

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

за матеріалами
Всеукраїнської науково-технічної
онлайн-конференції
молодих учених та студентів
**«Еколого-енергетичні
проблеми сучасності»**

29-30 вересня 2020 року



Одеса
Видавець Бондаренко М. О.
2020

УДК 621.577

ББК 31.3

3-41

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Одеської національної академії харчових технологій,
протокол № 3 від 6 жовтня 2020 р.*

Відповідальний редактор:

Тітлов О. С., завідувач кафедри нафтогазових технологій, інженерії та теплоенергетики, д-р. техн. наук, професор.

За достовірність інформації відповідає автор публікації

Збірник наукових праць за матеріалами Всеукраїнської науково-3-41 технічної онлайн-конференції молодих учених та студентів «Еколого-енергетичні проблеми сучасності» 29-30 вересня 2020 року / ред. О. С. Тітлов. – Одеса : ФОП Бондаренко М. О., 2020. – 52 с.

ISBN 978-617-7829-80-4

До збірника включені матеріали сучасних наукових досліджень студентів, магістрів та аспірантів різних університетів і академій України.

Розглянуто наступні напрямки досліджень: Теплові насоси. Системи опалення та кондиціонування; теплообмінні апарати; енергетичні та екологічні проблеми нафтогазової галузі; екологічна безпека; екологічні проблеми сучасності; раціональне використання природних ресурсів.

УДК 621.577

ББК 31.3

ISBN 978-617-7829-80-4

© Одеська національна академія
харчових технологій, 2020

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОТЕПЛОВОЇ АВТОНОМНОЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Степанчиков Д.М., к.ф.-м.н, доц.; Прядка Є.С., студент
Херсонський національний технічний університет

Малопотужні вітроенергетичні установки (ВЕУ) в останні часи набувають все більшого поширення. Такі ВЕУ зазвичай, працюють в автономному режимі, їх застосовують окремі споживачі для електрозабезпечення у випадках відсутності централізованих електромереж, або для додаткового електроживлення з метою зниження електроспоживання від мережі, підвищення енергоефективності та забезпечення безперебійності електропостачання.

Особливості розташування та специфічні характеристики вітру зумовлюють суттєву відмінність конструкцій малопотужних ВЕУ від традиційних великої потужності, зокрема застосування ВЕУ з вертикальною віссю обертання. Ці ВЕУ ефективно працюють з поривчастими вітрами, постійно сприймають вітер різних напрямків і стартують при малій швидкості вітру завдяки прямому, безредукторному, приводу тихохідного багатополісного синхронного генератора на постійних магнітах (СГПМ).

При зниженій ємності встановлених акумуляторних батарей (АБ) зростає частина генерованої електроенергії, яку не можливо безпосередньо спожити чи нагромадити. Таку електроенергію або втрачають, зменшуючи генеровану ВЕУ потужність, або корисно використовують, навантажуючи додатково генератор термоелектричними нагрівачами (ТЕНами), які вміщують у бойлер задля підігрівання води для опалення та гарячого водопостачання. ВЕУ, яка продукує електричну та теплову енергію, можна назвати електротепловою.

Питанням спільного розгляду генерування електричної та теплової енергії у малопотужних електротеплових ВЕУ та розробленню нових підходів до побудови енергоефективних і водночас простих систем керування цими процесами досі практично не приділяли належної уваги. Зважаючи на необхідність економічної привабливості ВЕУ, що призведе до розширення сфер їхнього застосування, такі задачі особливо актуальні.

В роботі розглядається ВЕУ з вертикальною віссю обертання та прямопривідним СГПМ. Параметри ВЕУ представлені у таблиці 1. Баланс моментів на валу вітроколеса дається диференціальним рівнянням [1,2].

$$\frac{d}{dt} \omega = \frac{1}{J} (M_{BK} - M_{EM} - b\omega - M_c) \quad (1)$$

де ω – кутова швидкість обертання вітроколеса (ВК), J – сумарний момент інерції ВЕУ, M_{EM} – електромагнітний момент, b – коефіцієнт в'язкого тертя механічної частини ВЕУ, M_c – момент статичного навантаження на валу СГПМ.

Крутний момент вітроколеса M_{BK} під дією вітру зі швидкістю v_{wind} визначає механічну потужність P_{BK} [1,2]:

$$M_{BK} = \frac{P_{BK}}{\omega} = \frac{1}{2} \rho A r \frac{C_p(\lambda)}{\lambda} v_{wind}^2 \quad (2)$$

де ρ – густина повітря, A – площа омивання ВК, r – радіус ВК.

