

# ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ СУШКИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

*Обґрунтована необхідність застосування в технологічних процесах сушки та зберігання зернових культур сучасних інноваційних технологій для зменшення викидів шкідливих газів в атмосферу, використання теплоти поновлювальних і вторинних джерел енергії: сонячних колекторів, сонячних електричних енергосистем, теплових насосів, вітроенергетичних установок, рекуперації та утилізації вторинних енергоресурсів із застосуванням рециркуляційних схем енергетичних потоків тощо.*

***Ключові слова:** сушка зернових культур; поновлювальні джерела енергії; теплові насоси; сонячні колектори; сонячні електростанції; вітроенергетичні установки.*

## Summary

*The necessity of application in modern technological processes of drying and storage of grain crops of modern innovative technologies for reduction of emissions of harmful gases into the atmosphere, use of heat of renewable and secondary energy sources: solar collectors, solar electric power systems, heat pumps, wind power plants recirculation schemes of energy flows, etc.*

***Key words:** drying of grain crops; renewable energy sources; heat pumps; solar collectors; solar power plants; wind power plants.*

## Вступ

Продовольча безпека будь-якої країни суттєво залежить від валового збору зерна та зернобобових. Якщо в 2010 році валовий збір зерна склав 39,2 млн. т, то в 2020 році українські сільгоспвиробники намолотили 65,4 млн. т. Позитивна динаміка зі збору врожаю зернових в Україні дозволила стати їй другим найбільшим у світі експортером зернових культур в 2019-2020 маркетинговому році, зокрема, посіла друге місце в світі з експорту ячменю, четверте з експорту кукурудзи та п'яте – пшениці. Відповідно, загальний експорт склав 27,5 млн. т, з них: 12,7 млн. т пшениці, 3,9 млн. т ячменю, 10,5 млн. т кукурудзи та 81,2 тис. т пшеничного борошна.

## Результати дослідження

У зв'язку з цим потрібно приймати та переробляти в короткі терміни величезну кількість зерна. Найважливішим етапом переробки є сушка, так як більша частина зібраного зерна надходить, як правило, з підвищеною вологістю і його якість, особливо призначеного для експорту, залежить від ефективної роботи зерносушильних установок. Тому більшість сільськогосподарських підприємств відчувають дефіцит зерносушильної техніки та не в змозі довести зерно до потрібних товарних кондицій, що значно знижує його вартість.

Сушка таких величезних об'ємів зерна в більшості випадків традиційно здійснюється за допомогою процесу спалювання не поновлювальних органічних енергоресурсів, який супроводжується викидами в атмосферу значної кількості CO<sub>2</sub>. Крім того, потрібно споруджувати пожежонебезпечні сховища для вугілля, дров, пелет з деревних відходів, мазуту, солярки тощо або газорозподільні станції. Тому процес сушки потребує додаткового постійного нагляду з боку технологічного персоналу за роботою котельного обладнання, у зв'язку з наявністю потужних джерел відкритого полум'я при нагріві

горючих речовин (зерно), ймовірність витоку газу, розливу горючих рідин, попадання часток сажі на зерно тощо.

Теоретичні основи підвищення енергоефективності процесів сушки та зберігання зерна досліджували видатні вчені та закордонні вчені: В. Атаназевич, І. Безбах, Д. Бритиков, О. Гінзбург, Г. Єгоров, К. Іщенко, Є. Корженко, І. Кретов, Б. Леончиков, І. Любошиц, М. Остапчук, І. Пікус, В. Резчиков, В. Рідко, В. Сорочинський, Д. Степанов, В. Уколов, А. Шевцов і інші [1–9]. Однак, для роботи переважної більшості зерносушарок продовжує використовуватися органічне паливо та практично не використовується залишкова теплота зерна після його сушки (рекуперация), що дозволяє суттєво підвищити економічність сушарок.

Вартість твердого та рідкого палива, газу та електроенергії постійно зростають, отже, витрати на сушку зернових і їх ціна без запровадження енергоощадних технологій буде теж постійно збільшуватися, що зменшує конкурентоздатність таких підприємств на внутрішньому та світових ринках. Відповідно, зменшення ціни зернових культур і реалізація сучасних тенденцій зі зменшення викидів шкідливих газів в атмосферу та використання теплоти поновлювальних і вторинних джерел енергії можлива за умови застосування в процесах сушки зернових культур теплової енергії, отриманої від: сонячних колекторів, сонячних електричних енергосистем, теплових насосів, вітроенергетичних установок, рекуператії та утилізації вторинних енергоресурсів із застосуванням рециркуляційних схем енергетичних потоків тощо.

Великі розміри з площі та висоти елеваторів дозволяють оптимально розташувати на вже існуючому обладнанні сонячні колектори, фотомодулі сонячної електростанції, зовнішні блоки аеротермальних (повітряних) теплових насосів, вітроенергетичні установки тощо.

Додатковий енергетичний та економічний ефект застосування запропонованих джерел енергії для сушки досягається за рахунок їх комплексного використання та створення контуру утилізації (використання) тепла в рамках єдиної системи сушки зернових культур, електропостачання, опалення та нагріву води.

Найпростішим варіантом забезпечити елеватор гарячою водою для власних потреб є влаштування на даху відкритого пасивного сонячного колектору низького тиску. Така установка відрізняється простотою монтажу та використання і не вимагає для експлуатації додаткової електрики або здійснення складних сантехнічних робіт. Сонячні колектори, які можна використовувати в промислових цілях впродовж багатьох років, можна розбити на дві великі групи: плоскі та трубчасті вакуумні колектори.

