецмашин, які доповнюються збудженням від постійних магнітів, які додаткове вносяться в конструкцію. Це дозволить збільшити ККД самого генератора, зменшити ємність необхідних для АГ з к.з. ротором конденсаторних батарей – джерел реактивної енергії.

Таблиця 12.2 - Вартісні і енергетичні показники ВЕУ у відносних одиницях

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип  генератора | ККД ,  в.о. | Надійність,  в.о. | Витрати на обслуговування, в.о. | Витрати на монтаж, в.о. | Вартість генератора і вмісту гондоли, в.о. | Вартість ВЕУ  в.о. |
| **До 10 кВт** | | | | | | |
| АГ с к.з. ротором | 0,70 | 0,82 | 0,644 | 0,481 | 0,288 | 0,096 |
| СГПМ | 0,93 | 0.93 | 1,0 | 0,5 | 0,286 | 0,1 |
| СГ с е.м. збудженням | 0,82 | 0,88 | 0,532 | 0,479 | 0,256 | 0,096 |
| АСТГ | 0,83 | 0,88 | 0,528 | 0,475 | 0,248 | 0,095 |
| **До 100 кВт** | | | | | | |
| АГ с к.з. ротором | 0,75 | 0,82 | 0,638 | 0,479 | 0,275 | 0,096 |
| СГПМ | 0,9 | 0,93 | 1 | 0,.5 | 0,26 | 0,1 |
| СГ с е.м. збудженням | 0,86 | 0,88 | 0,528 | 0,475 | 0,23 | 0,095 |
| АСТГ | 0,87 | 0,88 | 0,526 | 0,473 | 0,228 | 0,095 |
| **До 1 МВт** | | | | | | |
| АГ с к.з. ротором | 0,.8 | 0,82 | 1 | 0,5 | 0,29 | 0,099 |
| СГПМ | - | - | - | - | - | - |
| СГ с е.м. збудженням | 0,.85 | 0,88 | 0,53 | 0,477 | 0,229 | 0,095 |
| АСТГ | 0,86 | 0,88 | 0,524 | 0,472 | 0,222 | 0,094 |
| **Понад 1 МВт** | | | | | | |
| АГ с к.з. ротором | 0,96 | 0,82 | 1 | 0,5 | 0,28 | 0,1 |
| СГПМ | - | - | - | - | - | - |
| СГ с е.м. збудженням | 0,97 | 0,88 | 0,54 | 0,487 | 0,234 | 0,0975 |
| АСТГ | 0,98 | 0,88 | 0,537 | 0,488 | 0,229 | 0,0968 |

Таблиця 12.3 - Результати економічного розрахунку по вибору електричного генератора для ВЕУ

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип генератора | Критерій  Вальда | Критерій  Лапласа | Критерій  Гурвіца | Критерій  Севіджа | Критерій  додатків | Критерій нестримного оптимізму |
| **До 10 кВт** | | | | | | |
| АГ с к.з. ротором | 0,096 | 0,505 | 0,458 | 0,904 | 0,0049 | 0,82 |
| **СГПМ** | **0,100** | **0,624** | **0,550** | **0,900** | **0,0124** | **1,00** |
| СГ с е.м. збудженням | 0,096 | 0,511 | 0,488 | 0,904 | 0,0045 | 0,88 |
| АСТГ | 0,095 | 0,509 | 0,488 | 0,905 | 0,0043 | 0,88 |
| **До 100 кВт** | | | | | | |
| АГ с к.з. ротором | 0,096 | 0,510 | 0,458 | 0,904 | 0,0050 | 0,82 |
| **СГПМ** | **0,100** | **0,615** | **0,550** | **0,900** | **0,0109** | **1,00** |
| СГ с е.м. збудженням | 0,095 | 0,511 | 0,488 | 0,905 | 0,0042 | 0,88 |
| АСТГ | 0,095 | 0,512 | 0,488 | 0,905 | 0,0041 | 0,88 |
| **До 1 МВт** | | | | | | |
| АГ с к.з. ротором | **0,099** | **0,585** | **0,550** | **0,901** | **0,0094** | **1,00** |
| **СГПМ** | - | - | - | - | - | - |
| СГ с е.м. збудженням | 0,095 | 0,510 | 0,488 | 0,905 | 0,0041 | 0,88 |
| АСТГ | 0,094 | 0,509 | 0,487 | 0,906 | 0,0039 | 0,88 |
| **Понад 1 МВт** | | | | | | |
| АГ с к.з. ротором | **0,100** | **0,610** | **0,550** | **0,900** | **0,0110** | **1,00** |
| **СГПМ** | - | - | - | - | - | - |
| СГ с е.м. збудженням | 0,098 | 0,535 | 0,534 | 0,902 | 0,0051 | 0,97 |
| АСТГ | 0,097 | 0,535 | 0,538 | 0,903 | 0,0050 | 0,98 |

4) Ефективність використання класичних АГ з к.з. ротором зростає при роботі на енергосистему. У цих умовах АГ не потребують додаткових пристроїв забезпечення постійності енергетичних параметрів. Також із зростанням потужності АГ істотно зростає його ККД. Тому при його простоті і надійності він стає перспективним для установки на ВЕУ для роботи в єдиній енергосистемі, починаючи з потужності 200 кВт і більше.

5) При потужності ВЕУ більш ніж 1 МВт рентабельне використовувати асинхронізовані синхронні генератори. Хоча в даний час в Україні немає налагодженого виробництва асинхронізовані синхронних генераторів, світовий досвід показує, що цей напрямок є перспективним і заслуговує подальших досліджень.

**Лекція № 13**

**12.1. Порівняння електричних генераторів за показниками надійності**

Структурної надійністю системи називається результуюча надійність при заданій структурі і відомих значеннях надійності всіх вхідних в неї блоків або елементів.

Розбиття системи на блоки здійснюється на базі єдності функціонування та фізичних процесів, що відбуваються при роботі вироби.

Для розрахунку надійності електричних генераторів ми скористаємося структурної надійність. У нашому випадку розрахунок надійності буде вестися лише самих генераторів і допоміжних для них пристроїв, а надійність вітродвигуна і системи управління виробленням електроенергії прийняти за const в зв'язку з тим, що дане обладнання однаково для розглянутих класів ВЕУ.

Наведемо структурні схеми можливого виконання ВЕУ, які були прийняти до розгляду, рис. 12.3.

При виході з ладу будь-якого вузла нижче наведених електричних генераторів матиме місце відмова всієї машини. Значить, структурна схема надійності генераторів буде являти собою послідовно включені блоки, які входять в блок схему даної електричної машини.

*Р*1 – ймовірність безвідмовної роботи підшипникового вузла (*Р*= 0,95);

*Р*2 – ймовірність безвідмовної роботи обмотки ротора (*Р*= 0,99);

*Р*3 - ймовірність безвідмовної роботи обмотки статора (*Р*= 0,99);

*Р*4 – ймовірність безвідмовної роботи контактно-щіткового вузла (*Р*= 0,92);

*Р*5 – ймовірність безвідмовної роботи збуджувача (*Р*= 0,95);

*Р*6 - ймовірність безвідмовної роботи конденсаторних батарей (*Р*=0,88).

