

УДК 621.311.245(045)

П. С. Соченко, канд. техн. наук,
В. А. Луценко

ЗАСТОСУВАННЯ ПЛАНЕТАРНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧ У ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВКАХ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

Інституту електроніки та систем управління НАУ, e-mail: sloven@i.ua

Розглянуто модель вітроенергетичної установки з вертикальною віссю обертання, у якій запропоновано використовувати планетарну систему передач, завдяки якій можна значно збільшити кількість електричної енергії, отриманої від потоку повітря. Основним принципом дії цієї передачі є застосування трьох сателітів, які забезпечують стабільність системи та збільшення передавального відношення.

Вступ. Великі запаси палива в глибинах нашої планети з'явилися завдяки геологічним породам, які залягають у гігантських розмірах. Але з кожним роком використання палива людиною зростає. Відбувається глобальне вичерпування природних ресурсів. На відновлення цих запасів знадобиться не одне століття. Учені дедалі частіше доходять висновку, що подальше збільшення енергії за рахунок енергоресурсів, що здобуваються, призведе до повного руйнування екосфери нашої планети.

Основні запаси природного палива вже відкриті й підраховані. Відповідно до даних Міжнародного геологічного конгресу основні енергетичні ресурси у світі – це кам'яне вугілля 5043 млрд т, буре вугілля 2904 млрд т, торф 240 млрд т. Ці цифри свідчать, що запаси скінченні.

Найяскравішим показником технічного прогресу є енергозабезпеченість людей.

Натепер на одну людину працює приблизно 25 невидимих робітників, які допомагають будувати машини, залізні дороги, будинки. З плином часу кількість таких робітників на одну людину збільшується і незабаром буде сягати 500.

Порівняння цих даних зі скінченними запасами природного палива свідчить про швидке їх остаточне вичерпування. У зв'язку з цим актуальною є проблема альтернативних джерел енергії. Такими джерелами є сонце вода і вітер.

Розробки в цій сфері ведуться лідируючими компаніями у сфері енергетичних установок. Джерела енергії, що пропонуються, існують протягом усього року і не потребують часу на відновлення.

Постановка завдання. Для розроблення вітроенергетичної установки (ВЕУ) визначаються такі основні етапи:

1. Вибір форми конструкції ВЕУ залежно від місця розташування, методу використання, природних можливостей місцевості (роза вітрів).
2. Вибір форми лопастей ВЕУ та методу їх закріплення (горизонтально або вертикально осьові).
3. Вибір потужності вітрогенератора.

На сьогодні використання вертикальноосьових ВЕУ досить поширене. Тому розроблення конструкції кріплення лопастей у ВЕУ – актуальна проблема у конструюванні повного комплексу установки.

Основним методом кріплення лопастей є безпосереднє закріплення їх на валу, до кінця якого підключено електрогенератор.

Як альтернативний, більш ефективний метод кріплення, можна використовувати планетарну систему – комплекс зубчастих передач, які складають редуктор.

Під час проектування планетарної системи розглядали такі питання:

- доцільність використання;
- підбір оптимальної конструкції.

Аналіз доцільності використання зубчастих передач з рухомими осями.

Використання зубчастих передач з рухомими осями обертання дозволяє зменшити габарити редукторів та виконати механічні системи з двома і більше степенями вільності. Нижче розглянуто основні варіанти компоновання таких передач.

Кінематичну схему двоступеневої осьової передачі з циліндричними колесами та нерухомими осями обертання показано на рис. 1. Проведемо такі зміни. Приєднаємо корпус підшипників проміжного вала коліс (2-2') з вихідним валом, який заздалегідь від'єднаємо від колеса 3, а саме колесо закріпимо на корпусі редуктора. Тепер вал, що несе колеса 2-2', буде здійснювати складні планетарні рух (обертаючись навколо своєї осі й одночасно з корпусом його підшипників навколо загальної осі вхідного і вихідного валів).

