



Микитюк П.Д.

Микитюк П.Д., канд. фіз.-мат. наук^{1,2}
Микитюк О.Ю., канд. фіз.-мат. наук³



Микитюк О.Ю.

¹Інститут термоелектрики НАН та МОН України,
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна;
e-mail: anatyck@gmail.com

²Чернівецький національний університет
імені Юрія Федьковича, вул. Коцюбинського 2,
Чернівці, 58012, Україна;

³Буковинський державний медичний університет,
Театральна площа, 2, Чернівці, 58002, Україна

ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНА ТЕРМО- І ТЕПЛОМЕТРІЯ АКТИВНОГО ШАРУ ҐРУНТУ

Ефективне агротехнічне виробництво передбачає постійний контроль процесів, що відбуваються в ґрунтах та їх теплофізичних характеристик, зокрема теплових потоків. Розглянуті існуючі методи вимірювання характеризуються невисокою точністю визначення температури і не дозволяють визначати теплові потоки. В даній статті розглядається запатентований високоточний термоелектричний агротестер, який дозволяє прямим методом вимірювати температуру ґрунту і теплові потоки на рівні 0.01 мВт/см² у температурному діапазоні від –60 до +150 °С. Бібл. 8, рис. 1.

Ключові слова: термоелектричний перетворювач теплової енергії, активний шар ґрунту, тепловий потік (ТП), градієнт температури.

Вступ

Дослідження теплових процесів, що відбуваються в ґрунтах є дуже важливими для розробки агротехнічних заходів. Вони мають свої особливості, які не враховуються при проведенні метеорологічних досліджень, та потребують спеціальних підходів і відповідного технічного оснащення для їх реалізації.

Україна володіє надзвичайним резервом родючих ґрунтів, які є одним із основних природних засобів виробництва продовольства. Тому поточна достовірна інформація про теплофізичні характеристики ґрунту, зокрема про розподіл температури за профілем ґрунту, про теплоаккумуляцію ґрунту на різних глибинах, необхідна в системі управління виробництвом сільськогосподарської продукції, в першу чергу, для прийняття оперативних мір при розробці технологій вирощування сільськогосподарських культур. Не менш важливим є знання про розподіл температури і теплового потоку за профілем ґрунту при визначенні місця проривів інженерних мереж чи інших комунікацій.

Однак, органи управління агрометеокомплексами, наука і виробництво володіють далеко не повною і доволі наближеною інформацією про теплофізичні властивості ґрунтів, зокрема про їх температуру і теплоаккумуляцію за профілем ґрунту. Це пояснюється нестачею сучасних

ефективних методів, способів і технічних засобів, необхідних для отримання згаданої вище інформації.

1. Аналіз відомих методів визначення ТП у ґрунті

У даний час практично не існує прямих методів вимірювання теплових потоків у активному шарі ґрунту, під яким розуміють шар ґрунту, в якому відбувається перетворення сонячної енергії в інші види енергії. Теплові потоки в ґрунтах зазвичай розраховуються за результатами вимірювання градієнтів температури та за визначеними відомими способами коефіцієнтами теплопровідності або температуропровідності ґрунту. Якщо вимірювання температур на фіксованих відстанях, необхідних для знаходження градієнтів температури, здійснюються порівняно просто, причому легко можуть бути налагоджені не тільки вимірювання температури, але і її неперервна реєстрація безпосередньо в природних умовах, то для знаходження вказаних вище коефіцієнтів більшість з відомих методів потребує взяття проб. Крім того, що методи визначення коефіцієнтів теплопровідності чи температуропровідності не відрізняються великою точністю, вони не дають можливості скласти уявлення про їх неперервні зміни з часом, що мають місце в природі. Між тим, для ряду практичних задач необхідно мати метод вимірювання потоків тепла.

