

УДК 63:621.548

Постельга С., завідувач відділу, Таргоня В., провідний науковий співробітник, доктор с.-г. наук,  
Рудик Л., молодший науковий співробітник (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого)

## Використання вітросонячних комплексів у сільськогосподарському виробництві

У статті показано актуальність використання вітросонячних систем у сільськогосподарському виробництві. Комбіновані вітросонячні системи підвищують ефективність використання енергії сонця та вітру протягом року для електро- та тепlopостачання сільськогосподарських об'єктів.

Розроблено проектно-технологічне рішення комбінованої вітросонячної системи для гарячого водопостачання та обігріву приміщення свиноферми на 120 голів.

Сутність проектно-технологічного рішення полягає у застосуванні геліоколекторів влітку для нагрівання води, яку використовують для технологічних потреб ферми, і часткового охолодження приміщення.

Взимку геліоколектори використовують як нагрівальні елементи в тваринницькому приміщенні, теплоносії яких підігрівають за рахунок електроенергії, виробленої вітроенергетичними установками (ВЕУ). Електроенергію, вироблену ВЕУ влітку, використовують для підігрівання води у похмурі дні та для живлення вентиляторів системи вентиляції і освітлення приміщень.

**Ключові слова:** вітросонячна система, тепlopостачання, геліоколектори, вітроенергетична установка, поновлювальні джерела енергії.

**Суть проблематики.** У сільському господарстві України існують специфічні умови, які роблять доцільним використання сонячної та вітрової енергії. Порівняно з промисловістю, сільськогосподарське виробництво має невелику концентрацію виробничих потужностей, розподілених на значних територіях. Більшість аграрних технологічних процесів мають циклічний характер, пов'язаний з ростом та розвитком рослин та життєдіяльністю тварин. Серед технологічних процесів у сільському господарстві велика кількість таких, які дозволяють створювати досить довільні регламенти і терміни їх виконання.

Скомбінувавши вітросонячну систему у єдиний

конвертний комплекс вироблення електричної та теплової енергії, можна забезпечити безперебійне енергозабезпечення основних технологічних процесів в сільськогосподарському виробництві. Зважаючи на невисокі значення середньої швидкості вітру та середню інтенсивність сонячної радіації на більшості території України, пошук і розроблення конструкційних варіантів ефективного перетворення енергії сонця і вітру у теплову та електричну енергію є досить актуальними.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Технічний рівень засобів прийому і використання у сільськогосподарських технологічних процесах енергії поновлюваних джерел, зокрема енергії вітру (ЕВ) та

© Постельга С., Таргоня В., Рудик Л. 2017

енергії Сонця (ЕС), у значній мірі визначає рівень енергозабезпечення системи сталого розвитку сучасного виробництва біоресурсів. На ринку вітроенергетичного та геліоенергетичного обладнання є численна номенклатура виробів різних фірм. Однак просте механічне комплектування різних комбінованих вітросонячних систем найчастіше не дає бажаних результатів у конкретних умовах сільськогосподарського виробництва України. Це відбувається здебільшого через недосконалі методи оцінки місцевого вітроенергетичного потенціалу та рівня середньорічної інсоляції на місцевості, а також через недостатньо високі показники енергоефективності вітроенергетичних та геліоенергетичних технічних засобів. Крім того, різні типи ВЕУ та геліоенергетичних систем не в однаковій мірі задовольняють енергетичні потреби різних технологічних процесів сільськогосподарського виробництва. За результатами аналізу публікацій [1-3] з вітроенергетики та досліджень енергетичних потреб сільськогосподарських технологічних процесів можна назвати основні вимоги до ВЕУ сільськогосподарського призначення:

- висока ефективність роботи ВЕУ на всьому діапазоні робочих швидкостей вітру, особливо на нижньому;

- безшумність та безпечність роботи;
- простота кінематики і висока надійність;
- невисока вартість.

