

RESEARCH OF THE DRYING AGENT HEATING PROCESS IN THE SOLAR THERMAL COLLECTOR USING 3D SIMULATION

V. Satsiuk, Y. Bulik, O. Dubytskyi, N. Tolstushko

Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine



Key words:

collector,
simulation,
digital twin,
drying agent,
temperature

Article history:

Received 20.08.2020

Accepted 04.11.2020

Corresponding author:

vs-07@ukr.net

ABSTRACT

Regular increases in the cost of energy and a sharp reduction in their reserves have accelerated the use of alternative renewable energy sources in various sectors of the economy, including agricultural production. Drying of agricultural products is one of the most energy-intensive operations in the primary processing of raw materials. Reducing the cost of the drying process significantly affects the cost of the final product. Therefore, the use of solar energy for the preparation of the drying agent is relevant today. In the article, using the software 3D modeling, the technological process of heating the drying agent in the solar thermal collector is investigated. Using the "Digital Twin" technology, the modes of operation of the solar thermal collector with different geometric parameters are investigated. The implementation of the "Digital Twin" technology was carried out in the Creo 7.0 software package with the FloEFD computer simulation module installed. The following parameters were set for computer simulation of the drying agent heating process in the collector: time of the experiment, location of the object of study, position relative to the selected coordinate system (angles of inclination to the horizon), ambient temperature, cloudiness. The data obtained from the test of a physical object (laboratory installation of a solar thermal collector) were used as input parameters for computer simulation. The use of "Digital Twin" technology allowed us to optimize the parameters of the solar thermal collector and reduce material costs and time for its research. At the final stage of the research the finally chosen variant of a collector design was checked. The developed computer model will be used for automated control of the solar heat collector and optimization of the drying process of agricultural materials.

УДК 631.371

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА У СОНЯЧНОМУ ТЕПЛОВОМУ КОЛЕКТОРІ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ**В.В. Сацюк, Ю.В. Булік, О.С. Дубицький, Н.О. Толстушко**

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

**Ключові слова:**

колектор,
симуляція,
цифровий двійник,
сушильний агент,
температура

Історія публікації:

Отримано 20.08.2020

Затверджено 04.11.2020

Автор для**листування:**

vs-07@ukr.net

АНОТАЦІЯ

Сушіння сільськогосподарської продукції є однією із найбільш енергоємних операцій під час первинної обробки сировини. Зменшення витрат на процес сушіння суттєво впливає на вартість кінцевого продукту. Тому надзвичайно актуальним є використання сонячної енергії для приготування сушильного агента. У статті, використовуючи програмне забезпечення тримірної моделювання, досліджено процес нагрівання сушильного агента в сонячному тепловому колекторі. Використовуючи технологію “цифровий двійник”, досліджено режими роботи сонячного теплового колектора із різними геометричними параметрами. Реалізацію технології “цифровий двійник” здійснювали за допомогою програмного комплексу Creo 7.0 із встановленим модулем комп’ютерної симуляції FloEFD. Для комп’ютерної симуляції процесу нагрівання сушильного агента у колекторі були задані такі параметри: час проведення експерименту, місце розташування об’єкта дослідження, положення відносно вибраної системи координат (кути нахилу до горизонту), температура навколишнього середовища, хмарність. Використання технології “цифровий двійник” дозволило оптимізувати параметри сонячного теплового колектора та скоротити матеріальні витрати і тривалість дослідження. На кінцевому етапі досліджень було перевірено остаточно вибраний варіант конструкції колектора. Розроблена комп’ютерна модель буде використана для автоматизованого керування сонячним тепловим колектором та оптимізації процесу сушіння.

<https://doi.org/10.36910/acm.vi45.405>

Стан питання та постановка проблеми

Світовий розвиток економіки тісно пов'язаний із збільшенням виробництва та споживання електроенергії. Таке явище зумовлене різними факторами.

Останнім часом значна частина шахт України знаходиться на тимчасово окупованій території. Енергетична галузь України стала вразливою та залежною від імпортних енергоносіїв. Тому енергетична безпека є болючою проблемою, яка постала перед Україною. Регулярне підвищення вартості енергоносіїв та різке скороченню їх запасів пришвидшили темпи використання альтернативних відновлюваних джерел енергії в різних галузях економіки, у тому числі, і в сільськогосподарському виробництві. Дослідження та використання альтернативних джерел енергії є одними із основних напрямів подальшого розвитку енергетики України.