Відомі способи оперативного отримання інформації про температуру ґрунту за допомогою штучних супутників Землі [1]. Але отримана таким способом інформація характеризується тим, що вона відноситься лише до поверхні землі або до кількох сантиметрів її поверхневого шару. Крім того, дані, отримані з космосу потребують наземної прив'язки. Але в даний час відсутні надійні наземні експрес-методи і технічні засоби, необхідні для цього.

Також відомі способи визначення температури будь-якого середовища, в тому числі і ґрунту, за допомогою термометрів, які поділяються на рідинні, термоелектричні, деформаційні і термометри протитяги.

Ще відомий спосіб вимірювання температури ґрунту на загальноприйнятих в агрометеодослідженнях глибинах 5, 10, 15, 20 см, при якому використовують термометри Савінова, а в більш глибоких горизонтах витяжні термометри. При цьому способі термометри встановлюються зі Сходу на Захід у порядку зростання глибини. Відстані між термометрами Савінова прийнято встановлювати 10–15 см, а між витяжними – 5 см.

Недоліками таких способів визначення температури ґрунту за його профілем є: необхідність одночасного застосування багатьох вимірювальних засобів (термометрів); внесення теплових і механічних збурень в ґрунт при горизонтальному розміщенні на його різних глибинах термометрів Савінова; необхідність установки обсадних (металевих чи пластмасових) труб для витяжних термометрів, які є стаціонарними і заважають обробітку ґрунту; велика тривалість вимірювань і їх невисока точність; неможливість визначення величини питомого ТП через задані горизонти глибини ґрунту і т.д.

Найкращим із відомих є спосіб описаний в [2], де наведено інформацію про новий спосіб вимірювання параметрів ґрунтів за допомогою приладу ВПП-Чц, розробленого УКР НДГ МІ в 2001 р. Даний спосіб визначення вологості і температури ґрунту полягає в тому, що вимірювальний датчик-бур розташовується в нижній частині приладу ВПП-Чц і за допомогою спеціального пристрою заглиблюється на задану глибину ґрунту, де необхідно визначити вологість і температуру ґрунту. Вологість визначають за допомогою градувальник графіків, які є практично лінійними, а температуру за даними датчика температури. Такий спосіб є набагато

перспективнішим і оперативнішим за вищезгадані. Однак, він характеризується порівняно невисокою точністю визначення температури ґрунту ($\sim \pm 1^\circ\text{C}$), неможливістю прямого визначення величини питомого ТП через заданий горизонт глибини ґрунту. Тому створення ефективного способу прямого визначення температури і питомого теплового потоку в ґрунті є актуальною задачею.

2. Термоелектричний метод визначення величини ТП і градієнту температури за профілем ґрунту

Авторами при проведенні ряду досліджень було встановлено, що термоелектричний перетворювач теплової енергії ґрунту в електричну енергію – ґрунтовий термоелектричний генератор (ГТЕГ), основою частиною якого є високоефективна багатоелементна дуже чутлива термобатарея, може функціонувати як джерело живлення, так і як ефективний вимірювальний прилад. Результатом таких досліджень є отримання патенту України [3] на спосіб вимірювання температури і теплового потоку в ґрунті.

Суть такого способу полягає в наступному. Відомо [4, 5], що величина термоелектрорушійної сили (термоЕРС) термобатареї має прямо пропорційну залежність від величини питомого теплового потоку, що проходить через її робочі грані і робочого перепаду температури на ній. Тому, розташування в ґрунті такої, термоелектричної батареї, що функціонує в режимі генерації електричного струму, дозволяє прямим методом визначити величину ТП (або питомого ТП), що проходить через термобатарею, а також одночасно фіксувати величину градієнта температури на її робочих гранях, що утворюється між поверхнею ґрунту та його шаром на заданій глибині. Тобто в процесі вимірювання фіксується температура поверхні ґрунту і визначається різниця температури ΔT між поверхнею ґрунту і його шаром на заданій глибині, та величина ТП, що утворюється цією ΔT . При цьому вимірювання температури та величини ТП на заданій глибині ґрунту здійснюється прямим методом попередньо протестованою термоелектричною батареєю з відомими залежностями її термоЕРС від величини питомого ТП, що проходить через термобатарею і від градієнта температури на робочих гранях термобатареї, що утворюється між поверхнею ґрунту з відомою температурою і його шаром на заданій глибині.

