



УДК 620.9

КОГЕНЕРАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ ВДЕ В АПК**Жарков А.В., аспірант***,**Жарков В.Я., к.т.н.******Таврійський державний агротехнологічний університет**** Сумський національний аграрний університет*

Тел.: 0974927512

Анотація – в Україні не приділяється належної уваги малопотужним технічним засобам перетворення відновлюваної енергетики в електроенергію і теплоту, хоча потенційних власників малопотужних ВДЕ досить багато. Нами розроблено і запатентовано декілька когенераційних установок перетворення енергії вітру в теплоту на базі індукційного перетворювача та генератора на неодимових магнітах, а також когенераційних сонячних енергоустановок, які можуть комбіновано перетворювати відновлювану енергію в електроенергію і теплоту.

Ключові слова: відновлювана енергетика, когенерація, вітропарк, домогосподарство, електрогенератор, сонячна установка.

Постановка проблеми. Політика енергоефективності має охоплювати усі галузі економіки та сектор домогосподарств при пріоритетності реалізації заходів, які забезпечують максимізацію ВВП при мінімізації енергетичних витрат. Окрім розвитку комерційної відновлюваної енергетики (ВЕ), в Україні є необхідність розвивати некомерційну, в першу чергу, «сільську», «фермерську», «для двору». Самостійні невеликі системи служать децентралізації енергопостачання, дозволяють диверсифікувати джерела енергії і можуть зробити більш енергонезалежною Україну, і фермерів зокрема.

Аналіз останніх досліджень. Паризька кліматична угода, яка набула чинності 4.11.2015 р. взамін Кіотського протоколу, має стримати глобальне потепління на планеті. Згідно з договором, уряди всіх країн, які ратифікували її, і Україна зокрема, тепер зобов'язані стримувати зростання середньої температури на рівні не більше 2°C. Отже без ВЕ нам не обійтися. В Україні належної уваги малопотужним технічним засобам перетворення ВЕ в електроенергію і теплоту не приділяється, хоча потенційних власників малої ВЕ досить багато.

Таблиця 1 – Встановлена потужність та обсяг виробленої електроенергії об'єктами ВДЕ України у 2010-2014 роках [1]



Напрямок відновлюваної енергетики	Встановлена потужність, МВт					Виробництво електроенергії, млн. кВт·год.				
	2010	2011	2012	2013	2014	2010	2011	2012	2013	2014
Вітроенергетика	76,6	146,4	193,8	334,1	513,9	49,2	89	257,5	636,5	1171,5
Сонячна енергетика	2,5	188,2	371,6	748,4	818,9	0,5	30,1	333,6	562,8	485,2
Мала гідроенергетика	62,5	70,8	73,5	75,3	80,3	192,5	203,4	171,9	286	250,7
Біомаса	4,2	4,2	6,2	17,2	35,2	0,002	9,6	17,7	32,4	60,9
Біогаз	-	-	-	6,5	13,9	-	-	-	5	39,3
Всього	145,8	409,6	645,1	1181,5	1462,2	242,2	332,1	780,7	1522,7	2007,6

Формулювання цілей статті. Міжнародна науково-практична конференція «Відновлювана енергетика та енергоефективність у ХХІ ст.» (Київ, вересень 2016 р.), ухвалила «науково-дослідним організаціям, учбовим закладам, які займаються питаннями енергозабезпечення і енергозбереження, рекомендувати продовжити, розширити та поглибити дослідження за напрямком: розробка когенераційних технологій виробництва теплової і електричної енергії на базі використання ВДЕ для домогосподарств». На це й спрямована представлена наукова робота. Цьому сприяють і ЗУ «Про когенерацію» та «Про альтернативні джерела енергії», із змінами 2016, №1.

Основна частина. На опалення і гаряче водопостачання у світі витрачається близько третини палива. Разом з тим, 40% енергії селянинові потрібні у вигляді низькопотенційної теплоти (НПТ). Витрачати високоякісну електричну енергію на отримання НПТ протирічить здоровому глузду. НПТ необхідно отримувати від ВДЕ - за рахунок енергії Сонця, вітру, біомаси тощо.

З початку ХХІ ст. в ТДАТУ ведуться наукові роботи щодо перетворення енергії вітру в інші корисні форми, зокрема запропоновано індукційний спосіб перетворення енергії вітру в теплоту, розроблено і запатентовано більше 10 варіантів індукційних пристроїв перетворення енергії вітру в теплоту (ІПЕВТ), різних за конструкцією, призначенням і ефективністю.