Впровадження енергозберігаючих технологій у процесі первинної обробки та переробки сільськогосподарської продукції є актуальним завданням. Сушіння сировини належить до найбільш енергоємних процесів первинної обробки сільськогосподарської продукції. Географічне розташування нашої країни дозволяє використовувати сонячну радіацію для сушіння продукції сільськогосподарського виробництва [1, 2]. Сонячні теплові колектори для приготування сушильного агента є одним із найбільш простих та ефективних способів використання сонячної енергії для сушіння сільськогосподарської сировини. У них процес сушіння не супроводжується викидами шкідливих речовин в навколишнє середовище, отже є екологічно чистим. Окрім цього, при використанні сонячних сушарок у продукції зберігається більшість поживних речовин, не накопичуються шкідливі елементи та практично не змінюється колір і запах [3–5].

Мета дослідження – дослідити процес приготування сушильного агента у сонячному тепловому колекторі (СТК) із використанням програмного забезпечення тримірної моделювання.

Матеріали і методи

Для дослідження процесу приготування сушильного агента використовували лабораторну установку СТК та прикладну програму комп'ютерного моделювання Creo 7.0 із встановленим модулем FloEFD 2020.

Результати дослідження та обговорення

З метою дослідження процесу приготування сушильного агента була розроблена конструкція СТК [6]. Сонячний колектор містить

напівциліндричний корпус, який має теплоізоляційне покриття знизу та прозоре покриття зверху (рис. 1). Теплоізоляційна поверхня виготовлена із пінопласту товщиною 100 мм та для зменшення теплових втрат покрита світловідбиваючим покриттям. На світловідбиваючому покритті розташований поглинаючий елемент. В якості поглинаючого елемента використовували чорну металеву стружку.

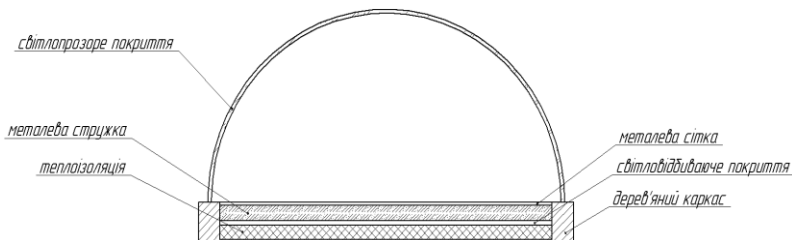


Рис. 1 – Схема сонячного теплового колектора

Сонячний тепловий колектор, який використовується для приготування сушильного агента, працює таким чином: короткохвильове сонячне випромінювання практично без втрат проходить через верхнє прозоре покриття установки та потрапляє на поглинаючий елемент і перетворюється на довгохвильове випромінювання в інфрачервоному спектрі. Довгохвильове випромінювання є, практично, непрохідним через верхнє прозоре покриття колектора, у результаті чого температура у колекторі підвищується. Запропонований сонячний тепловий колектор можна використовувати із будь-якими типами сушильних камер.

Для оптимізації конструкції СТК та режимів його експлуатації було використано технологію “цифровий двійник”. “Цифровий двійник” (англ. Digital Twin) – це цифрова копія фізичного пристрою або процесу, що моделює внутрішні процеси, технічні характеристики і поведінку реального об’єкта в умовах впливу перешкод і навколишнього середовища. Для того, щоб задати на “цифровий двійник” вплив перешкод і врахувати вплив змінних умов навколишнього середовища, використовується інформація з фізичних електронних компонентів паралельно працюючого реального пристрою. Також технологія “цифровий двійник” дає можливість порівняти інформацію із віртуальних датчиків із фізичними електронними компонентами реального пристрою. Це допомагає виявити значні розбіжності та причини їх виникнення [7].

Для реалізації технології “цифровий двійник” за допомогою програмного комплексу Creo 7.0 із встановленим модулем комп’ютерної симуляції FloEFD побудовано тримірну модель СТК. Для отримання реальних режимів роботи СТК виготовлено лабораторну установку СТК (рис. 2) та проведено її випробування [7]. Лабораторно-виробничі випробування сонячного колектора проводили при варіюванні таких факторів: вхідна температура повітря T , ($^{\circ}\text{C}$); витрата сушильного агенту, Q (m^3/c); робоча площа колектора S (m^2). За результатами випробування побудовано поверхню відгуку зміни температури нагріву повітря від вхідних параметрів (рис. 3).



Рис. 2 – Лабораторна установка:

а – загальний вигляд СТК; б – конструкція світлопоглинаючого елемента

Інтерфейс програмного забезпечення FLOEFD 2020 має широкий спектр налаштувань і можливість провести експеримент із урахуванням багатьох факторів. При проведенні комп’ютерної симуляції були задані такі параметри: час проведення експерименту, місце розташування об’єкта дослідження, положення відносно вибраної системи координат (кути нахилу до горизонту), температура навколишнього середовища, хмарність (рис. 4 та рис. 5).