Для електромагнітного моменту M_{EM} на валу СГПМ маємо [1]:

$$M_{EM} = \frac{3}{2} \frac{(p\psi_m)^2 \omega}{\sqrt{(R + R_t)^2 + (p\omega L)^2}} \cos\left(\arctg \frac{p\omega L}{R + R_t}\right) \quad (3)$$

де R_t – активний опір ТЕНів, p – кількість пар полюсів; ψ_m – амплітуда потокозчеплення; R – опір обмотки якоря; L – індуктивність обмотки якоря.

Коефіцієнт потужності $C_p(\lambda)$ для трилопатевого Н-ротора і швидкохідність λ відповідно визначаються рівняннями [1,2]:

$$C_p(\lambda) = 1.14 \left(\frac{9.47}{\lambda} - 1 \right) e^{-\frac{6}{\lambda}}; \quad \lambda = \frac{\omega r}{v_{wind}} \quad (4)$$

Таблиця 1

Параметри ВК і СГПМ для досліджуваної електротеплової ВЕУ з вертикальною віссю

$P_{ном},$ кВт	$\omega_{ном},$ рад/с	$R_s,$ Ом	$r,$ м	$M_c,$ Н·м	$J,$ кг·м ²	$\Psi_{ms},$ Вб	$L_s,$ Гн	$R_s,$ Ом	p	b
5,0	9,95	1,8	3,69	25	310	0,22	0,002	0,15	32	1,5

Для трилопатевого Н-ротора Дар'є залежність $C_p(\lambda)$ показана на рис. 1(а). Максимальне значення коефіцієнта потужності 0,35 при оптимальному значенні швидкохідності 3,67. Ця точка називається точкою максимуму відбору потужності (ТМВП).

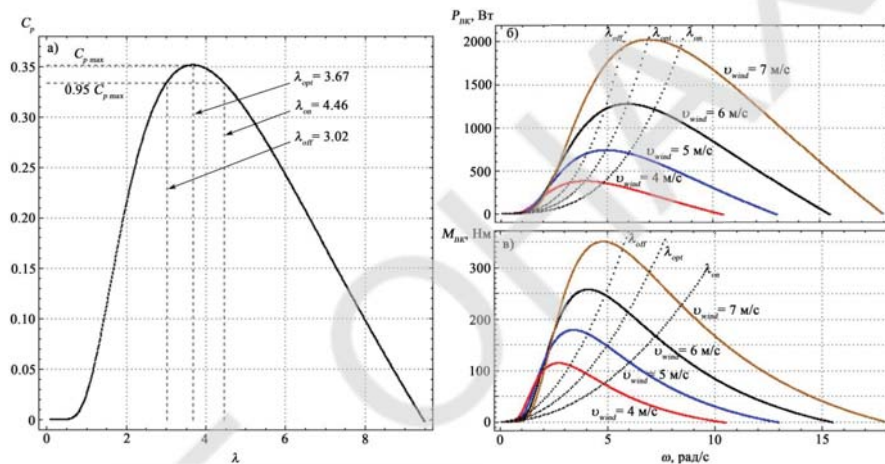


Рис.1 - Залежність коефіцієнту потужності C_p від швидкохідності λ (а), залежності механічної потужності $P_{ВК}$ (б) і крутного моменту $M_{ВК}$ (в) від кутової швидкості обертання ВК для різних швидкостей вітру

Функції потужності $P_{ВК}(\omega)$ і механічного моменту $M_{ВК}(\omega)$ за різних швидкостей вітру теж мають екстремуми при конкретних, але різних кутових швидкостях ВК (рис.1(б,в)). З метою відбору максимальної потужності від вітру, електричне навантаження генератора ВЕУ повинно бути таким, при якому досягається оптимальна кутова швидкість ВК і забезпечується робота в точці максимального відбору потужності.

Щоб забезпечити хоча б якийсь заряд АБ при низьких швидкостях вітру, ВК повинно набрати достатню кутову швидкість, і при цьому робоча точка ВК зміщується в сторону $\lambda > \lambda_{opt}$. При високих швидкостях вітру – навпаки, $\lambda < \lambda_{opt}$. В обох випадках енергетична ефективність ВЕУ суттєво знижується, що особливо погано у випадку низькошвидкісних вітрів, коли потужність вітру є малою.

В роботі запропоновано простий спосіб регулювання навантаження СГПМ періодичним підключенням і відключенням до обмоток якоря генератора ТЕНів, які встановлені в тепловому акумуляторі. Система керування використовує інформацію лише про частоту обертання генератора і струм заряду АБ та автоматично переходить з режиму

періодичного підключення електронним багатофазним ключем до обмоток статора генератора ТЕНів до режиму нагромадження електроенергії в АБ і навпаки [1,2].