Ця установка легко вбудовується в циркуляційний цикл опалення та гарячого водопостачання і дає можливість підтримувати прийнятну температуру як влітку, так і в зимовий час. Її ефективність залежить від площі сонячних колекторів та об'єму води, що використовується в системі теплопостачання, але, в будь-якому випадку, за використання сонячного тепла споживач нічого не платить.

При тому, що організація гарячого водопостачання та опалення будь-яких промислових об'єктів справа клопітка та, часто, невиправдано дорога за рахунок необхідності в оформленні дозвільних і проектних документів, а також додаткових витрат, пов'язаних на проведення ліній подачі енергоносія (ТЕЦ, газ або електрику). За рахунок використання сонячної енергії витрати на організацію та щомісячну оплату опалення можна скоротити на 70-80%, а, в деяких випадках, і зовсім відмовитися від дорогих проектів з газифікації елеваторів.

Встановлення сонячних електричних енергосистем – найпростіший і практичний метод використання сонячної електроенергії для ефективної роботи обладнання виробничих ділянок елеватора, зокрема будь-якого електропривода, що використовує 3-фазні асинхронні двигуни. Такі системи ідеальні для роботи конвеєрів, вентиляції, промислового насосного обладнання. Крім того, система може бути використана для додаткового нагріву води або будь-яких інших технологічних середовищ в системах гарячого водопостачання сонячних колекторів за допомогою теплових електронагрівачів (ТЕН).

Для роботи такої сонячної електростанції не потрібні ні дорогі акумулятори, ні складні пристрої керування. Потрібно на технологічному обладнанні елеватора встановити відповідні потребам в енергопостачанні фотомодулі, підключити їх до мережевого інвертора, а інвертор – до мережі через пристрій обліку електричної енергії. При цьому не потрібно піклуватися про безпеку та відповідність

характеристик інвертора характеристикам мережі. Автоматика інвертора синхронізує його з мережею та забезпечує відключення станції в разі аварійного режиму роботи мережі.

Для елеваторів, які працюють впродовж доби та цілий рік рекомендується встановлення вітрогенераторів (для аварійних потреб – бензинових генераторів), які підтримують спільну роботу з будь-якими джерелами постійного та змінного струму. Електропостачання віддалених елеваторів здійснюється за допомогою автономних сонячних електростанцій. Такі станції відрізняються від мережових наявністю акумуляторів і контролерів заряду. Крім того, якщо елеватори працюють сезонно, то немає необхідності в установці дублюючих джерел електроенергії.

Перевагами встановлення теплових насосів є низьке енергоспоживання, яке досягається за рахунок високого ККД (від 300%), адже, вони дозволяють отримати на 1 кВт фактично витраченої електричної енергії 3-5 кВт теплової енергії. На додаток до нього може підключатися в якості дублюючого газовий, рідко- або твердопаливний котли для компенсації можливого зниження продуктивності теплового насоса.

## Висновки

Запропоновано концептуальний підхід до комплексного застосування енергоефективних інноваційних технологій, обладнання для сушки та зберігання зернових культур, що забезпечують економію енергетичних ресурсів за рахунок використання відновлювальних джерел енергії, рекуперації та раціонального використання енергоресурсів, високу якість зерна для здійснення експортних операцій і виконання вимог нормативно-правових актів з безпеки та екології.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Атаназевич В. И. Сушка зерна. М.: Агропромиздат, 1989. 240 с.
2. Безбах І. В. Утилізація енергії вологого повітря в рекуперативній зерносушарці. Наукові праці ОНАХТ. 2015. Вип. 46. Том 1. С.197–200.
3. Бритиков Д. А., Шевцов А. А. Инновационные решения в технологии зерносушения. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2012. № 3. С. 91–99.
4. Бритиков Д. А. Проблемы промышленной безопасности на взрывоопасных объектах хранения и переработки зерна. Безопасность труда в промышленности. 2003. № 10. С. 50–51.
5. Бритиков Д. А., Шевцов А. А. Энергосбережение в процессах сушки зерновых культур с использованием теплонасосных технологий: монография. М.: Дели плюс, 2012. 328 с.
6. Іщенко К. О. Методи та засоби підвищення енергоефективності конвективних сушарок. – Вінниця: МКР, 2015. 108 с.
7. Фінік І. В., Співак О. Сучасні енергоефективні конвективні сушарки: матеріали Міжнар. інтернет-конф. МТН–2016 (04–10 травня 2016 р., ВНТУ, Вінниця, Україна). Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2016. С. 142–143.
8. Степанов Д. В., Корженко Є. С., Боднар Л. А. Котельні установки промислових підприємств. Вінниця: ВНТУ, 2011. 119 с.
9. Шевцов А. А., Бритиков Д. А. Компенсация потерь эффективности процесса сушки зерна в шахтной зерносушилке с тепловым насосом. Хлебопродукты. 2011. № 1. С. 48–50.

*Кобилянський Євгеній Олександрович* – аспірант кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [jen4yen@gmail.com](mailto:jen4yen@gmail.com).

Kobylyansky Eugene Alexandrovich, graduate student of the Department of Industrial Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, , e-mail: [jen4yen@gmail.com](mailto:jen4yen@gmail.com).