Важливим елементом при підготовці тримірної моделі для проведення комп’ютерної симуляції є усунення із моделі деталей, що мають незначний вплив на досліджуваний процес, а також спрощення деталей конструкції. Оскільки настил металеві стружки є досить складним для побудови тримірної моделі і значно збільшить час проведення симуляції, то в тримірній моделі СТК він був замінений металевою пластиною із шипами висотою 100 мм (рис. 6). Загальний

вигляд спрощеної моделі СТК зображено на рис. 7.

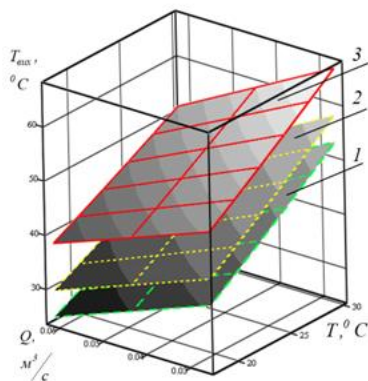


Рис. 3 – Зміна температура нагріву сушильного агента за варіювання таких факторів як витрата сушильного агента Q , вхідна температури повітря T при площі колектора:

$$1 - S = 0,026 \text{ м}^2; 2 - S = 0,044 \text{ м}^2; 3 - S = 0,062 \text{ м}^2$$

| Physical Features | Value |
|------------------------------|-------------------------------------|
| Radiation | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Radiation model | Discrete Transfer |
| Environment temperature | 30.05 °C |
| Solar radiation | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Type | At Earth |
| Defined by | Location and Time |
| Location | Custom |
| Latitude | 50°45' N |
| Date | 06/22 |
| Time | 12:00:00 |
| Zenith direction | Y Axis of Global Coordinate System |
| Angle measured from North to | X Axis of Global Coordinate System |
| Angle | 60 rad |
| Cloudiness | n |

Рис. 4 – Задавання типу симуляції

| Parameter | Value |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| Parameter Definition | User Defined |
| Thermodynamic Parameters | |
| Parameters | Pressure, temperature |
| Pressure | 101325 Pa |
| Pressure potential | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Refer to the origin | <input type="checkbox"/> |
| Temperature | 30.05 °C |
| Velocity Parameters | |
| Parameter | Velocity |
| Velocity in X direction | 0 m/s |
| Velocity in Y direction | 0 m/s |
| Velocity in Z direction | 0 m/s |
| Turbulence Parameters | |
| Solid Parameters | |
| Initial solid temperature | 30.05 °C |

Рис. 5 – Початкові умови симуляції

Повітря потрапляє в СТК через вхідний отвір прямокутної форми і рухається вздовж підлоги до задньої стінки із вихідним отвором, де розділяється на два потоки: частина потоку вже прогрітого повітря надходить у вихідний отвір до сушильної установки, а друга частина рухається у зворотному напрямку. Із рис. 8 видно, що вихідний потік

за розподілом температур не є однорідним, тому це необхідно урахувати під час встановлення сенсорів. Перепад температури повітряного потоку на виході суттєво змінюється при збільшенні довжини СТК до 6 м (рис. 9).

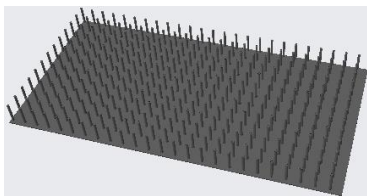


Рис. 6 – Спрощена модель світлопоглинаючого елемента (металевої стружки)