Принцип роботи ІПЕВТ заснований на збудженні вихрових струмів в сталевих магнітопроводах (МП). Магнітна індукція збільшується



ся, коли зубець рухомого МП розташовується над зубцем нерухомого, і буде зменшуватися, коли зубець рухомого МП буде розташований над пазом нерухомого МП. Величина магнітної індукції залежить від зазору і зменшується із збільшенням зсуву від V_{\max} до V_{\min} . Таким чином, при обертанні рухомого МП, жорстко зв'язаного з валом ВД, що обертається за рахунок енергії вітру, індукція в зазорі пульсує, не змінюючи знаку від $V_{\delta\max}$ до $V_{\delta\min}$. Її можна представити у вигляді двох складових: змінної з амплітудою $V_{\delta-}=0,5 (V_{\delta\max} - V_{\delta\min})$ і постійної, рівної $V_{\delta+}=0,5 (V_{\delta\max} + V_{\delta\min})$. Змінна складова магнітного поля індукує в МП ЕРС і вихрові струми частотою $f=Zn$, де Z і n – відповідно, кількість зубців і частота обертання рухомого МП.

Вихрові струми за законом Джоуля-Ленца нагрівають МП, а ті нагріватимуть теплоакумулюючу рідину в резервуарі, яка може використовуватися для обігріву споруд, парників та теплиць. Постійна складова магнітного потоку ніяких струмів не індукує, тому ця частина магнітного потоку не приймає участі в перетворенні вітрової енергії в теплову. Чим більша швидкість вітру і швидкість обертання вала ВД, тим більшою буде величина і частота індукованих вихрових струмів, що нагрівають МП, тим більше теплоти виділятиметься в них, а останні нагріватимуть теплоакумулюючу рідину в резервуарі.

Нижче наведена методика розрахунку параметрів ШЕВТ [1].

1) Вибір габаритних розмірів ШЕВТ: товщини МП h_m , зовнішніх діаметрів D_3 і зазору δ між ними проводиться на основі теплотехнічних розрахунків, з урахуванням необхідної потужності ШЕВТ і допустимої температури нагріву МП.

2) Вибір параметрів зубців. Оптимальна кількість зубців індуктора визначається за виразом $Z=(0,022\dots 0,034)D_3/\delta$. Відношення ширини паза b_n до кроку зубців t_z звичайно вибирають в межах $b_n/t_z=0,65\dots 0,55$. А, знаючи крок зубців t_z , знаходять ширину паза $b_n=(0,65\dots 0,55)t_z$. Для дискових МП з радіальними зубцями в прилеглих торцях крок зубців в градусах визначається за виразом $t_z^\circ=360^\circ/Z$. Тоді ширина паза b_n в градусах буде $b_n^\circ=(0,65\dots 0,55)t_z^\circ$, а ширина зубця $b_z=t_z-(0,65\dots 0,55)t_z$. Глибину паза рекомендується брати із співвідношення. $h_n=(30\dots 40)\delta$.

3) Визначення оптимальних розмірів обмотки збудження. Економічно оптимальним співвідношенням між лінійними розмірами “міді” і “сталі” є $(0,37\dots 0,4)$ [1]. Тоді оптимальна ширина кільцевої канавки для обмотки збудження $b_k=(0,37\dots 0,4)l_z$, де l_z - довжина радіального зубця. Оптимальна глибина кільцевої канавки в МП $a=(0,37\dots 0,4)h_m$; для того, щоб магнітна індукція в зовнішніх і внутрішніх зубцях індуктора була однаковою, кільцева канавка повинна ділити зубці за площею навпіл $S_1=S_2=S_z/2$.

Фізичне моделювання на макеті ПЕВТ дозволило знайти залежність магнітного потоку Φ від величини зазору δ і переміщення зубців якоря відносно зубців індуктора. Досліджені зміни магнітного потоку Φ і магнітної індукції B в зубцях при різних параметрах магнітної системи. Дослідження проводилися для зубцевих зон, які мали співвідношення в межах: $\delta_0 = \delta/\tau = 0,04 \dots 0,3$; $b_{z0} = b_z/\tau = 0,5 \dots 1$; $h_{z0} = h_z/\tau = 0,3 \dots 1,5$.