Аналогічно для геліоенергетичних систем також можна вказати найбільш суттєві вимоги:

- високий енергетичний ККД;
- універсальність монтажу та блочність;
- простота обслуговування;
- доступна ціна.

Крім перелічених технічних вимог можна назвати ще ряд інших, які також актуальні для будь-якого енергетичного обладнання загалом. Проте навіть названі технічні вимоги визначають напрями удосконалення конструкцій ВЕУ та геліоенергетичних установок для ефективного використання їх у складі комбінованих вітросонячних комплексів.

**Мета досліджень** – підвищення ефективності використання енергії сонця та вітру протягом року для електро- та теплопостачання сільськогосподарських об'єктів комбінованими вітросонячними системами.

**Основна частина.** Розрахункова потужність та структурний склад комбінованих вітросонячних автономних енергетичних комплексів визначаються потужністю та характером енергоспоживання у сільськогосподарських технологічних процесах. Наприклад, вітроустановки (ВУ) можна загалом використовувати для безпосереднього механічного приводу робочих пристроїв, як це робили у минулому, або для виробництва електричної енергії, як тепер розвивається практично вся світова вітроенергетика. Відомі також конструкційні варіанти комбінованих електромеханічних вітро-

установок, які можуть одночасно здійснювати механічний привід і виробляти електричну енергію.

Деяко інші варіанти використання сонячної енергії, прийнятої за допомогою фотоелектричних модулів та геліоколекторів різних типів. Проте, подібно до ВУ загалом різне геліоенергетичне обладнання може одноступінчасто виробляти лише або теплову, або електричну енергію, а також комбіновано одночасно обидва види.

Відповідно до енергетичних потреб можна проаналізувати відомі сільськогосподарські технологічні процеси (табл. 1).

Таблиця 1 – Загальні структури технологічних вітросонячних комплексів

№ з/п	Технологічний процес	Технологічна операція	Енергетичні потреби	Сезонність	Раціональна структура комплексу
1	Крапельне зрошення	Полив рослин і подача води	Теплова і електрична	Вегетаційний літній період	ВЕУ та геліоколектори
2	Виробництво сушеної фруктової, ягідної, овочевої та рослинної продукції	Сушіння	Теплова	Літньо-осінній	Геліосушарки, геліоколектори та ВЕУ
3	Тепличне рослинництво	Обігрів, полив, опромінення	Теплова і електрична	Зимово-весняний	ВЕУ, сонячні батареї та колектори
4	Кормоприготування	Подрібнення, перемішування, нагрів	Електрична і теплова	Цілодобово	ВЕУ, сонячні батареї та колектори
5	Механізоване доїння	Електропривод насосів, гаряче промивання	Електрична і теплова	Цілодобово	ВЕУ, сонячні батареї та колектори
6	Утримання тварин і птиці	Обігрів, вентиляція, освітлення	Теплова і електрична	Цілодобово	ВЕУ, сонячні батареї та колектори

У наведеній таблиці 1 проаналізовані енергетичні потреби найбільш типових технологічних процесів і вказана раціональна загальна структура комбінованих вітросонячних комплексів [4].

Показано, що ця задача є багатофакторною, яку можна вирішувати відомими математичними методами. Однак необхідно розглядати таку задачу, виходячи з того, що енергоспоживання у технологічних процесах є процесом утилізації поновлюваної енергії, яка надходить нерівномірним стохастичним потоком, і яку необхідно використати якомога повніше. Серед розглянутих технологічних процесів далеко не всі мають характер акумуляторів енергії, тобто здатні накопичувати тепло, електроенергію або продукт механічної переробки, щоб вирівняти стохастичну нерівномірність її надходження. Сьогодні основною технологією утилізації ЕВ і ЕС вважається процес перетворення в електроенергію й одночасна передача її у загальну електромережу. Але звідти використання її для енергоспоживання у сільськогосподарських технологічних процесах обмежується віддаленістю від електромереж та зрослими цінами на електроенергію з мережі, вироблену на різних електростанціях. Тобто, навіть без складних розрахунків зрозуміло, що виробництво енергії з вітрових потоків і сонячної радіації повинно бути максимально наближене до місця енергоспоживання у технологічних процесах [5].

