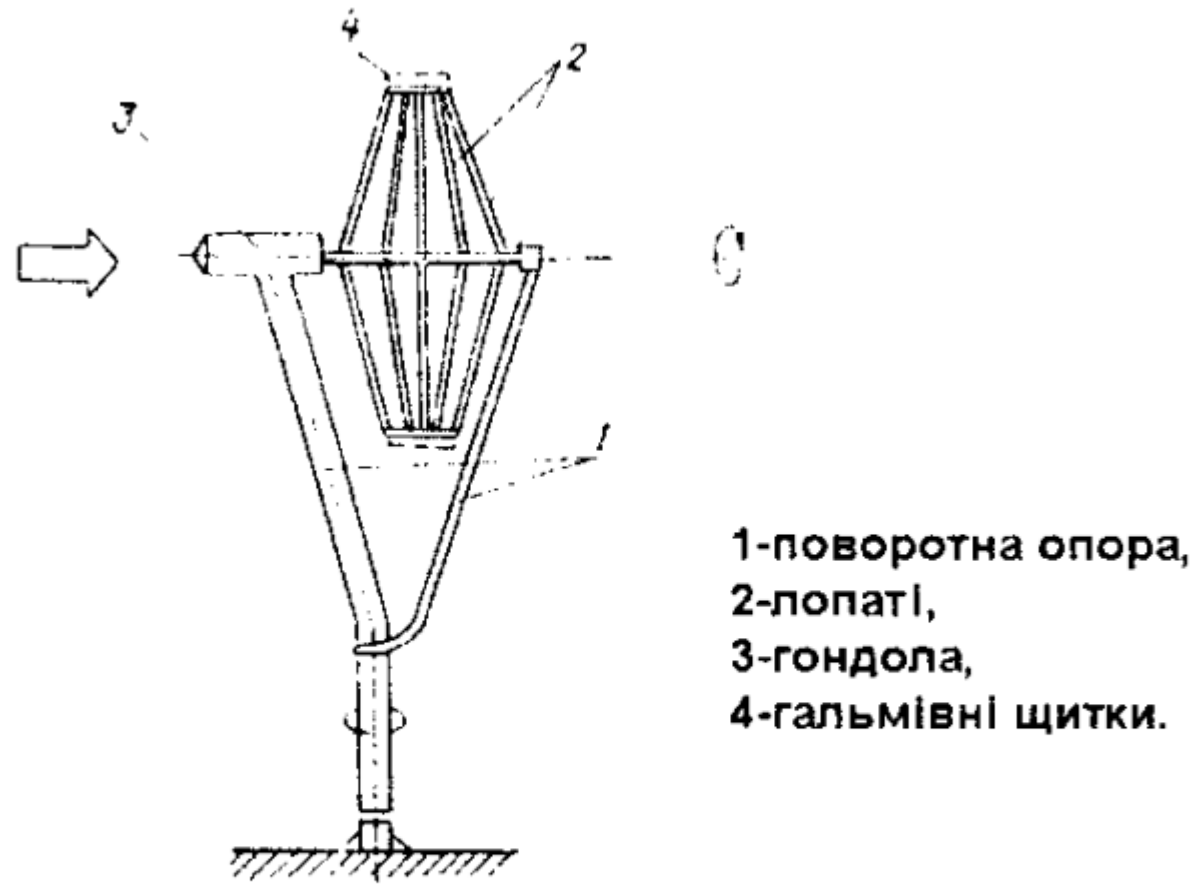


# Лекція 4 МЕС в АПК

- Одна з альтернативних конструкцій тихохідної вітроустановки представлена на рис. 2.21 [27].



ВУ середньої швидкохідності з решітчатим ротором ВУ

Рис. 2.21.

# Вітроенергетичні установки

- Представлена тихохідна вітроустановка відрізняється ґратчастим вітроколесом, утвореним рядами лопатей, встановлених уздовж валу вітроколеса в одній площині. Таке вітроколесо в зупиненому стані має невелику парусність, оскільки лопаті екранують одна одну. При обертанні вітроколеса результуючий повітряний потік заходить до площини його обертання під кутом, внаслідок чого всі лопаті активно працюють як у звичайного тихохідного вітроколеса. Завдяки збільшенню бічної парусності такого вітро- колеса, воно може використовуватися для самоорієнтації на вітер без флюгера, а підпружинені торцеві пластини клапани виконують функцію аеродинамічного гальма для обмеження частоти його обертання. Той факт, що ґратчасті вітроколеса власне є фермою, дозволяє відмовитися від усякого роду додаткових розкосів і ободів і збільшити діаметр (а отже і потужність) до 8-12 м. Додання лопатям аеродинамічного профілю великого потовщення дозволить підвищити швидкохідність вітроколеса до 4-5. Отже, ґратчасте ВК зможе поєднувати переваги швидкохідних і тихохідних вітроустановок і може розглядатися як перспективне для районів зі слабкими та помірними швидкостями вітру.
-