Для фізичного моделювання використаний електромагнітний макет магнітної системи і з'ємні пакети зубцевих зон з різною конфігурацією зубців, набраних із електротехнічної сталі. Потік у визначеній області створювався двома котушками при проходженні по них струму. Оптимальна відносна ширина зубця знаходиться в досить вузьких межах: $b_z = (0,65 \dots 0,8)\tau$. Індукція в повітряному зазорі на ділянці зубцевого ділення 2τ визначалася балістичним методом. Результати заміру залежності повного магнітного потоку Φ зубцевого ділення в зазорі δ від переміщення зубців якоря відносно зубців індуктора при різних значеннях величини зазору подані на рис. 1.

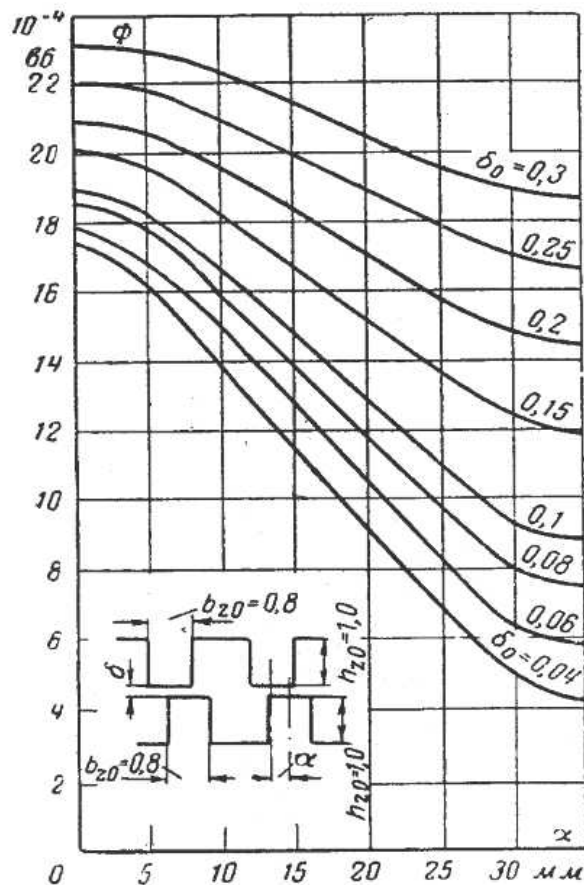


Рис. 1. Зміна магнітного потоку Φ в зазорі δ при переміщенні зубців якоря відносно зубців індуктора

Математична обробка. Пронумеруємо залежності для різних величин зазорів δ_0 на рис. 2 від $r=1$ до $r=8$. Розглянемо одну із залежностей з індексом r . Нехай кількість дослідів для неї становило n_r+1 . Припишемо кожному із цих дослідів індекс від 0 до n_r таким чином,

щоб кожному значенню переміщення x_{rk} ($k=0,1,2,\dots n_r$) відповідав магнітний потік $f(x_{rk})$. Побудуємо поліном Лагранжа на $n_r + 1$ вузлових точках x_{rk} и $f(x_{rk})$.

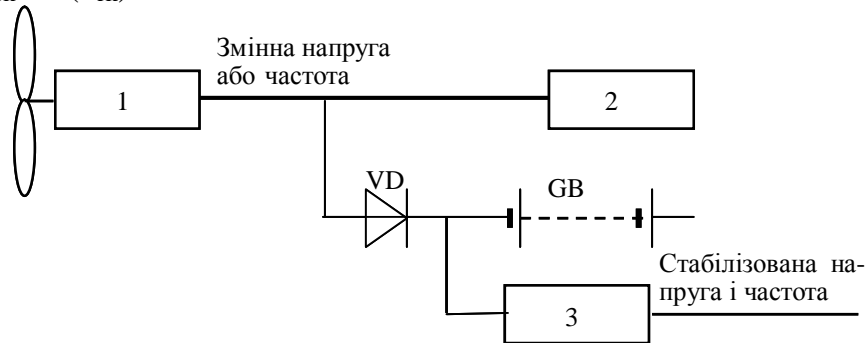


Рис. 2. Схема узгодження присадибної ВЕУ зі споживачами: 1 - вітроелектрогенератор, 2 – електронагрівачі, 3 – інвертор, VD – випрямляч, GB – акумуляторна батарея

Для виконання розрахунків складена програма на мові C⁺⁺ [1]. Код програми містить:

- 1) вихідний масив даних за результатом експериментів, тобто координати всіх вузлових точок x_{rk} і $f(x_{rk})$, $r=1, 2,\dots,8$, x_{rk} ($k=0,1,2,\dots n_r$);
- 2) функцію для розрахунку магнітного потоку за формулою (1);
- 3) процедуру для виводу інформації в вигляді таблиці;
- 4) процедуру для виводу інформації в вигляді графіка.