Середнє значення сонячної інсоляції в Київській області, отримане в результаті польових досліджень за допомогою піранометра, становить 3,025 кВт·год/м<sup>2</sup>. Літній максимум сонячної інсоляції спостерігається у липні і досягає близько 6,1 кВт·год/м<sup>2</sup>,

а зимовий мінімум - у грудні і становить близько  $0,7 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$ .

Отже, ймовірне середнє значення інсоляції в цій місцевості порівняно з багатьма країнами Європи є перспективним показником.

Середня річна швидкість вітру в Київській області, отримана за допомогою електронної погодні станції з сенсорним екраном, становить близько  $4 \text{ м/с}$ , що обумовлює необхідність застосування удосконалених ВЕУ, які можуть ефективно використовувати вітрові потоки, починаючи з швидкостей  $1,5 - 2 \text{ м/с}$ .

Аналізуючи річний календарний розподіл вітрової і сонячної активності, можна зробити висновок, що принцип комбінованого використання вітрової і сонячної енергії у цій місцевості є раціональним, оскільки взаємно перекриваються річні мінімуми одного виду річними максимумами іншого.

Зважаючи, що одним із перспективних напрямків використання енергії сонця і вітру є саме тепло і електропостачання тваринницьких об'єктів, науковцями УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого розроблено проектно-технологічне рішення комбінованої вітросонячної системи для гарячого водопостачання та обігріву приміщення свиноферми на 120 голів.

Сутність цієї системи (рис. 1) полягає у застосуванні геліоколекторів влітку для нагрівання води, яку використовують для технологічних потреб ферми і часткового охолодження приміщення.

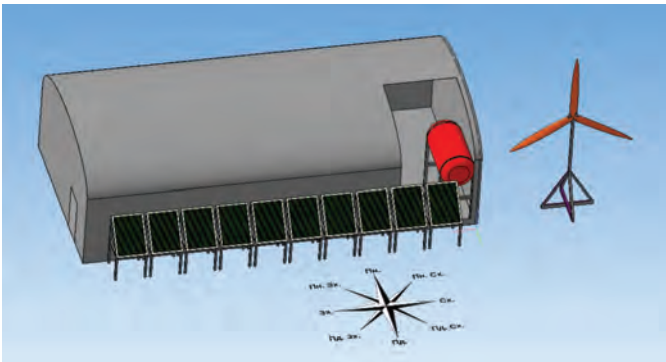


Рис. 1 – Комбінована вітросонячна система для забезпечення гарячого водопостачання на свинофермі влітку

Геліоколектори встановлюють блочно зовні вздовж південної стіни тваринницької будівлі на спеціальній підставці на висоті близько  $1 \text{ м}$  від поверхні землі. Геліоколектори з'єднують гумовими армованими шлангами з термоізованим баком, встановленим всередині тваринницького приміщення на висоті більшій на  $0,4 \text{ м}$  від гідравлічного рівня геліоколекторів. Такий варіант є найбільш енергоефективним і надійним, тому що працює без примусової циркуляції у термосифонному режимі. Передбачено розніжний вузол для під'єднання електронагрівальної камери. Електричну енергію, вироблену вітроагрегатом, використовують для електрозабезпечення привода вентиляційних установок, підігріву води в баку-акумуляторі в похмурі та прохолодні дні, освітлення приміщення в нічний час доби.

Взимку геліоколектори (рис. 2) використовують як нагрівальні елементи в тваринницькому приміщенні, теплоносій яких підігрівають за рахунок електроенергії, виробленої ВЕУ. Електроенергію, вироблену ВЕУ

влітку, використовують для підігрівання води у похмурі дні та живлення вентиляторів системи вентиляції і лампочок освітлення [6, 7, 8].