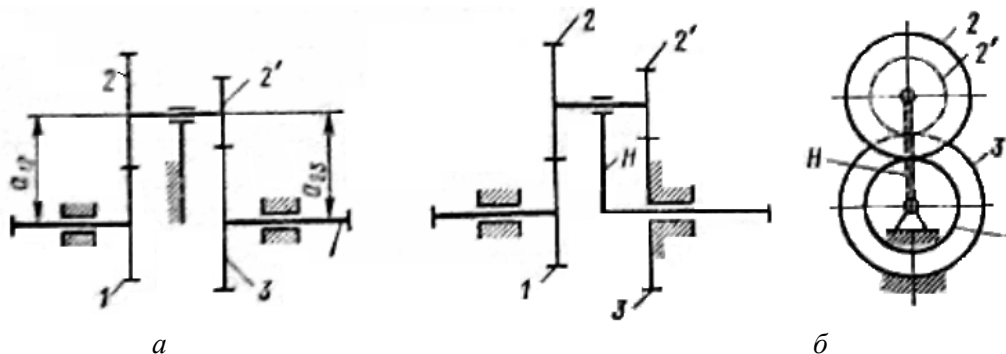


Рис. 1

Така передача називається планетарною. Вона складається з двох центральних коліс 1 і 3 (колесо 3 закріплено на корпусі редуктора і тому нерухоме), водила H (так називають ланку, яка складається з вихідного вала та корпуса підшипників проміжного вала) та подвоєного сателіта 2-2', що має рухому вісь обертання.

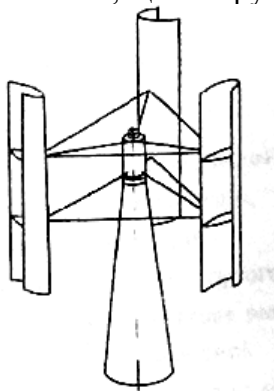


Рис. 2

Описана передача має два зовнішні зчеплення. Можна одне з них закріпити внутрішнім. Якщо при цьому колеса 2-2' однакові, то отримаємо більш поширену в практиці передачу, яку зображено на рис. 1. У цій передачі колесо 1 інколи називають сонячним, а колесо 3 – корончатим. Сателіт закріплюється з обома колесами.

Вертикально-осьову вітроенергетичну установку з жорстко закріпленими лопатями на центральному валі, на який безпосередньо закріплено генератор, зображено на рис. 2.

Без додаткових передач забезпечується простота конструкції, мінімізація втрат на тертя у процесі зношенні деталей та в разі розбалансування передач, але разом з тим і менший ККД від її роботи, оскільки підсилення отриманої потужності механічної

енергії повітряного потоку не відбувається. Вона відразу передається вал генератора для перетворення в електричну.

Проектуючи вертикальну вітроенергетичну установку, потрібно сконструювати вітрогенератор таким чином, щоб мінімізувати розміри конструкції і забезпечити високу стійкість системи перетворення повітряної енергії в механічну.

Виходячи з поставлених завдань, розробили каскад для закріплення лопастей ВЕУ на основі планетарної системи.

Використанням трьох сателітів, розташованих на однаковій відстані один від одного, забезпечується балансування (зрівноваження), навантаженням на центральну шестерню з усіх боків.

Структура планетарної передачі. Комплекс складається з таких елементів:

1) зовнішнього колеса, на яке діє рухомий момент (повітряний потік, напрямлений на лопать);

$$i = i_1 + i_2;$$

$$i_1 = \frac{w_2}{w_k}; \quad i_2 = \frac{w_2}{w_{\text{зовн}}};$$

$$i_1 = \frac{(r_1 + r)}{r_1}; \quad i_2 = \frac{(r_1 + 2r)}{r_1};$$

Побудуємо графіки залежностей передтних відношень від радіуса внутрішнього колеса планетарної передачі (дані наведено у таблиці).

Таблиця вхідних (r_1, R) та вихідних (i_1, i_2) значень параметрів

r_1	R	i_1	i_2	R
0,2	6	30	15,5	2,9
0,4	6	15	8	2,8
0,6	6	10	5,5	2,7
0,8	6	7,5	4,25	2,6
1	6	6	3,5	2,5
1,2	6	5	3	2,4
1,4	6	4,285714286	2,642857	2,3
1,6	6	3,75	2,375	2,2
1,8	6	3,333333333	2,166667	2,1
2	6	3	2	2
2,2	6	2,727272727	1,863636	1,9
2,4	6	2,5	1,75	1,8
2,6	6	2,307692308	1,653846	1,7
2,8	6	2,142857143	1,571429	1,6
3	6	2	1,5	1,5

Залежності, що зображені на рис. 4 і 5, є апіорними, оскільки вони розглядаються за ідеальних умов.

У дійсності на них накладаються додаткові умови, такі як втрати на тертя, розбалансування редукторної системи, оптимальність розмірів БЕУ.