Тестування програми проводилося на прикладі побудови полінома Лагранжа для функції $y=\sin(x)$. Тестові іспити показали, що при інтерполюванні функції поліномом (1) забезпечує точність до 6-го знака. В табл. 2 наведені результати розрахунків залежностей магнітного потоку для зазору $\delta_0=0,25$. Із табл. видно, що розрахункові значення магнітного потоку $U_{i(\text{розр.})}$ у вузлових точках $x_i=0, 15,0, 20,0$ і $30,0$ співпадають з експериментальними даними $U_{i(\text{експ.})}$, тому розроблений алгоритм може бути використаний при аналізі конструкції магнітної системи ІПЕВТ для вітрового теплогенератора.

Таблиця 2 - Залежність величини магнітного потоку від переміщення зубців якоря для зазору $\delta_0=0,25$.

x_i , мм	0	5,2	7,8	15,0	20,0	25,4	30,0
$U_{i(\text{експ.})}$	22,0000			20,0000	19,0000		17,0000
$U_{i(\text{розр.})}$	22,0000	21,5603	21,2233	20,0000	19,0000	17,8913	17,0000

Отримані результати будуть використані при побудові імітаційної моделі МП та обґрунтуванні їхньої конструкції.

Аналіз розробок показав, що більш перспективним є виготовлення ІПЕВТ у вигляді двох нерухомих МП з зубчастою будовою прилеглих поверхонь і ротора у вигляді сталюого диска, покритого матері-



алом з підвищеною електропровідністю, що обертається між ними від вала вітродвигуна [2].

На базі ШПЕВТ розроблено присадибний когенераційний вітропарк (патент України №95186, і заявка № u201612945 від 19.12.2016) для комбінованої генерації електричної і теплової енергії.

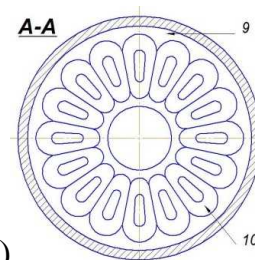
Ефективність роботи вітроенергоустановки (ВЕУ) суттєво залежить від правильності вибору системи керування генератором. При мінімальному керуванні генератором напруга на його виході (і частота, в разі генератора змінного струму) буде нестабільною. Електроенергію з такими параметрами можна безпосередньо застосовувати в нагрівачах. В багатьох випадках такі ВЕУ задовольняють споживачів [3]. Відносно малі потреби в електроенергії зі стабільними параметрами (наприклад 220 В/50 Гц) можна в такому випадку задовольняти спеціальними перетворювачами від акумуляторних батарей (рис.2).

Для живлення обмоток збудження декількох ШПЕВТ запатентованого нами когенераційного вітропарку [4] передбачений, підключений через випрямляч, розроблений нами автономний вітроелектрогенератор з аксіальним магнітним полем на неодимових магнітах (патенти України №104467, №116122, заявка № u201611807 від 22.11.2016).

Запатентований нами вітроелектрогенератор з дводисковим ротором і постійними магнітами збудження (рис. 3) складається з циліндричного корпусу 1, закритого підшипниковими щитами 2,3, вала 4, дводискового ротора 5,6 з неодимовими магнітами 7,8, бакелітового статорного диска 9 з якірними котушками 10 [5].

При появі вітру вал 4, з'єднаний з вихідним валом вітродвигуна (не показаного), установлений в підшипникових щитах 2,3 циліндричного корпусу 1, обертається разом з багатополюсним дводисковим ротором 5,6. Обертове магнітне поле неодимових магнітів 7,8, закріплених на сталевих дисках 5,6, по черзі пересікають якірні котушки 10, установлені на бакелітовому статорному диску 9, нерухомо закріпленому в циліндричному корпусі 1, генеруючи в них ЕРС. Згідно-послідовне з'єднання якірних котушок 10 забезпечує збільшення ЕРС в обмотках, частотою $f=Pn/60$, що залежить від кількості пар полюсів P і частоти обертання ротора n [5]. Запатентований нами малопотужний вітроелектрогенератор з дводисковим ротором спрощеної конструкції відрізняється тим, що один з роторних дисків виконаний у вигляді сталевих пластини [6].