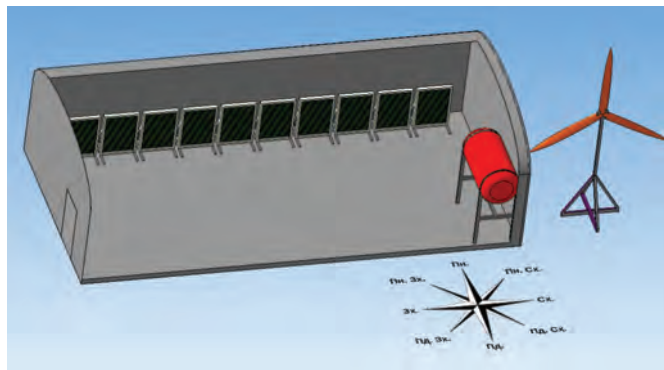


Рис. 2 – Комбінована вітросонячна система для теплозабезпечення приміщення свиноферми взимку

На основі розробленого проектно-технологічного рішення було отримано патент на корисну модель «Система для теплозабезпечення та гарячого водопостачання в тваринницькому приміщенні з використанням поновлюваних джерел енергії» [9].

Для технічного забезпечення проектно-технологічного рішення обґрунтовано конструкційно-технологічні схеми і параметри та виготовлено макетні зразки безтрансмійної вітроелектричної установки та геліоколектора для підвищення ефективного використання енергії вітру та сонця для певної місцевості [10].

Вітроенергетична установка складається з механічної та електричної частин. Загальний вигляд вітроустановки з виділеною функціональною частиною зображено на фото (рис. 3 – а, б).

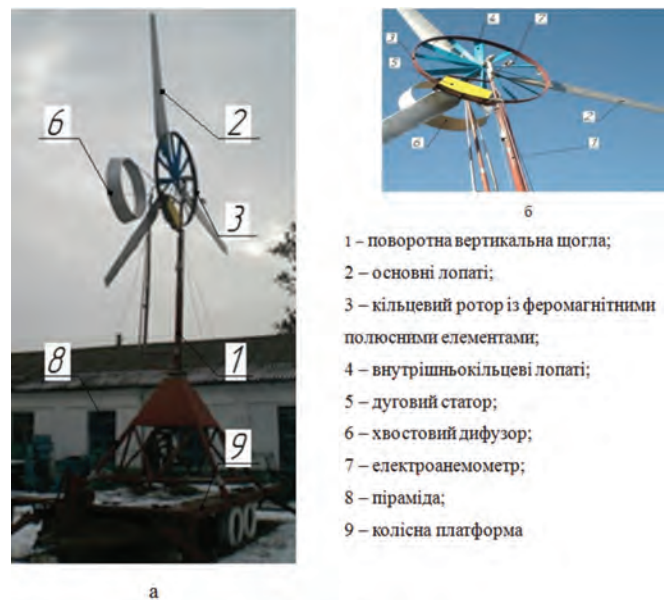


Рис. 3 – Загальний вигляд експериментальної безтрансмійної ВЕУ (а) та виділене зображення функціональних елементів аероелектромеханічної системи (б)

До складу механічної системи входять: вітрова турбіна (ВТ), механізм орієнтування ВТ за напрямком вітру, поворотна щогла з анкерним відгалуженням, нижня опора щогли, вальницькі вузли, гальмівний механізм.