Коли відмова технічного вироби настає при відмові одного з його вузлів, то такий виріб має послідовне (основне) з'єднання елементів. Електрична машина практично завжди розглядається як послідовне з'єднання вузлів.

Вітер

Вітродвигун

Електрогенератор змінного струму

Випрямлювач

Споживач

Інвертор

Рисунок 12.1 – Структурна схема ВЕУ при змінній швидкості вітру

і при роботі на автономне навантаження

Вітер

Вітродвигун

Електрогенератор змінного струму

Споживач

Рисунок 12.2 – Структурна схема ВЕУ при незмінній швидкості вітру

і при роботі на автономне навантаження

Вітер

Вітродвигун

Електрогенератор змінного струму

Електрична мережа

Рисунок 12.3 – Структурна схема ВЕУ при постійній і змінній швидкості вітру

і при роботі паралельно з електричною мережею

Р6

Р3

Р2

Р1

Рисунок 12.4 - Блок – схема для встановлення структурної надійності АГ з КЗ ротором

Р3

Р1

Р2

Рисунок 12.5 - Блок – схема для встановлення структурної надійності СГПМ

Р3

Р2

Р1

Р4

Р5

Рисунок 12.6 - Блок – схема для встановлення структурної надійності СГ

з електромагнітним збудженням

Р3

Р2

Р1

Р4

Р5

Рисунок 12.7 - Блок – схема для встановлення структурної надійності АСТГ

Р3

Р2

Р1

Р5

Рис. 12.8 - Блок – схема для встановлення структурної надійності СГ з

з електромагнітним збудженням без ковзного контакту

Якщо надійність окремих вузлів не залежить один від одного, то надійність системи визначається як:

Таким чином, після проведених підрахунків ми отримаємо надійність електричних генераторів, застосовуваних у ВЕУ:

1. Асинхронний генератор з КЗ ротором має ймовірність безвідмовної роботи *Р*=0,82.

2. Синхронний генератор з магнітоелектричним збудженням має імовірність безвідмовної роботи *Р* = 0,93.

3. Синхронний генератор з електромагнітним збудженням і асинхронізований синхронний генератор володіють однаковою ймовірністю безвідмовної роботи *Р* = 0,81.

4. Синхронний генератор з електромагнітним збудженням без ковзаючого контакту має ймовірність безвідмовної роботи *Р* = 0,88.

Виходячи з вище проведених розрахунків ми отримали дані, за якими можна судити про те, що найнадійнішою машиною є синхронний генератор на постійних магнітах. Це дозволяє зробити рекомендації про перевагу до установки в ВЕУ саме СГПМ. АГ з КЗ ротором є малонадійною машиною при його використанні в автономних електричних мережах через присутність в системі малонадійних конденсаторних батарей. При використанні АГ в ВЕУ для роботи на єдину енергосистему надійність різко зростає за рахунок збудження від реактивної потужності енергосистеми.. Також підвищення надійності АГ може йти за рахунок переходу їх в розряд спецмашин.

**Економічне порівняння електричних генераторів, що використовуються**

**для установки на ВЕУ**

Зараз слід визначити оптимальний вид ВЕУ з точки зору економічних витрат на ВЕУ з різними типами електричних генераторів. Економічне порівняння буде проводитися за різними параметрами в ряді інтервалів ВЕУ по активної потужності.

Для прийняття рішення щодо вибору оптимального типу електричного генератора для використання в ВЕУ з урахуванням порогової потужності генераторів змінного струму на різних інтервалах потужності ВЕУ і для застосування в різних електричних мережах був використаний математичний апарат для прийняття оптимального рішення - теорія ігор.

В результаті проведених розрахунків можливо отримати найбільш вигідним в інтервалах потужностей до 10 кВт СГПМ. В інтервалах потужностей від 100 кВт до 1 МВт і понад 1 МВт перевага отримав АГ.

**Аеродинаміка і можливість підвищення потужності ВЕУ**

Максимально можливе значення потужності від вітроустановки, в порівнянні з теоретично можливим значенням, визначається співвідношенням

16/27 (59,3 %). - **предел Betz-а**

Величина підйомної сили і сили тяги пропорційні величині виробляємої електроенергії. Орієнтовно величина вироблюваної електроенергії в рік (в кВт\*год) може бути розрахована:

*Е* = *К*\**Vm*3\**At*\**N*, кВт\*год

де *К* = 3,2 – чисельний коефіцієнт, отриманий для типових характеристик роботи вітрогенератора, по знанню приблизного значення середньої швидкості і частоти зміни швидкості вітру.

*Vm* - середньорічна швидкість вітру через перетин поверхні, утвореною лопатями вітротурбіни, м/с;

*At* - перетин поверхні, утвореної лопатями вітротурбіни, м2;

*N* - число вітроенергетичних установок, шт.

**Лекція № 14**

**ВИКОРИСТАННЯ ПОСТІЙНИХ МАГНИТІВ ДЛЯ**

**ГЕНЕРАТОРІВ ВЕС і міні-ГЕС**

Для віддалених і/або одиночних споживачів, з сумарною споживаною потужністю до 10-50 кВт, найбільш рентабельно використовувати ВЕУ з синхронним генератором на постійних магнітах.

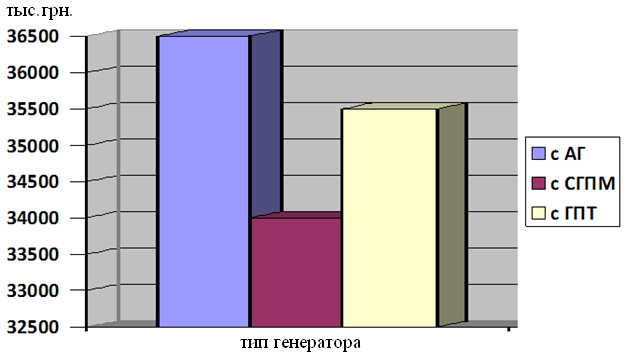


Рисунок 14.1 - Порівняльна характеристика вартості ВЕУ

**Короткі відомості о магнітах**

Магніт - тіло, що володіє власним магнітним полем. Слово походить від грецького magnítis líthos, магнетитові камінь. Існують три основні види магнітів: постійні магніти; тимчасові магніти; електромагніти.

Постійні магніти постійні в тому сенсі, що, будучи якось намагнічені, зберігають певний рівень залишкової намагніченості. Різні види постійних магнітів мають різні характеристики або властивості, що відносяться до того, як легко вони розмагнічуються, наскільки вони сильні, як їх сила змінюється з температурою і т.п.

Тимчасові магніти - це магніти, які діють як постійні магніти тільки тоді, коли знаходяться в сильному магнітному полі, і втрачають свій магнетизм, коли магнітне поле зникає. Як приклад можна привести вироби з "м'якого" заліза.

Електромагніт – це намотані на каркас витки проводу, зазвичай зі сталевим сердечником, який діє як постійний магніт тільки тоді, коли по дроту тече струм. Сила і полярність магнітного поля, створюваного електромагнітом, обумовлені зміною величини і напряму електричного струму, поточного по дроту.

**Загальні відомості про постійні магніти**

Природні постійні магніти з магнітного залізняку (природного) використовувались понад 4000 років тому в примітивних магнітних компасах.