#### 2.4.1.2 Швидкохідні горизонтально-осьові вітроустановки

- В даний час найбільше розповсюдження знаходять швидкохідні горизонтально-осьові вітроустановки, лопаті яких мають аеродинамічний профіль з аеродинамічною якістю  $K > 10...15$ . Такі лопаті, встановлені під малими кутами установки ( $\Theta \sim +3^\circ \dots -1^\circ$ ), розвивають швидкохідність  $Z$ , що досягає 14 і КВЕВ до 0,5. Традиційно швидкохідні вітроустановки мають дво- або трилопатеве вітроколесо (рис. 2.17). Данські фірми, одні з лідерів світової вітроенергетики, віддають перевагу трилопатеvim вітроколесам, які, як показує досвід, стійкіше працюють при косому обдуві повітряним потоком. З іншого боку, швидкохідні вітроустановки мегаватного класу, що виготовляються в США, ФРН, Швеції, мають, як правило, дволопатеві вітроколеса. Вибір числа лопатей важливий, оскільки їх вартість досягає 30-40% від вартості всього вітроагрегату. Лопаті виконують із легких міцних матеріалів: пресований алюміній, вуглепластик, склопластик, пресована фанера тощо. До лопатей ставляться високі вимоги по міцності, якості поверхні, стійкості до обмерзання і перепадів температур [22, 28, 29]. В Україні в Інституті електродинаміки та Інституті відновлюваної енергетики НАН України та в Росії ("Вітроен") накопичений досвід із використання при виготовленні вітроколеса вертолїтних лопатей від вертольотів МІ-2, МІ-8, МІ-24.

• Використання циліндрів А. Флетнера, що обертаються як лопаті, підтвердило працездатність такого роду вітроколеса, проте вони не знайшли розповсюдження через додаткові гіроскопічні моменти, що навантажують циліндри при їх одночасному обертанні відносно декількох осей (обертання осі циліндра, осі вітроколеса, осі повороту головки). Як показав досвід, горизонтально-осьові вітроколеса із циліндрами, що обертаються, мають швидкохідність нижчу за середню і відносно невисокий КВЕВ (рис. 2.23) [29, 30].