Кільцевий ротор генератора 3, виконаний як окре-

мий модуль, встановлений на внутрішньокільцевих лопатях 4, які одночасно з аеродинамічними функціями забезпечують необхідну механічну жорсткість утримання незмінної величини повітряного проміжку у силовому магнітному полі дугового статора 5. Хвостовий дифузор 6, виконаний коаксіальним відносно кільцевого ротора та призначений для орієнтації на напрямок вітру, а також для зменшення вихрових потоків за площиною обертання лопатей і за рахунок цього підвищення потужності. Основні три лопаті 2, виконані із гвинтовою вітросприймальною поверхнею і мають можливість встановлення оптимального кута заклинювання на реперній ділянці. Контроль швидкості вітру виконується електроанемометром 7, встановленим попереду вітрової турбіни, для отримання інформаційних параметрів, діючого на лопаті вітрової потоку. Безпосередньо на валу вітротурбіни закріплені на маточині основні лопаті 2 та кільцевий ротор 3, сполучені між собою жорсткими аксіальними тягами. На діелектричній частині корпусу кільцевого ротора 3 розміщені пасивні феромагнітні полюсні елементи, виконані шихтованими пакетами із пластинок електротехнічної сталі СТ2211. Число феромагнітних елементів статора становить 120 і кількість немагнітних ділянок між ними – така ж.

Вітрова турбіна загалом складається з трьох основних лопатей 2, кільцевого ротора 3 та 12 внутрішньокільцевих лопатей 4, механізму встановлення фіксованого кута основних лопатей. Механізм орієнтування вітрової турбіни за напрямком вітру включає шарнірно встановлену вертикальну щоглу 1 зі зміщеною площиною обертання лопатей відносно вертикальної осі повороту щогли на одному боці з хвостовим дифузором 6. За рахунок зміщення загальної парусної площі вітрової турбіни і хвостового дифузора відносно вертикальної поворотної осі вітросприймальна площина постійно встановлюється перпендикулярно до напрямку вітру. Опора ВЕУ – це піраміда 8 з можливістю шарнірного встановлення на ній вертикальної щогли та жорсткого чотири-точкового закріплення нижньої основи на колісній платформі, обладнаній відкидними гвинтовими лапами, або стаціонарного встановлення на чотири анкери фундаментних паль на підготовленому майданчику площею 6,4 м<sup>2</sup>.

Експериментальний зразок безтрансмійної вітроелектричної установки був випробуваний науковцями УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. Результати функціональних випробувань наведені в таблиці 2 та таблиці 3.

Для використання у сільськогосподарському виробництві водонагрівальні геліоколектори повинні задовольняти вимоги стосовно універсальності та блочності. Згідно із запропонованими рішеннями, універсальність конструкції геліоколектора передбачає технологічну можливість використання у зимовий період для загального і локального обігріву тваринницького приміщення. Наприклад, у літній період за достатнього рівня сонячної інсоляції плоскі геліоколектори встановлюють зовні на південному напрямі і використовують для гарячого водопостачання, а у зимовий період застосовують всередині тваринницького приміщення для напрямленого локального обігріву. Проаналізувавши практично всі відомі типи геліоколекторів, було зроблено висновок, що найповніше

задовольняти названі вимоги можуть плоскі металеві геліоколектори у суцільному термоізованому корпусі з прозорою передньою стінкою. Подібний тип водонагрівальних геліоколекторів давно відомий у світовій практиці з відпрацьованими конструкціями. Проте для цих умов розроблена конструкція плоского геліоколектора, ескізне креслення якого показано на рис. 4.