Умови для підключення та відключення до обмотки якоря СГПМ з'єднаних у зірку ТЕНів з активними опороми R , можна відповідно сформулювати наступним чином [1,2]:

$$\omega > \omega_{on} = \frac{\lambda_{on} v_{wind}}{r}; \quad \omega < \omega_{off} = \frac{\lambda_{off} v_{wind}}{r} \quad (5)$$

Основним завданням цього способу є забезпечення такого сумарного електричного та механічного періодичного навантаження генератора, при якому кутова швидкість ВК коливатиметься в околі ТМВП $[\lambda_{off}; \lambda_{on}]$ за неповного навантаження ВЕУ, забезпечуючи квазіоптимальне керування її роботою (рис.1).

Наведені на рис.2,3 результати розраховано для значення опору ТЕНів $R_t = 1,8$ Ом, за якого максимальне значення швидкості вітру, коли ще можливе періодичне навантаження, наближається до 4,9 м/с.

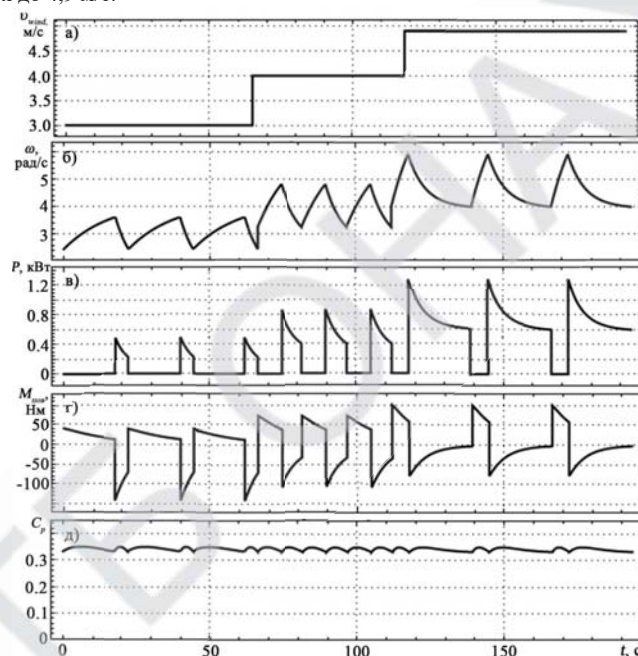


Рис. 2 – Часові залежності основних характеристик досліджуваної ВЕУ при періодичному навантаженні СГПМ на ТЕНи: а) швидкість вітру, б) кутова швидкість обертання вала, в) тепла потужність, г) повний крутний момент, д) коефіцієнт потужності

Аналіз результатів показує, що збільшення швидкості вітру веде до збільшення часу гальмування і зменшенню часу розгону. На мінімальній швидкості вітру 3 м/с час розгону перевищує час гальмування у 3,9 разів. На максимальній швидкості вітру 4,9 м/с навпаки час гальмування перевищує час розгону у 3,7 рази. Наслідком цього є збільшення кількості теплоти, яка виділяється у ТЕНах, а отже – збільшення температури нагріву певної маси води. Частота підключення ТЕНів при збільшенні швидкості вітру спочатку збільшується, досягаючи максимуму при швидкості вітру 4 м/с і потім починає зменшуватися. Електричний

ККД СГПМ, який характеризує енергетичну ефективність передачі генерованої електричної енергії до ТЕНів для $R_t = 1,8$ Ом дорівнює 0,92.

Збільшення величини опору ТЕНів R_t , призводить до того, що періодичне навантаження СГПМ застосовується лише до певного значення швидкості вітру. Зі