Вітроколесо з обертальними циліндрами А. Флетнера

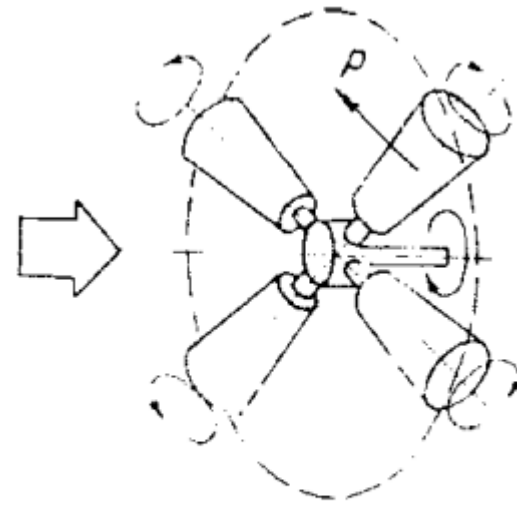
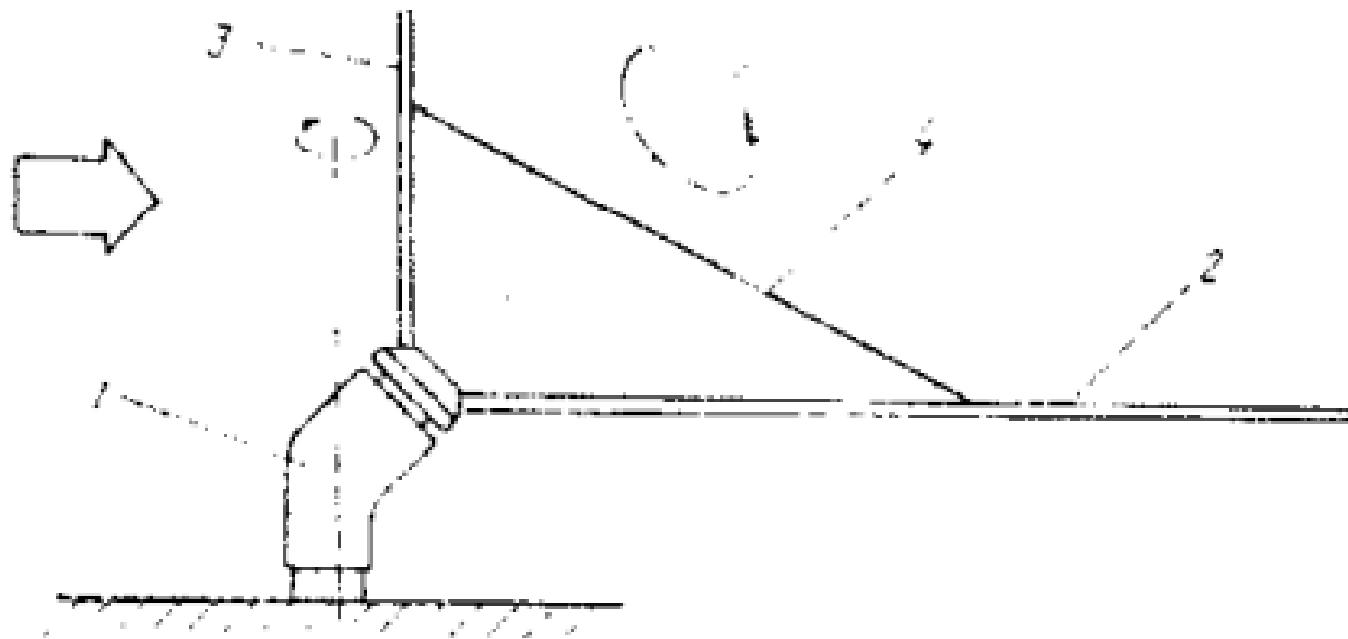


Рис. 2.23.

- У восьмидесяті роки ХІХ ст. була розроблена вітроустановка Вагнера потужністю 250 кВт (рис. 2.24), оснащена однолопагевим вітроколесом із противагою. Вісь обертання вітроколеса встановлена під кутом близько 50° до горизонту, а 25-метрова лопать встановлена під кутом 45° до валу вітроколеса. Противага з'єднана із лопаттю стяжкою. Перевага даної вітроустановки полягає у відсутності високої несучої опори. Вітроколесо, встановлене на баржі, що заякорена в Північному морі, довело свою працездатність, однак докладніші дані про результати випробувань відсутні. До недоліків даного вітроколеса можна віднести те, що на лопать у процесі обертання діють зпакозмінні і пульсуючі навантаження. Крім того, площа поверхні обмаху даного ротора у декілька разів менша, ніж у вітроколеса з тією ж лопаттю, якби остання була встановлена під малим кутом конусності і.



**Вітроустановка Вагнера**

1-поворотна головка, 2-лопать, 3-проти вага, 4-розтяжка.

Рис. 2.24.

Широкого розповсюдження швидкохідні горизонтально-осьові вітроустановки отримали за рахунок наступних переваг:

- а) високе (у порівнянні з тихохідними) значення КВЕВ (до 0,5) (див. рис. 2.20);
- б) високе значення номінальної швидкохідності ( $Z=6\dots 10$ ), що дозволяє уникнути застосування громіздких мультиплікаторів у випадку застосування у якості навантаження електрогенераторів або компресорів;
- в) із усіх типів вітроустановок швидкохідні мають якнайкращі техніко-екопомічні показники: питома вартість 1 кВт встановленої потужності становить біля 1000 дол., питома металоємність - близько 100 кг/кВт [1];



- г) мале число лопатей і низькі значення коефіцієнтів заповнення поверхні обмаху дозволяють істотно зменшити парусність вітроколеса і підвищити його стійкість при сильному вітрі або бурі;
- д) дозволяє швидкохідному вітроколесу працювати з високим КВЕВ у широкому діапазоні швидкохідностей  $Z$ , оскільки в умовах непостійності швидкості вітру величина  $Z$  постійно змінюється [28];
- е) мале число лопатей забезпечує можливість обмеження швидкості вітроколеса і його зупинку поворотом лопатей, оскільки при цьому маточина не дуже ускладнюється порівняно з тихохідними вітроколесами.