Таблиця 2 – Конструкційні параметри вітроенергетичної установки

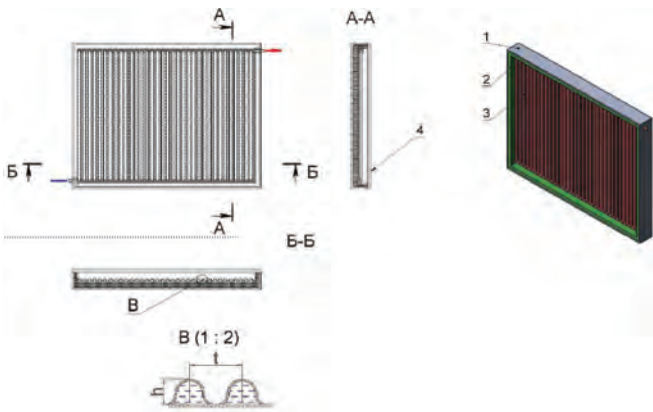
№ п/п	Показник	Значення показника за даними	
		НД	Випробувань
1	Тип вітрової турбіни	Лопатеві з горизонтальною віссю обертання	Лопатеві з горизонтальною віссю обертання
2	Кількість лопатей, штук - основних - внутрішньокільцевих	3 12	3 12
3	Довжина лопатей, мм - основних - внутрішньокільцевих	3500 ± 20 980	3510 980
4	Діаметр трилопатевої вітрової турбіни, мм	7000 ± 50	7020
5	Діаметр кільцевого ротора, мм: - внутрішній - зовнішній	1990 2030	1990 2030
6	Діаметр хвостового дифузора, мм: - вхідного кільця - вихідного кільця	1210 1720	1210 1720
7	Висота щогли від платформи до горизонтальної осі, мм	7100	7100
8	Висота колісної платформи на чотирьох гвинтових опорах, мм	1200	1200
9	Габаритна висота за верхнього положення лопаті, мм	11800	11800
10	Кількість пар полюсів кільцевого ротора	120	120
11	Кількість модулів статора: - магнітоелектричних - електромагнітних	3 3	3 3
12	Кількість акумуляторів, штук Тип акумуляторів	2 6СТ-132	2 6СТ-132

Таблиця 3 – Технічні параметри вітроенергетичної установки

№ з/п	Назва показника	Одиниці вимірювання	Значення показника
1	Мінімальна швидкість вітру для пасивного пуску	м/с	Близько 1,0
2	Мінімальна швидкість вітру для активного пуску	м/с	Близько 0,5
3	Форма струму генератора	-	Синусоїда змінної частоти
4	Форма струму після інвертора	-	Синусоїда сталої частоти
5	Мінімальна напруга холостого ходу генератора	Вольт	12,3
6	Максимальна напруга холостого ходу генератора	Вольт	16,3
7	Напруга генератора з навантаженням	Вольт	12,7
8	Мінімальна потужність за швидкості вітру 1 м/с	Ват	10
9	Потужність за швидкості вітру 5 м/с	Ват	1030
10	Загальний ККД ВЕУ	-	0,38
11	Швидкохідність ВЕУ	В.о.	9,3

Геліоколектор виконаний із суцільної листової сталі

товщиною 1,5 мм, причому передня стінка має хвилеподібну форми, а задня – плоску. Між собою передня і задня стінки сполучені методом контактного зварювання. Металевий корпус колектора встановлений всередині закритого термоізоляованого дерев'яного короба. Задня плоска стінка зовні покрита фольгованим термоізоляційним матеріалом, а передня стінка має герметизовану суцільну скляну поверхню. Весь корпус геліоколектора встановлений на регульованій підставці, що дозволяє змінювати азимутальну орієнтацію та вертикальний кут нахилу.



1, 2 – зовнішній ущільнений термоізолюваний корпус, 3 – гофрована передня стінка металевого колектора, 4 – прозора скляна оболонка.

Рис. 4 – Загальна конструкція плоского геліоколектора

За результатами проведених досліджень науковцями УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого розроблено рекомендації щодо обґрунтування параметрів вітроенергетичного та геліоенергетичного обладнання для розроблення комбінованих вітросонячних комплексів для технологічних процесів сільськогосподарського виробництва, які будуть передані для використання підприємствами сільгоспмашинобудування.

**Висновки.** Отримані результати експериментальних досліджень вітросонячного потенціалу місцевості дозволили збалансувати склад та пропорційне співвідношення потужностей для забезпечення електричного теплопостачання сільськогосподарських об'єктів.

Проектно-технологічне рішення комбінованого використання енергії сонця та вітру для тепло- і електрозабезпечення свиноферми з використанням розроблених вітроенергетичної установки та геліоколектора дозволяє більш ефективно використовувати вітросонячний потенціал місцевості, забезпечити автономність і конкурентоспроможність функціонування сільськогосподарського об'єкта.