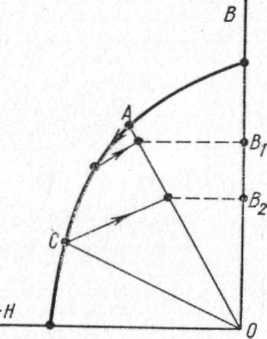
Приблизно в X столітті було встановлено, що можна отримувати штучні по-постійні магніти для стрілок компаса шляхом намагнічування загартованої вуглеродістої стали при її контакті з природним магнітним залізняком.

Компас залишався єдиним практичним застосуванням постійних магнітів аж до XIX ст., коли фундаментальні відкриття в області електромагнетизму створили передумови для отримання більш високої якості постійних магнітів за рахунок намагнічування їх в магнітних полях котушок і викликали до життя нову область їх застосування в якості джерела стабільних магнітних полів в приладах.

Постійні магніти, завдяки досягнутим за останній час високим характеристикам сплавів, з яких вони виконуються, отримали широке розповсюдження в самих різних областях техніки. Їх використовують для створення постійного магнітного поля в пристроях, пре-утворюючих електричну енергію в механічну (поляризовані і магнітоелектричні системи апаратів, самописці, магнетрони, фокусуючи пристрої, дугогасящие системи апаратів і т.п.). Вони застосовуються також у пристроях, що перетворюють механічну енергію в електричну (електрогенератори і т.д.). У ряді випадків за допомогою постійних магнітів створюють механічну силу, що діє на деталі з феромагнітних матеріалів (магнітні плити, синхронні передавачі моментів, замки, сепаратори, підйомні пристрої і т.п.).

За останні 30 років, завдяки новим досягненням металургії, створені різноподібні магнітотверди матеріали з різними фізичними властивостями і виключно високими магнітними характеристиками. Деякі з цих матеріалів дають можливість виконувати постійні магніти з меншим обсягом і вагою, ніж еквівалентні електромагніти. Для більшості нових матеріалів характерна висока стабільність параметрів і характеристик.

Найважливішим питанням ефективного використання магнітотвердих матеріалів є висока якість намагнічування систем з постійними магнітами.

Зазвичай магніти (крім магнітів з фериту барію) намагнічуються після складання системи, так як при цьому після магнітної стабілізації значення індукції в зазорі виявляється більше, ніж при намагнічуванні без системи, з послідовним складанням і магнітної стабілізацією. На рис. 14.2 ОА – лінія коефіцієнта розмагнічування, що характеризує магнітну систему після складання; ОС - лінія коефіцієнта розмагнічування характеризує систему після складання; В1 і В2 – індукції в зазорі, одержувані після магнітної стабілізації відповідно для системи, намагніченою до і після складання.

Намагнічення до збірки пов'язано також і з труднощами технологічного характеру, що виникають при складанні пристрою з намагніченим магнітом (необхідність мати немагнітний інструмент, можливість засмічення магнітної пилом і т. п.).

Рисунок 14.2 – Зміна

магнітного стану при намагнічуванні до і після складання

Існує 3 основних типи установок для намагнічування постійних магнітів:

- на постійному струмі (велике споживання електроенергії);

- на змінному струмі (складність при виборі моменту зняття напруги);

- імпульсні (можливість харчування від низької напруги);

Техніка намагнічування залежить від форми і розмірів магніту.

**Матеріали, використовувані для виготовлення постійних магнітів**

Все магнітотверді матеріали, починаючи від вуглецевих сталей з коерцитивної силою близько 4 кА/м і максимальною корисною енергією 800 Дж/м3 і закінчуючи багатокомпонентними сплавами з коерцитивної силою близько 60 кА / м і енергією 26400 Дж/м3, можуть застосовуватися для виготовлення постійних магнітів.

У деяких випадках застосовуються матеріали, що володіють особливо високими значеннями коерцитивної сили (до 4000 кА/м), хоча вони і поступаються іншим матеріалам за величиною корисної енергії. Вибір того чи іншого матеріалу визначається призначенням постійного магніту і вимог, що пред'являються до нього, а також економічними і технологічними міркуваннями. У будь-якому випадку очевидно, що магніт повинен володіти найменшими розмірами (масою) і мати мінімальну вартість. До цього необхідно прагнути, але в багатьох випадках ці два вимоги виявляються несумісними. Крім того, з огляду на кожне з них, необхідно усвідомлювати те, як це відіб'ється на інших деталях пристрою, до якого входить постійний магніт.

При виборі матеріалу необхідно також враховувати питання механічної міцності і опірності впливу розмагнічуються полів, якщо останні можуть мати місце.

Матеріали, що застосовуються для постійних магнітів, в залежності від способів їх виготовлення можуть бути розбиті на шість основних груп:

а) ковкі матеріали; б) матеріали, що деформуються;

в) матеріали для литих магнітів;

г) матеріали для металокерамічних магнітів;

д) матеріали для метало- пластичних магнітів;

е) деякі спеціальні матеріали на основі благородних металів.

Для отримання від постійного магніту очікуваних характеристик він повинен бути відповідним чином намагнічений, має бути створено намагнічує поле певної конфігурації і необхідної величини.

Намагнічування роблять, як правило, в спеціальних намагнічують апаратах, що представляють собою електромагніти постійного струму. Іноді для цього використовують пристрої, що дозволяють створювати сильні поля за рахунок імпульсів постійного або змінного струму великої величини. Вибір того чи іншого способу намагнічування і приємним для цього пристосуванням визначаються формою і призначенням магніту.

Для того щоб постійний магніт мав максимальну енергією, він повинен бути намагнічений до стану насичення. Необхідна для цього напруженість магнітного поля теоретично повинна бути дорівнює нескінченності. Практично значення залишкової індукції і коерцитивної сили досягають при напруженості магнітного поля, що дорівнює п'ятикратному значенню по відношенню до коерцитивної силі матеріалу.

З метою збереження сталості характеристик пристроїв, в яких застосовуються постійні магніти, зміни властивостей останніх після намагнічування повинні бути мінімальними. Ці зміни можуть відбуватися в результаті впливу зовнішніх магнітних полів, впливу коливань температури, механічних струсів і т. п.

Шкідливі наслідки цих впливів можуть бути двоякого роду. У разі порушення структури матеріалу (структурний старіння) відновлення магнітних властивостей може бути отримано тільки шляхом повторної термообробки. У разі порушення магнітного стану, коли зміна магнітних властивостей відбувається тільки в результаті зовнішніх факторів, відновлення магнітних властивостей може бути досягнуто повторним намагнічуванням.

Для отримання сталості характеристик постійного магніту повинна бути проведена стабілізація його властивостей, що передбачає всі можливі для нього види старіння, як магнітного, так і структурного, виходячи з умов роботи постійного магніту в цьому пристрої. Найбільш часто стабілізація магнітів проводиться шляхом впливу температури, а також за рахунок застосування розмагнічуючого поля, яке за величиною повинно перевищувати гранично можливі поля, що виникають в процесі роботи.

**Основні властивості і характеристики сучасних постійних магнітів.**

**Найбільш використовувані магніти**

Існує 4 класу сучасних найбільш використовуваних магнітів, кожен з яких ґрунтується на своєму складі використовуваних матеріалів. Усередині кожного класу розрізняють сімейства градацій зі своїми магнітними властивостями. Ці основні класи наступні:

- Неодім-залізо-бор (Nd-Fe-B, NdFeB, NIB);

- Самарій-кобальт (SmCo);

- Керамічні (ферити).