Перераховані вище переваги швидкохідних горизонтально-осьових вітроустановок забезпечують більш високу конкурентну здатність порівняно з іншими типами вітроустановок і дозволяють створювати вітроустановки великої потужності (до 4 МВт) з діаметром вітроколеса до 122 м. Швидкохідні вітроустановки мають найбільш високі техніко-економічні показники: вартість 1 кВт встановленої потужності - 800-1500 дол., питома матеріалоемність (без фундаменту) - 150-200 кг/кВт [22, 28].

### **2.4.1.3 Засоби для перетворення енергії вітру**

Найбільш широко поширена конструкція швидкохідної горизонтально-осьової вітроустановки komponується наступним чином: вітроколесо, що має дві або три поворотні лопаті і встановлене в поворотній гондолі на трубчастій опорі. Відносно напрямку вітру вітроколесо розташовується перед опорою (баштою). При використанні фермової опори вітроколесо може розташовуватися за баштою, що пояснюється впливом аеродинамічної тіні башти на роботу вітроколеса. Поворотна головка встановлюється на висоті, що, як правило, перевищує діаметр вітроколеса.

**Лопаті** є найбільш складним і дорогим елементом вітроустановки, в Україні до останнього часу не налагоджений випуск лопатей для вітроустановок потужністю в діапазоні 2... 100 кВт. За кордоном проектуванням і виготовленням лопатей займаються найбільш розвинені фірми: авіаційні (Boeing), аерокосмічні та суднобудівельні. Складність виготовлення лопаті для швидкохідної ВУ пояснюється високими вимогами, що ставляться до лопаті: висока міцність на розрив і вигин, легкість, здатність працювати в широкому діапазоні температур ( $-50^{\circ}\text{C}$ ... $+60^{\circ}\text{C}$ ), стійкість до обмерзання, точність форми профілю лопаті, низька шорсткість поверхні і т.д. Крім того, оптимальна лопать має складну геометрію: поздовжню гвинтову крутку, змінну хорду профілю уздовж довжини, обтічні торці лопатей і т.д. Вказаним вимогам у найбільшій мірі відповідають лопаті, виконані з композитних матеріалів, склопластиків, вуглепластика, пресованого алюмінію тощо [24].

Силова трансмісія утворена валом вітроколеса, встановленим у підшипниках, другий кінець валу через пружну (або іншу) муфту з'єднаний із тихохідним валом мультиплікатора, для чого можуть використовуватися редуктори суден, наземного транспорту, редуктори кранів тощо, які задовольняють вимогам щодо передавального відношення, крутильного моменту, швидкості обертання, умовам мастила і т.д. Швидкохідний вал мультиплікатора через пружну муфту пов'язаний із навантаженням, в якості якого звичайно використовується електрогенератор або компресор. Вітроустановка має гальмівний пристрій (стрічковий, дисковий або колодковий), розміщений найчастіше на швидкохідному валу мультиплікатора (або на другому вихідному кінці валу електрогенератора). Гальмівний пристрій повинен забезпечувати плавне гальмування вітроколеса без перевантажень по моменту, що може досягатися включенням до складу гальма пружної ланки (пружини) або дроселя в разі використання гідравлічного приводу в гальмівному пристрої.

За кордоном у процесі серійного випуску вітроустановок використовують сумісну компоновку валу вітроколеса, мультиплікатора і гальма в одному литому корпусі, що дозволяє істотно зменшити габарити приводу і гондоли в цілому. Електрогенератор фланцевого виконання у цьому випадку жорстко кріпиться до литого корпусу.

Для зменшення перевантажень по моменту (при гальмуванні великих вітроколес) часто застосовують спільно з гальмуванням валу вітроколеса аеродинамічне гальмування поворотом лопаті або поворотом її кінцевої частини або гальмівним аеродинамічним щитком [22].

Серед сучасних конструкцій мультиплікатора найбільш ефективним є планетарний мультиплікатор, зручний при компоновці приводу за рахунок співосності вхідного і вихідного валів, компактності та високого коефіцієнта корисної дії.