### Список літератури

1. Суходоля О.М. Енергоефективність економіки у контексті національної безпеки: методологія дослідження та механізми реалізації: монографія / О.М. Суходоля. – К.: НАДУ, 2006. – 400 с.
2. Статистичний збірник „Сільське господарство України” за 2009 рік / Державний комітет статистики України. – К.: Держкомстат, 2010. – 370 с.
3. Забезпечення енергетичної безпеки / Рада національної безпеки і оборони України, Національний

інститут проблем міжнародної безпеки. – К. : НІПМБ, 2003. – 264 с.

4. Фаворський Ю.П. Створення моделі оптимального співвідношення компонентів гібридних вітросонячних систем енергопостачання/Ю.П. Фаворський. Нова тема. – К. №3, 2009(22), с. 8 – 12.

5. Кривцов В.С. Ветроэнергетика в Украине: Реальность и перспектива / В.С. Кривцов, А.И. Яковлев. Проспект Правды. – 1998. -№5 (12).-С. 3.

6. Юрков В.М. Микроклимат животноводческих ферм и комплексов / В.М. Юрков. – М. : Россельхозиздат, 1985. – 223 с.

7. Пчелкин Ю.Н. Устройства и оборудование для регулирования микроклимата в животноводческих помещениях / Ю.Н. Пчелкин, А.И. Сорокин. – М. : Россельхозиздат, 1977, 216 с.

8. Гончарова Л.Д. Клімат і загальна циркуляція атмосфери: Навчальний посібник/ Гончарова Л.Д., Серга Е.М., Школьнік Є. П. – Київ: КНТ, 2005.-251с.

9. Пат. 115511 Україна, МПК F24J 2/04, F24J 2/36, F03D 9/00. Система для теплозабезпечення та гарячого водопостачання в тваринницькому приміщенні з використанням поновлюваних джерел енергії / В.І Кравчук, Л.О. Рудик, В.С. Таргоня, С.С. Постельга; власник УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого – № у 2016 08043; заявл. 20.07.2016; опублік. 25.04.2017, Бюл. №8. – 3 с.

10. Обґрунтування параметрів та розробка комбінованих вітросонячних систем різних типорозмірів [Текст]: звіт про НДР (заключний) / УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого; наук. керівник С.С. Постельга. – Дослідницьке, 2016. – 94 с.

**Аннотація.** В статті освещена актуальность использования ветросолнечных систем в сельскохозяйственном производстве. Комбинированные ветросолнечные системы повышают эффективность использования энергии солнца и ветра в течение года для электро- и теплоснабжения сельскохозяйственных объектов.

Разработано проектно-технологическое решение комбинированной ветросолнечной системы для горячего водоснабжения и обогрева помещения свинофермы на 120 голов.

Сущность проектно-технологического решения заключается в применении гелиоколлекторов летом для нагрева воды, используемой для технологических нужд фермы, и частичного охлаждения помещения.

Зимой гелиоколлекторы используют как нагревательные элементы в животноводческом помещении, теплоноситель которых подогревают за счет электроэнергии, произведенной ветроэнергетическими установками (ВЭУ). Электроэнергию, производимую ВЭУ летом, используют для подогрева воды в пасмурные дни и для питания вентиляторов системы вентиляции и освещения помещений.

**Summary.** The article presents the urgency of using the wind-solar systems in agricultural production. Combined wind-solar systems increase the efficiency of using sun and wind energy during the year for electricity and heat supply for agricultural facilities.

The design and technological solution of the combined wind-solar system for hot water supply and heating

of the room of the pig farm for 120 heads has been developed.

*The essence of the design and technological solution is the use of solar collectors in summer to heat the water used for technological needs of the farm and partial cooling of the room.*

*In winter solar collectors are used as heating elements*

*in a cattle-sheds, their heat carrier is heated due to electricity produced by wind power plants. The electricity, produced by the wind turbines in the summer, is used to heat water on the dark days and to feed fans of the ventilation system and light bulbs.*

Стаття надійшла до редакції 14 липня 2017 р.