- альніко (Alnico);

У магнітних колах електричних машин з порушенням від постійних магнітів застосовують два типи магнітних матеріалів – магніто-м’які і магніто-тверді. Перші мають вузьку петлю гістерезису і виготовляються на основі низьковуглецевої сталі, залізонікелевих і залізокобальтових сплавів, причому другі мають більш високими значеннями залишкової індукції і коерцитивної сили, що дозволяє створювати магнітний потік за рахунок їх власної намагніченості. Вони виготовляються зі сплавів на основі заліза, алюмінію, нікелю, кобальту і рідкоземельних матеріалів.

Найкращими матеріалами для постійних магнітів електричних машин енергетичного призначення є інтерметалічні з'єднання на основі рідкоземельних матеріалів. До них відносяться з'єднання кобальту з самарієм, а також відкриті порівняно недавно сплави на основі заліза, неодиму і бору. Перевагами цих постійних магнітів є висока питома енергія магнітів, велике значення коерцитивної сили, високий коефіцієнт форми кривої розмагнічування, близький до значення 0,25, коли характеристика розмагнічування є похилій прямій, низький температурний коефіцієнт нестабільності характеристик. Крім названих властивостей ці матеріали мають хороші технологічні показники, піддаються зварюванні в конструкціях машин, наприклад, вакуумним дифузійним методом і склеюванні.

У табл. 14.1 наведені основні параметри сучасних магнітотвердих сплавів, службовців для виготовлення висококоерцитівних постійних магнітів. Ці магніти розраховані на роботу в діапазоні температур від - 60 до + 200 ° С.

**Керамічні магніти** (або **ферити**) - найбільш відомий клас магнітів. Вони були розроблені в 60-х роках минулого століття. Це досить сильні магніти, не так легко розмагнічувати як Альніко, але їх магнітні властивості найбільш схильні до впливу температури. Вони виробляються з комбінації фериту барію або стронцію і оксиду заліза і демонструють високу коерцитивної силу, що говорить про хорошу опірності до розмагнічування.

**Переваги:** має високу коерцитивної силу, хороша опірність до розмагнічування, дешеві, хороша корозійна стійкість.

**Недоліки:** помірно низьку температуру Кюрі, а також низька температурна стабільність, погана механічна стійкість, необхідне шліфування і різання алмазним інструментом.

Таблиця 14.1- Властивості найбільш поширених постійних магнітів

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Найменування  параметрів | Ферит  барію | Альніко | Самарій-кобальт | Неодим -залізо-бор |
| Магнітна індукція, Вr, Тл | 0,31…0,39 | 0,7...1,1 | 0,75...1,15 | 0,8...1,3 |
| Коерцитивна сила, Нc. кА/м | 120...220 | 36...145 | 500...1300 | 400...1100 |
| Магнітна енергія (ВН)мах, кДж/м3 | 22...28 | 40...90 | 100...300 | 200...400 |
| Максимальна температура, °С | 500 | 600 | 350 | 250 |
| Щільність, г/см | 5,0 | 7,35 | 8,0 | 7,55 |
| Ціна за 1 кг, дол. США | 1...2 | 10 | 200 | 90 |

Магніти Альніко зроблені зі сплаву алюмінію, нікелю, кобальту і заліза. Вони були розроблені в 40-х роках минулого століття. Як видно з таблиці, даний клас магнітів найменше схильний до впливу температури, але легко розмагнічується. У той же час, максимальна робоча температура у даного класу магнітів найбільша. Вони виробляються зі сплавів алюмінію, нікелю і кобальту з додаванням різних хімічних елементів і можуть бути як литі, так і спечені. Литі магніти Альніко можуть бути зроблені настільки хитромудрих форм, які не можуть бути здійснені з іншими матеріалами. Спечені магніти Альніко зазвичай обмежені невеликими розмірами.

**Переваги:** відмінно працюють при підвищених температурах, мають досить високе значення максимальної енергії, температурна стабільність даного матеріалу дуже висока, можливість формування в матеріалі магнітного поля великої кривизни, висока залишкова намагніченість Br.

**Недоліки:** низька значення коерцитивної сили, їх відносно легко розмагнітити, певна складність використання в складі вироби, дуже жорсткий і крихкий матеріал, може бути оброблений тільки поліруванням, шліфуванням або електроерозійної обробкою, низька коерцитивної сила.

Магніти самарій - кобальт не тільки мають досить високе значення максимальної енергії та відповідну величину коерцитивної сили, але також демонструють кращі температурні характеристики в сімействі рідкоземельних магнітних матеріалів. Матеріал самарій - кобальт (SmCo) вперше був використаний в кінці 70-х років минулого століття в Дейтонських університеті в рамках одного з проектів ВВС США. Енергія магнітного поля цього матеріалу виявилася значно вищою, ніж у Альніко, а температурна стабільність - просто чудовою.

**Переваги:** високе значення максимальної енергії та відповідна величина коерцитивної сили, температурна стабільність.

**Недоліки:** висока вартість (найдорожчий магнітний матеріал), крихкий. При високих цінах на самарій і кобальт їх застосування виправдане лише високою температурною стабільністю.

Магніти зі сплаву неодим-залізо-бор відомі також як рідкоземельні магніти, так як в їх склад входять елементи рідкоземельної, або лантаноідному, групи періодичної системи елементів. Вони були розроблені в 70-х і 80-х роках минулого століття. Як видно з табл. 14.1, ці магніти є найсильнішими з постійних магнітів, і їх важко розмагнітити. Їх легко виробляти різних форм і розмірів, тому магніти неодим - залізо - бор широко використовуються в авіації, електроніці, метрології, медичних інструментах, вітроенергетика і т. П. Вони особливо підходять для розробки високопродуктивних, компактних і легких пристроїв, навіть таких як вітрогенератори.

Ці сплави мають високі відносно механічної обробки властивостями. Вони добре штампуються, ріжуться ножицями, обробляються на всіх металорежущіх верстатах. З неодим-залізо-бор сплавів можна виготовити стрічки, пластини, листи, дріт.

**Рідкоземельні Nd-Fe-B магнітопласти** – речовини, які можуть бути намагнічені довільним чином. Зокрема, для них допустимі радіальне або кігтеподібниий розподіл намагніченості, це в ряді випадків може привести до істотного виграшу при конструюванні магнітних систем. Переваги, одержувані при використанні таких магнітних систем, цілком окупають необхідні для цього витрати.

Рідкоземельні магнітопласти є найбільш перспективними матеріалами для створення магнітних систем в генераторах вітроустановок.

**Переваги**: високі значення залишкової магнітної індукції, коерцитивної сили, максимальної енергії та співвідношення продуктивність / ціна, легко виробляти різних форм і розмірів, підходять для розробки високопродуктивний, компактних і легких пристроїв, рекордні величини залишкової магнітної індукції і коерцитивної сили, однорідність і стабільність магнітних характеристик з вартістю, висока відтворюваність і стабільність, великий термін служби, хороша механічна міцність і пластичність, висока технологічність, стійкість до корозії, високий електричний опір, невелика вага,

**Недоліки**: низька температурна стабільність.

Проведемо графічно на рис. 14.5 порівняльний аналіз переваг і недоліків 4-х основних типів магнітних матеріалів.