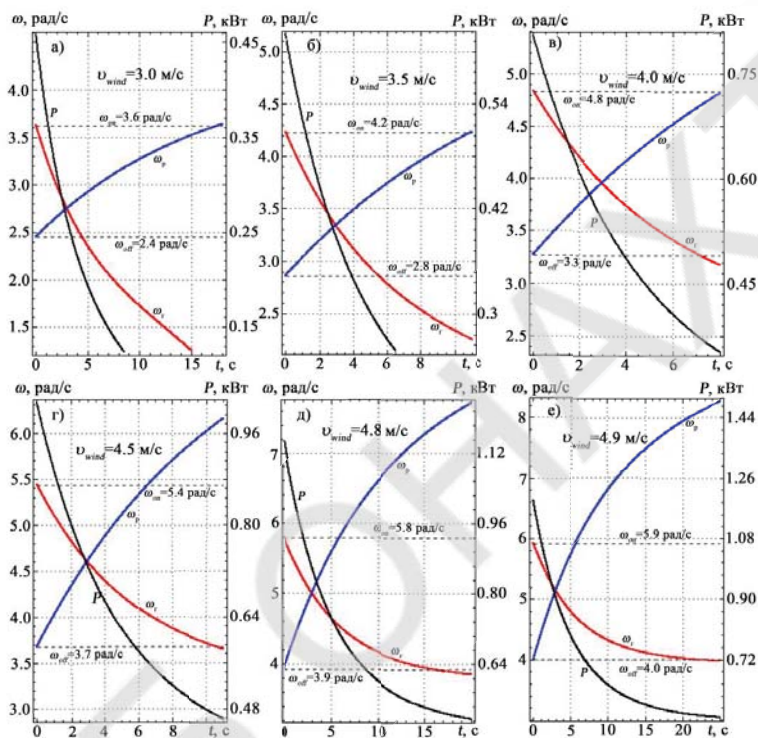


Рис.3 – Результати обчислень зміни в часі кутової швидкості ВК при підключенні ω_t та відключенні ω_r до генератора ТЕНів, а також теплової потужності P

збільшенням цієї швидкості періодичне навантаження переходить у неперервне, оскільки швидкохідність ВК не падає нижче від λ_{off} . У режимі неперервного навантаження СГПМ можна реалізувати три сценарії: генерування лише теплової енергії, генерування лише електричної енергії або генерування обох видів енергії.

Спільне генерування електричної та теплової енергії у малопотужних вітроенергетичних установках і розроблення нових підходів до побудови енергоефективних і водночас простих систем керування цими процесами обґрунтовано необхідністю забезпечення економічної привабливості ВЕУ і розширенням сфер їхнього застосування. Запропонований спосіб і розроблена система періодичного навантаження СГПМ на ТЕНи дають змогу реалізувати просту та дешеву систему квазіоптимального керування електротепловою автономною ВЕУ.

Інформаційні джерела

1. Щур І.З. Автономна вітроенергоустановка з акумулюванням електричної і теплової енергій / І.З. Щур, В.І. Щур // Енергетика і автоматика. – 2012. – №2. – С. 8-16.

2. Кравчик В.В. Можливість генерування електричної та теплової енергії у малопотужних вітроенергетичних установках / В.В. Кравчик, Є.С. Прядка, Д.М. Степанчиков // “Актуальні проблеми сучасної енергетики”: зб. тез доп. IV всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених (м. Херсон, 22-24 травня, 2019р.). – Херсон, ХНТУ, 2019. – С. 111-114.

ХНТУ ОНХАХІ

ТЕХНОЛОГИЯ ДООЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД МЕТОДОМ ОЗОНИРОВАНИЯ <i>Трухачева Д.Е.</i>	21
НЕСТАНДАРТНИЙ СПОСІБ ПІДГРІВУ НАФТИ ЗА РАХУНОК ТЕПЛОВИХ ВИКИДІВ З КОМПРЕСОРНІЙ СТАНЦІЇ <i>Черниш Г. С.</i>	22
СПОСОБИ УТИЛІЗАЦІЇ СУДНОВИХ ВІДХОДІВ НА СУДАХ І НА ТЕРИТОРІЇ МОРСЬКОГО ПОРТУ «ПІВДЕННИЙ» <i>Баранова О.І.</i>	26
РОЗРОБКА І ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМНИХ РІШЕНЬ СИСТЕМ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З КОМБІНОВАНИМ ВИКОРИСТАННЯМ ТРАДИЦІЙНИХ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ <i>Балаєвич О.О.</i>	27
ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З КОМБІНОВАНИМ ВИКОРИСТАННЯМ ТРАДИЦІЙНИХ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ <i>Білецький А.М.</i>	31
РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ С КОМБИНИРОВАННЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРАДИЦИОННЫХ И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ <i>Прунич О.В.</i>	33
РОЗРОБКА І ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ СИСТЕМ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З КОМБІНОВАНИМ ВИКОРИСТАННЯМ ТРАДИЦІЙНИХ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ <i>Фелонюк С.А.</i>	36
ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ХОЛОДИЛЬНИКА ПЕЛЬТЬЄ <i>Єсипенко А.М., Цісельський М.С.</i>	42
МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ЕЛЕКТРОТЕПЛОВОЇ АВТОНОМНОЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ <i>Степанчиков Д.М., Прядка Є.С.</i>	44

Наукове видання

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

за матеріалами
Всеукраїнської науково-технічної
онлайн-конференції
молодих учених та студентів
«Еколого-енергетичні проблеми сучасності»

29-30 вересня 2020 року

Підписано до друку 6.10.2020
Формат 60×84/16. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Друк офсетний. Ум. др. арк. 3,02. Наклад 100 прим.
Зам № 231120/1

Надруковано з готового оригінал-макету у друкарні «Апрель»
ФОП Бондаренко М.О.
65045, м. Одеса, вул. В.Арнаутська, 60
тел.: +38 048 700 11 55
www.aprel.od.ua

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців ДК № 4684 від 13.02.2014 р.