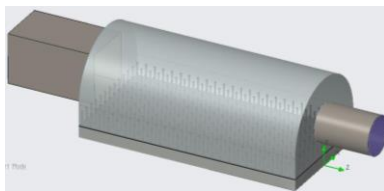


Рис. 7 – 3D-модель СТК для проведення комп'ютерної симуляції

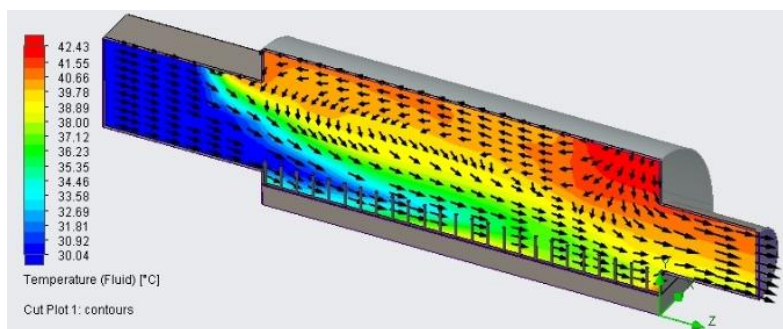


Рис. 8 – 3D-симуляція роботи СТК площею 2 м²

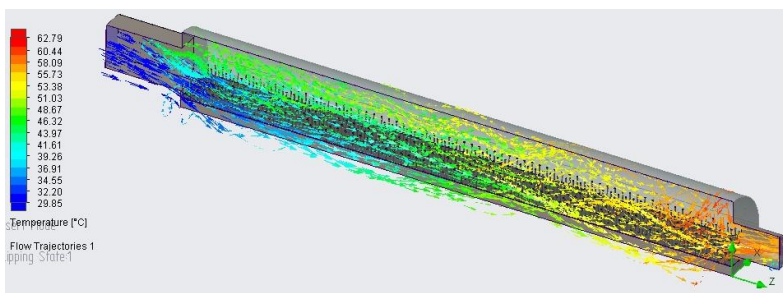


Рис. 9 – 3D-симуляція роботи СТК площею 6 м²

Для зменшення завихрення повітря на вході в СТК було проведено оптимізацію розташування та геометричних розмірів впускного колектора. З метою зменшення застійної зони над вихідним колектором було змінено форму задньої стінки СТК (рис. 10 і рис. 11).

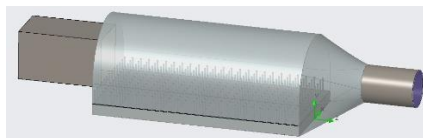


Рис. 10 – СТК з оптимізованою формою

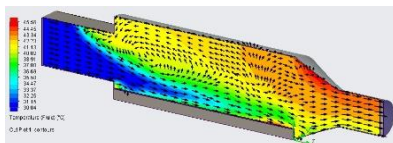


Рис. 11 – 3D-симуляція роботи СТК площею 2 м²

Використання даного програмного забезпечення також є дієвим при визначенні найбільш оптимального положення в місці встановлення СТК для того, щоб отримати максимальну потужність сонячного випромінювання.

Висновки

Згідно із проведеними дослідженнями встановлено, що застосування СТК для сушіння сільськогосподарських матеріалів може значно скоротити енергетичні витрати. Розробка комп'ютерної моделі СТК та використання технології “цифровий двійник” дозволили дослідити режими роботи СТК за різних умов і геометричних параметрів лабораторної установки, а також дослідити ефективність використання різних матеріалів у конструкції СТК. На кінцевому етапі досліджень було перевірено остаточно вибраний варіант конструкції СТК, що значно скоротило матеріальні витрати та тривалість проведення експериментів. Розроблена комп'ютерна модель буде застосована на етапі використання фізичної СТК у складі сушильної установки для оптимізації процесу сушіння сільськогосподарських матеріалів.

Список посилань

1. Боярчук, В.М., Коробка, С.В. (2010). Огляд і оцінка ефективності використання сонячної енергії в аграрному виробництві. Вісник Львівського національного аграрного університету, 14, 578–586.
2. Сацюк, В.В. (2012). Використання нетрадиційних джерел енергії у сільському господарстві. В: Тези XXVI науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу “Актуальні проблеми та перспективи науки і виробництва”, 152–154.

3. Коробка, С.В. (2016). Обґрунтування параметрів та режимів роботи геліосушарки фруктів [Дисертація к-та техн. наук]. Львівський національний аграрний університет, Львів, 295.
4. Мусій, Р.Й., Демчина, О.І., Сиротюк, С.В., Гальчак, В.П. (2015). Сонячні повітряні теплові колектори для екологічно чистої сушки продуктів харчування. Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій], 47(2), 219–221.
5. Boyarchuk, V., Korobka, S., Babych, M., Krygul, R. (2019). Results of research into efficiency of a flat solar air heliocollector with a wavy absorbing surface. *Eastern-european journal of enterprise technologies*, 8(97), 24–36. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.154550>
6. Сацюк, В.В., Красовський, Є.А., Федорук, В.В. (2019). Дослідження процесу приготування сушильного агенту у сонячному тепловому колекторі. *Сільськогосподарські машини*, 42, 100–105. <https://doi.org/10.36910/agromash.vi43.207>
7. Parrott, A., Warshaw, L. (2017). Industry 4.0 and the digital twin. Manufacturing meets its match. <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/digital-twin-technology-smart-factory.html>