Представлені діаграми характеризують найбільш поширені характеристики сімейств магнітних матеріалів. Для конкретних магнітів різних виробників конкретні характеристики можуть відрізнятися від наведених. Проте, діаграми демонструють загальні співвідношення між родинами магнітних матеріалів.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Рисунок 14.5 - Порівняльні характеристики основних типів постійних магнітів

**Лекція № 15**

**РОЗРАХУНОК СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА З ЗБУДЖЕННЯМ**

**ВІД ПОСТІЙНИХ МАГНІТІВ ДЛЯ ВЕУ**

Як приклад розрахуємо СГ з постійними магнітами на основі Nd-Fе-В для ВУ потужністю 10 кВА зі збірним індуктором типу «зірочка», призначений для безредукторної ВУ. Результати розрахунку порівнювалися з досвідченими даними за основними показниками. Як зразок для порівняння було взято синхронний генератор на постійних магнітах типу ВГ-10. Використання в розрахунках нового типу постійних магнітів дозволило підвищити ККД генератора на 1% і склало 93%, зменшити розмір і обсяг магнітів в 2,5 рази, що важливо з точки зору економічної доцільності застосування постійних магнітів в електрогенераторах ВЕУ.

У табл. 15.1 наведені технічні характеристики розрахункового СГПМ.

Таблиця 15.1- Технічні характеристики СГПМ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметри | Характеристики | Параметри | Характеристики |
| *Р*расч, кВт | 10,0 | *m* | 3 |
| *п*расч, об/хв. | 125 | 2*p* | 48 |
| *Р*ма*х*, кВт | 20,0 | *Dr*, мм | 750 |
| *пмах*, об/хв. | 300 | *Lr*, мм | 140 |
| *U*x.x. , В | 166 | *M* , кг | 288 |
| *f* ,Гц | 50 | *Vв*, м/с | 8,0 |
| *I*н , А | 25 |  |  |
| *н*, % | 18 |  |  |
| *I*к.з., А | 38 |  |  |
| ,% | 93 |  |  |

**Порівняння робочих характеристик постійних магнітів, застосовуваних для малих ВЕУ**

В останні роки велика увага приділяється збільшенню сумарної вироблення електроенергії, питань захисту навколишнього середовища, і одночасного підвищення енергоефективності. Відновлювальні (ВДЕ) та альтернативні джерела енергії (АДЕ) можуть бути перспективною заміною традиційним вуглеводневим палив. Вітроенергетика є одним з найбільш важливих АІЕ. В даний час вартість вироблення 1 кВт електроенергії вітроенергетичними установками (ВЕУ) постійно знижується. Енергія вітру на земній кулі оцінюється в ~ 10-5 ТВт\*год. на рік. Це приблизно в 2,7 рази більше сумарної витрати енергії на планеті.

Потужні ГЕС розраховані на великі потужності і, відповідно, на великі водні ресурси. У той же час, кількість географічних точок, де можлива споруда ГЕС, вельми обмежена. Таким чином, застосування гідроелектростанцій малої потужності дозволить розширити географію використання гідроенергетики і збільшити сумарну вироблення енергії. Промислово випускаються генератори часто не задовольняють специфічним вимогам вітро- і гідроустановок: широкий діапазон зміни швидкостей обертання, низька швидкість обертання, багатополюсного. Зокрема, в літературі практично відсутня інформація про низькооборотних генераторах зверненої конструкції, які в ряді випадків мають ряд переваг при їх застосуванні в складі вітро- і гідроустановок малої і середньої потужності.

СГ зверненої конструкції з ротором на основі постійних магнітів є неявнополюсного електричну машину з індуктором на роторі і якорем на статорі. У даній роботі розроблена аналітична методика розрахунку параметрів таких синхронних генераторів, отримані співвідношення для головного індуктивного опору машини, ЕРС неробочого ходу, повної енергії магнітного поля, вихідної потужності, що дозволяють проводити оцінку параметрів генераторів зверненої конструкції на етапі їх проектування. Розрахунок синхронних генераторів з постійними магнітами (СГПМ) дозволило зробити висновок, що їх застосування відповідає всім вимогам до генеруючих елементів малих ВЕУ. Розглянемо різні варіанти постійних магнітів, які можуть бути рекомендовані для зазначених генераторів.

Магнітотверді матеріали можуть бути розділені за способом отримання даного матеріалу на наступні групи:

1) литі магніти на основі системи залізо - нікель - алюміній і залізо - нікель - алюміній - кобальт, в деяких випадках леговані міддю, сіркою, титаном, ніобієм і іншими елементами;

2) магніти, одержувані методами порошкової металургії, в яких процеси лиття замінюються пресуванням порошків;

3) стали, загартовані на мартенсит: хромисті, вольфрамові і кобальтові магніти.

Всі магнітотверді матеріали, починаючи від вуглецевих сталей з коерцитивної силою близько 4 кА/м і максимальною корисною енергією 800 кДж/м3 і закінчуючи багатокомпонентними сплавами з коерцитивної силою близько 60 кА/м і енергією 26400 кДж/м3, можуть застосовуватися для виготовлення постійних магнітів. У деяких випадках застосовуються матеріали, що володіють особливо високими значеннями коерцитивної сили (до 4000 кА/м), хоча вони і поступаються іншим матеріалам за величиною корисної енергії. Вибір того чи іншого матеріалу визначається призначенням постійного магніту і вимог, що пред'являються до нього, а також економічними і технологічними міркуваннями. У будь-якому випадку, очевидно, що магніт повинен володіти найменшими розмірами (масою) і мати мінімальну вартість. До цього необхідно прагнути, але в багатьох випадках ці дві вимоги виявляються несумісними. Крім того, з огляду на кожне з них, необхідно усвідомлювати те, як це відіб'ється на інших деталях пристрою, в який входить постійний магніт.

При виборі матеріалу необхідно також враховувати питання механічної міцності і опірності дії розмагнічуються полів, якщо останні можуть мати місце.

Матеріали, що застосовуються для постійних магнітів, в залежності від способів їх виготовлення можуть бути розбиті на шість основних груп:

а) ковкі матеріали; б) деформуються матеріали; в) матеріали для литих магнітів; г) матеріали для металокерамічних магнітів; д) матеріали для металопластичніх магнітів; е) деякі спеціальні матеріали на основі благородних металів.

Найважливішим питанням ефективного використання магнітотвердих матеріалів є висока якість намагнічування систем з постійними магнітами. Зазвичай магніти (крім магнітів з фериту барію) намагнічуються після складання системи, оскільки при цьому після магнітної стабілізації значення індукції в зазорі виявляється більше, ніж при намагнічування без системи, з наступною збіркою і магнітної стабілізацією.

Намагнічування до збірки пов'язано також і з труднощами технологічного характеру, що виникають при складанні пристрою з намагнічених магнітом (необхідність мати немагнітних інструмент, можливість засмічення феромагнітної пилом і т.п.). Застосовується намагнічування в установках, які живляться постійним струмом, змінним, при одночасній дії постійного і змінного струмів, а також імпульсна.