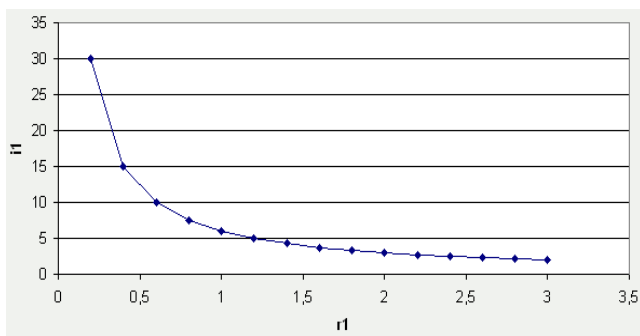


Рис. 4

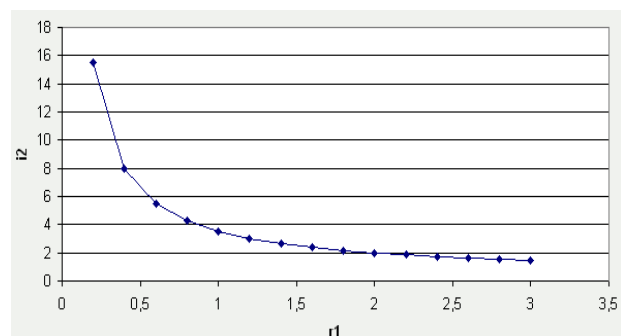


Рис. 5

Втрати та самогальмування в планетарній передачі. Вплив втрат у зчепленні зображується зміщенням «силового» полюса відносно кінематичного. Зазначимо, що силовий полюс O^F (рис. 6) зміщується від кінематичного O в бік веденого колеса. Тому сили F_{12} і F_{32} , діючи на сателіт з боку центральних коліс, прикладені в точках O_{12}^F і O_{23}^F , відстань між якими менша від відстані між кінематичними полюсами зчеплення O_{12} і O_{23} . Очевидно, що

навіть незначне зміщення силових полюсів сильно впливає на величину сили F_{H2} і відповідно на ККД передачі, оскільки $F_{H2} = F_{32} - F_{12}$, а $OO^F_{23}F_{32} = OO^F_{12}F_{12}$. За малої різниці в кількості зубців z_2 і z_2' , яка виходить в разі великого передатного відношення, точки O^F_{12} і O^F_{23} можуть збігатися і тоді $F_{32} = F_{12}$ і $F_{H2} = 0$, тобто ККД передачі дорівнюватиме нулю і відбудеться самогальмування.

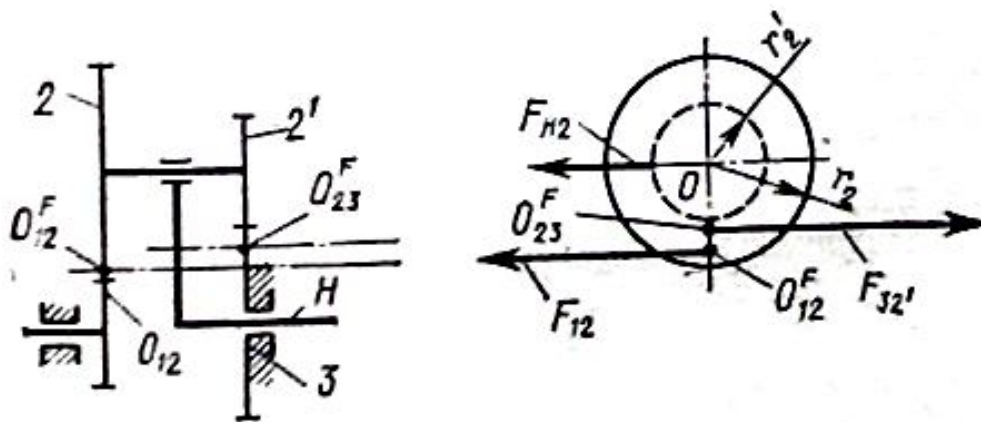


Рис. 6

Проте в дійсності внаслідок втрат в підшипниках самогальмування відбудеться ще раніше, ніж збігатимуться точки O^F_{12} і O^F_{23} .

Передатне відношення зазначаємо з умови рівноваги сателіта. Сили, які діють на сателіт передачі (рис. 7) визначено на рис. 1

Оскільки до сателіта не прикладено зовнішнього моменту, то $F_{12} = F_{32}$. Потім, якщо знехтувати втратами на тертя, то $F_{32} = F_{12} = T_1/r_1$ і $F_{H2} = F_{12} + F_{32} = T_H/(r_1 + r_2)$. Як видно з цих рівностей, підшипник сателіта має подвійне навантаження і при конструюванні можуть виникнути проблеми з його розташуванням унаслідок того, що він може вийти великим за розмірами.

Оскільки при $\eta = 1$ силове передатне відношення обернено пропорційне кінематичному, то це $i^2_{1H} = T_H/T_1$, звідки $(T_H/T_1) = 1 + (T_3/T_1) = 1 + (r_3/r_1) = 1 + (z_3/z_1)$.