а)



б)

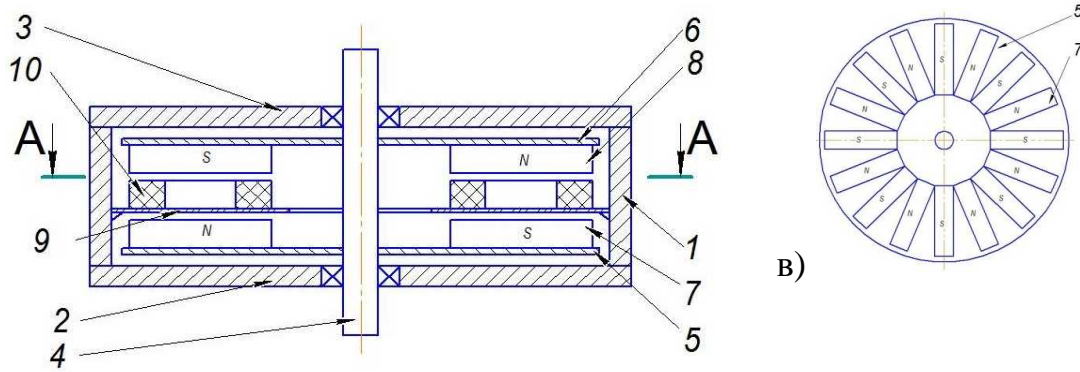


Рис. 3. Малопотужний вітроелектрогенератор з дводисковим ротором на постійних магнітах з аксіальним магнітним потоком: а) по-вздовжній розріз; б) статорний диск з якірними котушками; в) диск ротора з неодимовими магнітами [5]

Для підвищення ефективності використання енергії вітру нами запропонована комбінована вітротеплонасосна технологія, розроблена і запатентована присадибна вітротеплонасосна установка (Пат. №107616 [7]), та компресійний тепловий насос для охолодження напоїв (Пат. №108003).

З 12 січня 2016 року в Україні введено «зелений» тариф на електроенергію вироблену приватними домогосподарствами з ВДЕ потужністю до 30 кВт. Для приватних побутових СЕС, введених в дію в 2016 р. і експлуатованих домогосподарствами, він виріс до 4 грн. 81,7 коп. (без ПДВ). Для розширення впровадження СЕС потрібно підвищення ККД ФЕП і зниження їх собівартості. Збільшити загальний ККД фотомодулів (ФМ) можна за рахунок їх охолодження і додаткового отримання теплової енергії (Патенти України №№ 97080, 97782, 106635), що вельми актуально для селянських господарств. Нами також розроблено і запатентовано кілька принципових схем присадибних когенераційних СЕС: з охолодженням водою (Пат. №103043), з термосифоном (Пат. №107991), чи з тепловою трубою (Пат. №107333). Сонячний ФМ циліндричної форми має дві скляні колби з боросилікатного скла. Колба меншого діаметра розташована в прозорій колбі більшого діаметра, і з'єднані між собою подібно посудині Дьюара з вакуумною порожниною між ними [8]. Внутрішня трубка покрита фотоелектричним перетворювачем, і містить термосифон чи теплову трубку, або наповнена водою. Крім того, СЕС містить акумулятор, контролер, інвертор. ФМ об'єднані в батарею зі спільним охолоджувальним колектором, з'єднані паралельно, і приєднані через контролер до акумулятора, або через інвертор - до споживачів змінного струму.

Висновок. Когенераційні технології збільшують ефективність роботи технічних засобів перетворення ВДЕ в селянських домогоспо-



дарствах. Розробки впроваджені в навчальному процесі ТДАТУ і частково в приватному домогосподарстві (Патенти № 95186, №104467, №107616), нагороджені Золотими медалями на Міжнародному конкурсі винахідників (2013, 2015 рр.) в IX і XI Міжнародному Салоні винаходів і нових технологій "Новий час", м. Севастополь, і дипломами за зайняті призові місця на Всеукраїнському конкурсі наукових робіт студентів (2016, 2017).