Установки з імпульсним намагнічуванням мають велике поширення, так як накопичують енергію в конденсаторі тривало, а віддають її в процесі розряду за короткий проміжок часу. Тому для створення потужного імпульсу не потрібно великого струму споживання, що дозволяє використовувати для живлення установки звичайну освітлювальну мережу. До переваг імпульсних установок слід віднести також їх малі габарити і відносну простоту виконання.

Для отримання сталості характеристик постійного магніту повинна бути проведена стабілізація його властивостей, яка передбачає всі можливі для нього види старіння, як магнітного, так і структурного, виходячи з умов роботи постійного магніту в цьому пристрої. Найчастіше стабілізація магнітів проводиться шляхом впливу температури, а також за рахунок застосування розмагнічуючого поля, яке за величиною повинно перевищувати гранично можливі поля, що виникають в процесі роботи.

Існує 4 класи сучасних найбільш використовуваних магнітів, кожен з яких грунтується на своєму складі використовуваних матеріалів. Усередині кожного класу розрізняють сімейства градацій зі своїми магнітними властивостями. Ці основні класи наступні: неодим-залізо-бор (*Nd-Fe-B*); Самарій-кобальт (*Sm-Co*), керамічні (ферити), Альніко (Alnico).

При високих цінах на *Sm* і *Co* їх вживання виправдано тільки високою температурною стабільністю. Магніти *Nd-Fe-B* мають високі значення залишкової магнітної індукції, коерцитивної сили, максимальної енергії та співвідношення продуктивність/вартість, легко виробляти різних форм і розмірів, підходять для розробки високопродуктивних, компактних і легких пристроїв, рекордні величини залишкової магнітної індукції і коерцитивної сили, однорідність і стабільність магнітних характеристик з вартістю, висока відтворюваність і стабільність, великий термін служби, хороша механічна міцність і пластичність, вис окаянний технологічність, стійкість до корозії, високий електроопір, невелика вага, але є один істотний недолік - низька температурна стабільність.

**Синхронні генератори зверненої конструкції з постійними магнітами для вітроенергетичних установок і малої гідроенергетики**

В останні роки велика увага приділяється збільшенню сумарної вироблення електроенергії, питань захисту навколишнього середовища, і одночасного підвищення енергоефективності. Відновлювальні (ВДЕ) та альтернативні джерела енергії (АДЕ) можуть бути перспективною заміною традиційним вуглеводневим палив. Вітроенергетика є одним з найбільш важливих АІЕ. В даний час вартість вироблення 1 кВт електроенергії ВЕУ постійно знижується. Енергія вітру на земній кулі оцінюється в ~10-5 ТВт\*год на рік. Це приблизно в 2,7 рази більше сумарної витрати енергії на планеті.

Промислово випускаються генератори часто не задовольняють специфічним вимогам вітро- і гідроустановок: широкий діапазон зміни швидкостей обертання, низька швидкість обертання, багатополюсного. Зокрема, в літературі практично відсутня інформація про низькооборотних генераторах зверненої конструкції, які в ряді випадків мають ряд переваг при їх застосуванні в складі вітро- і гідроустановок малої і середньої потужності. Синхронний генератор зверненої конструкції з ротором на основі постійних магнітів є неявнополюсною електричною машиною з індуктором на роторі і якорем на статорі. Схема багатополюсного синхронного генератора (СГ) з постійними магнітами (ПМ) представлена на рис. 15.1.

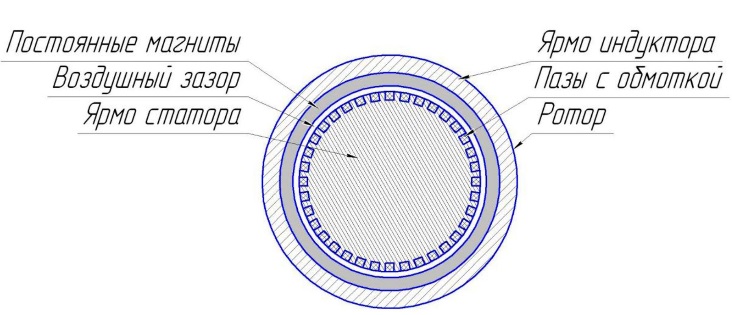
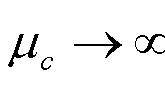


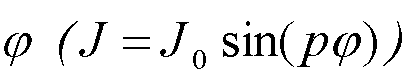
Рисунок 15.1 - Схема багатополюсного СГ зверненої конструкції

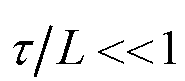
Конструктивною особливістю даної машини є звернена конструкція, при якій індуктор знаходиться на обертовому корпусі генератора, а якір неподвижен. При постановці завдання розрахунку двовимірних магнітних полів в подальшому приймаються наступні основні допущення:

• вектор намагніченості всіх постійних магнітів має тільки радіальну компоненту;

• ярмо статора вважається ненасиченим, ;

• ярмо індуктора вважається ненасиченим, ;

• використовується наближення активної зони обмотки статора еквівалентним струмовим шаром, розташованим на радіусі якоря з лінійною щільністю , синусоїдально розподіленої по кутовій координаті (см. рис. 15.2);

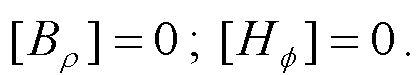
• машина вважається досить довгою, якщо ,

де - полюсний поділ,  - активна довжина СГ.

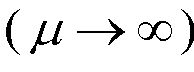
Задача про розподіл стаціонарних двовимірних магнітних полів в синхронному генераторі зверненої конструкції зводиться до вирішення рівняння Пуассона щодо векторного магнітного потенціалу 

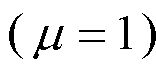
 (15.1)

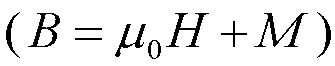
де - дельта - функція.

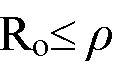
При цьому рішення рівняння (15.1) має задовольняти граничним умовам на поверхні розділу середовищ з різними магнітними проникненнями: 

Таким чином, при розрахунку магнітного поля в активній зоні генератора можна виділити наступні області (рис. 15.2), що відрізняються електричними і магнітними властивостями (використовується полярна система координат):

1. — область статора генератора ;

2. — область повітряного зазору ;

3. — область постійних магнітів ;

4. - область обойми, що утримує ПМ 

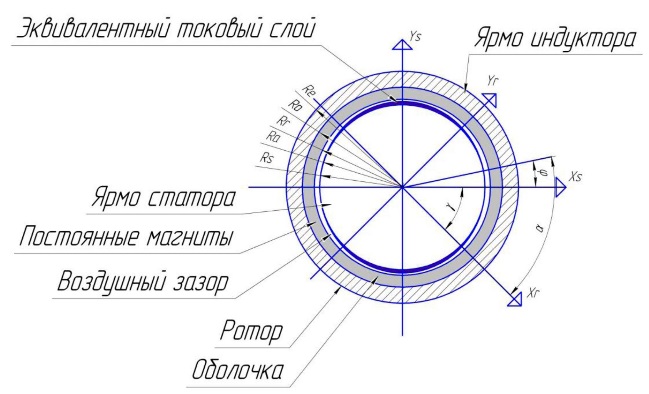


Рисунок 15.2 – Розрахункова схема СГ оберненої конструкції.

Поправка на параметри генератора за рахунок кінцевого розміру зубцеву зони і спинки статора може бути знайдена з теорії магнітних кіл на основі рішень, отриманих в даній постановці.