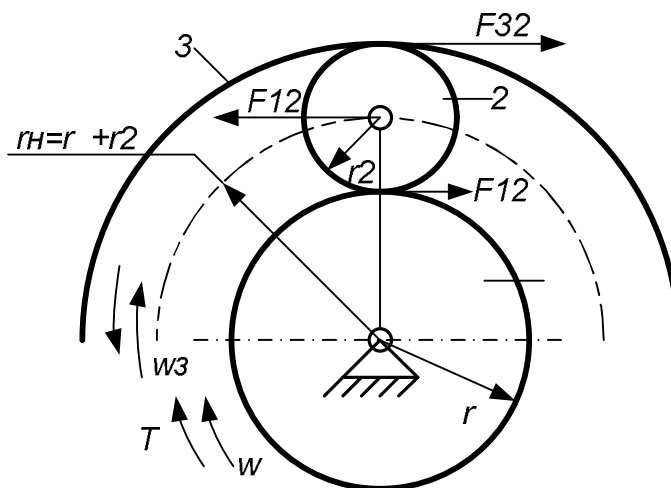


Рис. 7

Модель вітряної турбіни з вертикальною віссю обертання, яка базується на планетарній системі передач, показано на рис. 8, на якому: 1 – турбіна; 2 – лопаті турбіни; 3 – внутрішня вісь верхньої турбіни; 4 – зовнішня вісь нижньої турбіни; 5 – водило; 6 – сателіти; 7 – генератор; 8 – коронна шестерня; 9 – сонячна шестерня.

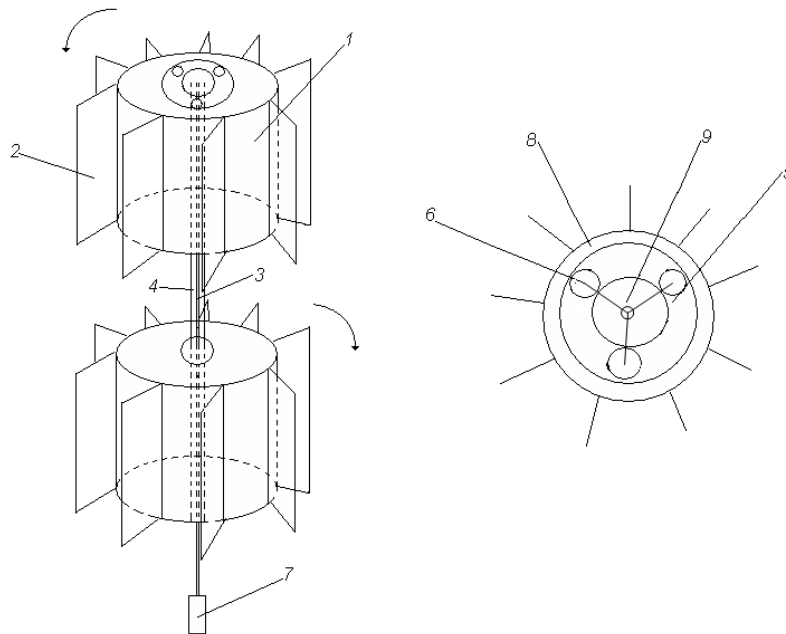


Рис. 8

Висновки. Упровадження запропонованої конструкції планетарної системи передач у ВЕУ дає змогу збільшити коефіцієнт перетворення енергії вітру в механічну енергію, тобто збільшити ККД ВЕУ. За запропонованими розрахунками та графіками відповідностей можна підібрати оптимальний ККД ВЕУ згідно з поставленим завданням та вимогами до габаритів.

Список літератури

1. Аркуша А.И. Техническая механика. Теоретическая механика и сопротивление материалов. – М.: Высш. шк., 2003. – 352 с.
2. Кудрявцева В. Н., Кирдяшева Ю. Н. Планетарные передачи: справ. – М.: Высш. шк., 1997. – 602 с.
3. Сапрыкин В.Н. Техническая механика. – Донецк: Феникс, 2003. – 559 с.
4. Худяков А. В., Ващук В. А. Механика. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2000. – 60 с.

П. С. Соченко, В. А. Луценко

Использование планетарной системы передач в ветроэнергетических установках малой мощности

Рассмотрена модель ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения, в которой предложено использовать планетарную систему передач. Благодаря последней возможно значительно увеличить количество электрической энергии, полученной от потока воздуха. Основным принципом действия этой передачи является использование трёх сателлитов, которые обеспечивают стабильность системы и увеличение передаточного отношения.

P. S. Sochenko, V. A. Lutsenko

Use of planetary system of transfers in the low-power wind-energy station

The model of wind-energy station with a vertical axis of rotation with using of planetary system of transfers was considered. Due to last it is possible to increase amount of the electric energy, which is received from a stream of air. Main principle of action of this transfer is using of three satellites, which provide stability of system and increase the transmission ratio.