**Механізми орієнтації вітроколеса на вітер.** Для орієнтації вітроколеса на вітер звичайно використовують поворот головки вітроустановки відносно несучої опори, для чого застосовують опорний (крановий або спеціально виготовлений) підшипник, встановлений між головою і несучою опорою. Вітроустановки малої потужності (0,1-1 кВт) орієнтується на вітер, як правило, за допомогою хвоста (флюгерного оперення на консольному вильоті). У вітроустановках більшої потужності для повороту гондоли на вітер використовують віндрозийний черв'ячний механізм із додатковими одним або двома малими вітроколесами. Коли потужність вітроустановки досягає 100 і більше кВт, то зазвичай використовується електропривід (мотор-редуктор) із великим передавальним відношенням, який забезпечує низьку кутову швидкість повороту гондоли з тим, щоб понизити величину гіроскопічного моменту, що виникає на лопатях вітроколеса. При цьому виконавчий електродвигун електрично пов'язаний із датчиком напрямку вітру, що встановлюється на головці вітроустановки і являє собою анеморумбограф із власним хвостовим оперенням.

У випадку розташування вітроколеса за баштою (щодо напрямку вітру) досить ефективним може бути спосіб орієнтації на вітер за рахунок власної парусності вітроколеса, У цьому випадку відпадає необхідність у механізмі орієнтації, але необхідний демпфер (катаракт) крутильних коливань поворотної головки. Демпфер може бути виконаний у вигляді мішалки, поміщеної у бак з рідиною і пов'язаної з нерухомою опорою через підвищувальну передачу. Для вітроустановки малої потужності у якості хвоста можна використовувати пусковий ротор Савоніуса, жорстко пов'язаний із вітроколесом. Діаметр ротора Савоніуса в цьому випадку вибирається розрахунковим шляхом так, щоб ні ротор, ні вітроколесо в процесі роботи не входили в режим вентилятора.



Запобіжні пристрої та регулятори горизонтально-осьових вітроустановок призначені для обмеження відцентрових сил, моментів і сил лобового тиску, що діють на вітроколесо, для обмеження навантажень від гіроскопічних моментів і стабілізації частоти обертання вітроколеса з метою отримання якісної електроенергії для випадку, коли у якості навантаження використовується електрогенератор.

Обмеження відцентрових сил досягається стабілізацією частоти обертання вітроколеса шляхом скидання надмірної потужності і зниження крутильного моменту на вітроколесі. Для цього використовується цілий ряд прийомів, які полягають у наступному:

- аеродинамічному пригальмовуванні вітроколеса поворотом лопатей, їх кінцевих елементів або гальмівних аеродинамічних щитків за допомогою відцентрових регуляторів або керованих за допомогою мікропроцесорів електричних і електрогідравлічних приводів повороту лопатей, щитків і т.д.;
- гальмуванні регулюючим моментом навантаження, наприклад, включенням додаткового навантаження або зміною окремих параметрів навантаження (наприклад, гідродинамічне гальмування мішалкою теплобака);

- гальмуванні відведенням вітроколеса з-під вітру у вертикальній або горизонтальній площині;
- гальмуванні силами Коріоліса, що виникають при радіальному проходженні повітря у порожнинах лопатей, внаслідок чого вітроколесо переходить у режим відцентрового пневматичного насоса.

Найбільше розповсюдження знаходить регулювання вітроустановки за допомогою повороту лопатей. У малих вітроустановок поворот лопаті здійснюється механічним відцентровим регулятором, вантажі якого можуть розташовуватися як на махах лопатей [26, 30], так і на важелях відцентрового маятника. У вітроустановок великої потужності використовується гідроелектропривід. Поворот лопаті навколо своєї поздовжньої осі може здійснюватися перекиданням профілю лопаті як у флюгерне, так і в антифлюгерне положення (коли задня кромка лопаті рухається за вітром або, відповідно, проти вітру). Антифлюгерне регулювання вважається більш оптимальним через вищу швидкість і підвищену стійкість лопаті до знакоперемінних аеродинамічних навантажень.

Обмеження частоти обертання вітроколеса, що досягається таким чином, забезпечує скидання надмірної потужності при максимальних швидкостях вітру, а також перешкоджає зростанню крутильного моменту та лобового тиску на вітроколесі.

Для обмеження гіроскопічних моментів, що виникають при орієнтації вітроколеса, застосовують повільний поворот головки приводом орієнтації або установку демпфера крутильних коливань головки.