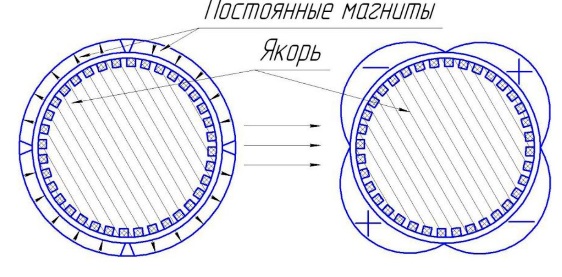
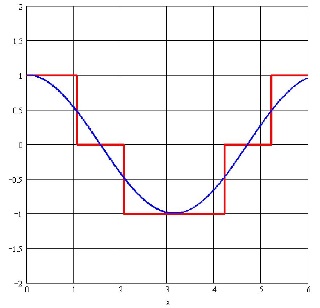
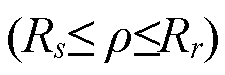
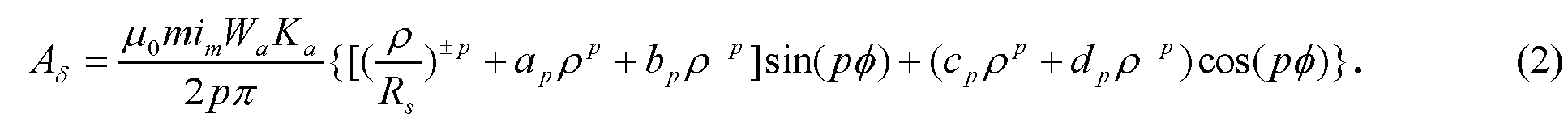
 

Рисунок 15.3 - Подання намагніченості ПМ

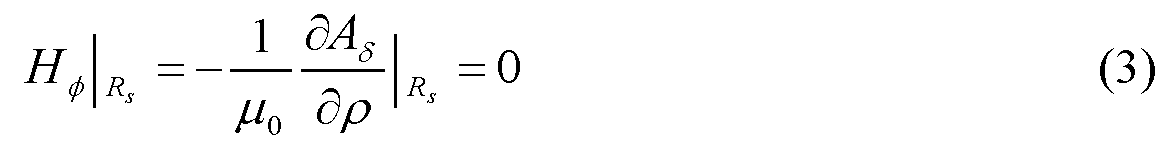
Розрахунок двомірних полів в активній зоні СГ ВЕУ.

В області повітряного зазору  рішення рівняння (15.1) для першої гармоніки розкладання в ряд Фур'є векторного магнітного потенціалу має вигляд:

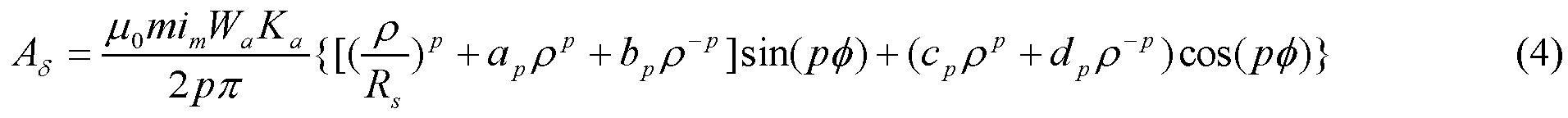


де μ0 – магнітна проникність вакууму; *im* – амплітудне значення струму статора; *m* – число фаз; *Wa* – число витків фази; *Ka* – обмотувальний коефіцієнт; *p* – число пар полюсів; *ap, cp, bp, dp* – невідомі константи. Знак «+»відповідає області всередині токового шару, (ρ<*Rs*). Знак «-» відповідає області поза токового шару (ρ>*Rs*).

Гранична умова IHτI = 0 на поверхні статора (ρ = *Rs*) записується як:



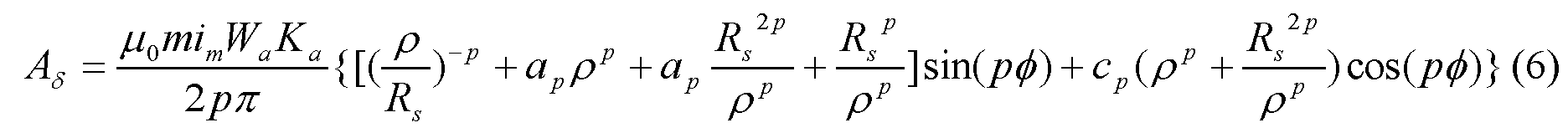
Так як межа статор - повітряний зазор лежить всередині токового шару, тобто ρ=*Rs,* то у виразі (2) використовується знак 



Вирішуючи (3) з урахуванням (4) щодо *bp* і *dp* отримаємо рівняння для зв'язку констант*, bp* і *ap*, *cp* і *dp*:

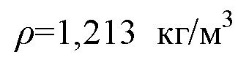


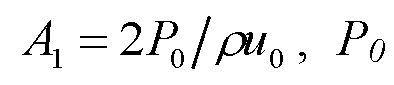
Підставимо (5) в (4), отримаємо:



**Розрахунок СГ з постійними магнітами оберненої конструкції для ВЕУ**

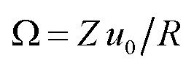
На основі отриманих аналітичних виразів для ЕРС неробочого ходу *Ео* і головного індуктивного опору *Ха* був виконаний оціночний розрахунок СГ з ПМ зверненої конструкції для ВЕУ потужністю 10 МВА. Розрахунок був виконаний для заданих кліматичний умов роботи ВЕУ:

 - швидкість вітру,  - щільність повітря на висоті 100 м.

Виходячи із заданої потужності ВЕУ Р, визначаємо необхідну площу вітроколеса - необхідна потужність вітрового потоку, необхідний діаметр вітроколеса . Як правило, оптимальна геометрія вітроколеса вибирається, виходячи з умов і режимів експлуатації ВЕУ.

З огляду на задану швидкість вітру і параметри вітроколеса, визначаємо швидкість обертання індуктора СГ з ПМ

,

де  – частота обертання вала, м/с,

*Z* – швидкохідність вітроколеса;

*u*0 – швидкість вітру;

*R* – діаметр вітроколеса.

В якості вихідних даних приймаємо такі значення:

- величина вихідної напруги: *U* =6000 В;

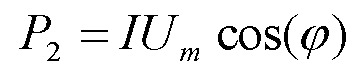
- величина повітряного зазору δ =0,01 м;

- товщину магнітної оболонки ∆*m* = 0,5 м;

- радіус розточки статора *Rs*;

- відносна довжина машини λ=1;

- число пар полюсів *р* = 40.

Далі, використовуючи співвідношення для вихідної потужності генератора , визначимо номінальний струм обмотки якоря *I*оя.

На основі отриманих значень складена методика уточнення параметрів СГ. В результаті отримані наступні параметри синхронного генератора зверненої конструкції на основі ПМ для ВЕУ потужністю 10 МВт, (табл. 15.1).