Список використаних джерел

1. Удосконалення технологій та засобів перетворення відновлюваних і нетрадиційних джерел енергії для сільськогосподарського виробництва: Звіт про НДР (кінцевий) / ТДАТУ; кер. *В.Я. Жарков*; виконавці: *Галько С.В., Діордієв В.Т., Жарков А.В.* [та ін.]-Мелітополь, 2016.- 160 с.- №ДР 0111U002543.

2. *Жарков В.Я.* Аналіз динамічних навантажень індукційних вітротеплових установок/ *В.Я. Жарков, А.В. Жарков* // Вісник ХНТУСГ.- Вип. 37 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України".-т.2. –Харків: ХНТУСГ.–2005.-С.79-83.

3. *Jon Twidell and Tony Weir.* Renewable Energy Resources.- London and New York: Taylor & Francis, 2006.- 601 p.

4. Пат. UA по заявці № u201612945. МПК А01G9/14 (2006.01), А01G9/24 (2006.01), С22С14/00, С22С19/03 (2006.01). Когенераційний вітропарк з автономним джерелом збудження індукційних перетворювачів/ *А.В. Жарков, Б.С. Новах, Ю.В. Шалигіна* [та ін.]- Заявл. 19.12.2016.

5. Пат. UA по заявці № u201611807. МПК Н02К21/26, F03D7/06, F03D1/06. Малопотужний вітроелектрогенератор з дводисковим ротором на постійних магнітах// *А.В.Жарков, В.С. Ломиш, Б.С. Новах, В.Т. Діордієв, В.Ю.Лучанінов.*- Заявл. 22.11.2016.

6. Пат. 116122 UA. МПК (2016.01) F03D7/06 (2016.01), F03D1/06 (2006.01), Н02К21/00. Малопотужний вітроелектрогенератор зі здвоєним дводисковим ротором спрощеної конструкції/ *А.В. Жарков, В.Я. Жарков, Б.С. Новах* [та ін.]- u201611504.-Заявл 14.11.2016.- Опубл. 11.05.2017, Бюл. №9.

7. Пат. UA 107616. МПК (2016.01) F03D1/00, F24J3/00, F25B29/00. Присадибна вітротеплонасосна установка/ *А.В. Жарков.* - u201600650.- Заявл. 27.01.2016; Опубл. 10.06.2016, Бюл. №11.

8. Пат. 103043 UA, МПК (2015.01) Н01L31/00, Н02J7/35. Присадибна сонячна електростанція з фотоелектричними модулями циліндричної форми / *В.Я. Жарков, А.В.Жарков, И.А. Орловський, О.В.* [та ін.]. -Заявл. 07.07.2015; Опубл. 25.11.2015.- Бюл. №22.

9. Пат. 107991 UA. МПК (2016.01) Н01L31/00, Н01J7/00, F24J2/00. Автономна когенераційна енергоустановка з гібридними фотоелектричними модулями циліндричної форми/ *В.Я.Жарков, А.В.*



Жарков, І.А. Орловський.- u201600201.- Заявл.12.02.2016; Опубл. 24.06.2016, Бюл. № 12.

10. Пат. 107333 UA. МПК (2016.01) F24J3/06 (2006.01), H01L31/00, B60L8/00. Автономна сонячна когенераційна енергоустановка для рухомого об'єкта/ *А.В. Жарков.*- u201600203.- Заявл. 11.01.2016; опубл. 25.05.2016, Бюл. № 10.

КОГЕНЕРАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИЭ В АПК

Жарков А.В., Жарков В.Я.

Аннотация - в Украине не уделяется должного внимания маломощным техническим средствам преобразования возобновляемой энергетики в электроэнергию и теплоту, хотя потенциальных владельцев маломощных ВИЭ достаточно много. Нами разработано и запатентовано несколько когенерационных установок преобразования энергии ветра в теплоту на базе индукционного преобразователя и генератора на неодимовых магнитах, а также когенерационных солнечных энергоустановок, которые могут комбинированно превращать возобновляемую энергию в электроэнергию и теплоту.

COGENERATION TECHNOLOGIES USES OF RENEWABLE ENERGY IN AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

A. Zharkov, Zharkov V.

Summary

In Ukraine neglected thin technical means converting renewable energy into electricity and heat, while low-RES potential owners a lot. We have developed and patented a number of cogeneration plants convert wind energy into heat at the induction generator and transducer NdFeB magnets and solar cogeneration power plants that are combined to convert renewable energy into electricity and heat.