Таблиця 15.1 - Параметри СГ з ПМ зверненої конструкції для ВЕУ потужністю 10 МВт

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значення |
| Потужність, МВт | 10 |
| Розрахункова швидкість вітру, м/с | 28 |
| Радіус вітроколеса, м | 80 |
| Розрахункова швидкість обертання індуктора, об/хв. | 15 |
| Вихідна напруга *U*, В | 6000 |
| Струм *I*оя, А | 143 |
| Радіус статора *Rs*, м | 5,3 |
| Радіус ротора *Rr*, м | 5,31 |
| Радіус обойми, що утримує магніти R0, м | 5,81 |
| Повітряний зазор δ, мм | 10 |
| Товщина магнітів Δ*m*, мм | 500 |
| Число пар полюсів *р* | 40 |
| Активна довжина машини *Ls*, м | 11,355 |
| Число пазів на полюс и фазу *q* | 1 |
| Число пазів якоря *Z* | 960 |
| Електрична частота *f*, Гц | 10 |

На рис. 15.4 приведена зовнішня характеристика СГ з ПМ оберненої конструкції потужністю 10 МВт: *UL*(*I*) - індуктивне навантаження, *UC*(*I*) - місткість навантаження, *UR*(*I*) - активне навантаження.

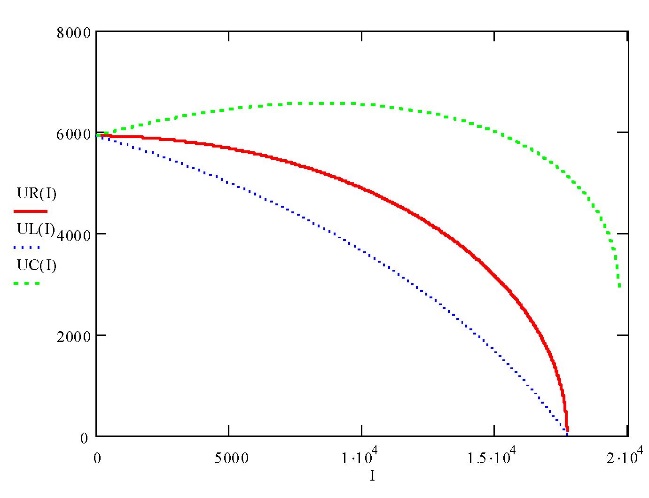


Рисунок 15.7 – Зовнішня характеристика СГ з ПМ

оберненої конструкції потужністю 10 МВт

Таким чином, дана методика дозволяє оцінити геометричні розміри генератора, критичні струми якоря і металоємність вироби.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ**

1. Шевченко В.В. Основы электроэнергетики: учебное пособие для студентов электротехнического профиля спец. 141 «Электроэнергетика, электротехника и электромеханика». – Харьков: ФОП Панов А.М., 2019. – 338 с.

2. Мілих В.І., Шавьолкін О.О. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка: Підручник. За ред. В.І. Мілих. – Київ: «Каравела», 2007. – 688 с.

3. Шевченко В.В. Проблемы и основные направления развития электроэнергетики в Украине. // Харків: Енергетика та електрифікація. – 2007– № 7(287). – С. 11-16.

4. Шевченко В.В., Баженов А.С., Лаврененко Т.А. Конструкции ветроэнергетических установок при решении проблем промышленной энергетики. // Харків: ХУПС. – Системи обробки інформації. Зб. наукових праць. – 2008. – Вып. 3(70). – С. 151-156

5. Неисчерпаемая энергия. Кн.1. Ветроэлектрогенераторы: учебник / В.С. Кривцов, А.М. Олейников, А.И. Яковлев. Под ред. А.И. Яковлева – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т, 2003. – 400 с.

6.Мілих В.І. Літерні позначення величин та параметрів електричних машин. Методичні вказівки до використання в навчальному процесі кафедри «Електричні машини».– Харків: НТУ «ХПІ», 2007.– 31 с.

7. Шевченко В.В., Кныш С.Ю., Заныхайло Е.А. економічне порівняння вітроенергетичних установок з різними типами електричних генераторів змінного струму. // Харків: ХУПС. – Системи обробки інформації. Зб. наукових праць. – 2011. – Вип. 4(94). – С. 94 - 98.

8. Типы ветродвигателей. Новые конструкции и технические решения. – Москва: Журнал «Энергетика и ТЭК». – 2013. – № 1.

9. [Васильев И.Е., Клюев Р.В., Гаврина О.А. Гидроэнергетика](https://www.twirpx.com/file/2714292/): учебное пособие. – Владикавказ: Северо-Кавказский горнометаллургический институт. – Изд-во «Терек», 2018. – 132 с.

## 10. [Виссарионов В.И. Водно-энергетические и водохозяйственные расчёты](https://www.twirpx.com/file/96768/): учебное пособие для студентов вузов. – Москва: Издательство МЭИ, 2001. – 56 с.

## 11. [Липкин В.И., Богомбаев Э.С. Микрогидроэлектростанции: Пособие по применению](https://www.twirpx.com/file/384670/). –Бишкек: 2007 г. – 30 с.

# 12. [Лукутин Б.В. Автономное электроснабжение от микрогидроэлектростанций](https://www.twirpx.com/file/715200/). - Томск: ТПУ, 2001. – 104 c.

#### 13. [Михайлов Л.П., Фельдман Б.Н., Марканова Т.К. и др. Малая гидроэнергетика](https://www.twirpx.com/file/2403809/) - Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 184 с.

# 14. [Чекараш И. Малая нетрадиционная и возобновляемая энергетика. Энергия из реки. Сверхмощные универсальные микро - ГЭС](https://www.twirpx.com/file/2784414/). – Москва: Aegitas, 2018. – 21 с. – ISBN 978-1-77313-987-6.

## 15. Ясинский В.А., Мироненков А.П., Сарсембеков Т.Т. Современное состояние и перспективы развития малой гидроэнергетики в странах СНГ. – Алматы: Евразийский банк развития, 2011. – 36 с.

# 16. Davis S. (Editor). Serious Microhydro: Water Power Solutions from the Experts Publisher: New Society Publishers. 2010. – 336 p.

# https://www.twirpx.com/file/1023003/

## 17. [Davis S. Microhydro. Clean Power from Water](https://www.twirpx.com/file/1029056/). – Publisher: New Society Publishers. 2003. – 176 p.

## 18. Elliott R. Colin Eisenring Markus. Micro Pelton Turbines. – SKAT - Swiss Center for Appropriate Technology (Vol. 9), 1991. - 353 p.

## 19. [Inversin R. Allen. Micro-hydropower Sourcebook](https://www.twirpx.com/file/141551/). – NRECA International Foundation, 1986. 295 p.

## 20. [Leyland B. Small Hydroelectric Engineering Practice](https://www.twirpx.com/file/1379846/). – Balkema: CRC Press, 2014. - 254 p.

## 21. [McKinney J.D., Warnick C.C. Microhydropower Handbook: volume 1](https://www.twirpx.com/file/136959/). – US Department of Commerce - NTIS, 1983. - 430 p.

## 22. Tiemersma J.J., Heeren N.A. Small Scale Hydropower Technologies. –TOOL Foundation – Technical Development with Developing Countries, 1980. – 113 p.

## Електронні ресурси

# 1. Малая гидроэнергетика. <https://www.twirpx.com/files/science/tek/hysro_small/>

2. Энергетика: проблемы настоящего и возможности будущего. Автор: В. Родионов. http://vetrogenerator.com.ua/base/book/