Можливість використання способу багаторазово перевірялась при створенні і дослідженнях ГТЕГ типу «Алтек-8027». Конструкція такого ГТЕГ містила термоелектричну батарею, до складу якої входило 1024 вітки термоелементів перерізом 0.7×0.7 (мм), виготовлених із Bi_2Te_3 . Велика кількість віток термоелементів та їх висока термоелектрична ефективність дозволила прямим методом фіксувати дуже малі перепади температури та величину густини теплового потоку. Створений спосіб визначення температури і теплового потоку в ґрунті ліг в основу конструкції термоелектричного агротестера, на яку також отримано патент України [6].

На відміну від найкращих із відомих агротестерів [7, 8], точність вимірювання температури яких у діапазоні температур від 0 до 50°C не перевищує $\pm 1^\circ\text{C}$ і не забезпечується можливість визначення величини питомого ТП, який протікає через заданий для вимірювання горизонт ґрунту, створений в Інституті термоелектрики термоелектричний агротестер забезпечує точність вимірювань питомого ТП на рівні 0.01 мВт/см^2 у температурному діапазоні від -60 до $+150^\circ\text{C}$ і дозволяє проводити вимірювання прямим методом.

Схематичне зображення створеного в Інституті термоелектрики НАН та МОН України термоелектричного агротестера показано на рис. 1:

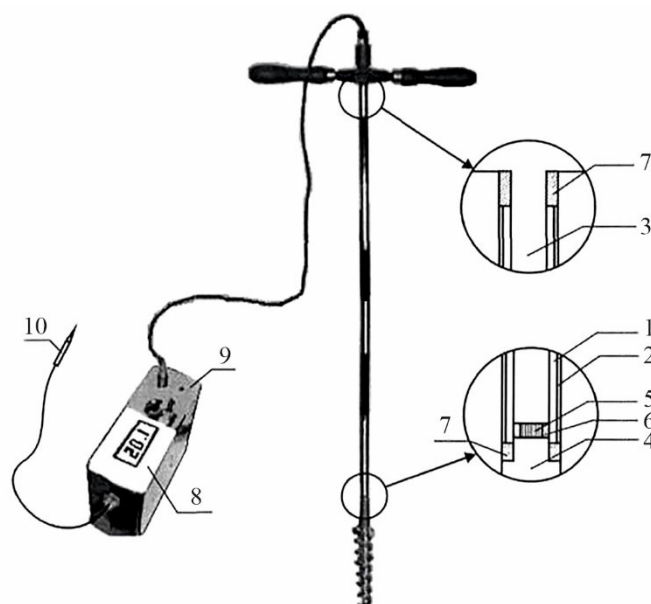


Рис. 1. Схематичне зображення термоелектричного агротетстера:
1 - пустотілий корпус; 2 - металевий кожух; 3, 4 - верхній і нижній теплообмінні елементи;
5 - багатоелементна термоелектрична батарея; 6 - адіабатична теплоізоляція термобатареї; 7 - теплоізоляційна прокладка; 8 - цифровий вимірювальний блок; 9 - акумулятор електричної енергії, 10 - датчик температури поверхні ґрунту

Термоелектричний агротетстер, рис. 1, складається з пустотілого корпусу 1, виготовленого із теплоізоляційного матеріалу, захищеного по боковій поверхні металевим кожухом 2, теплоізоляція якого від інших конструктивних елементів забезпечується прокладками 7. Агротетстер має два теплообмінники: верхній теплообмінний елемент 3 і нижній теплообмінний елемент 4, роль якого виконує шнек, що забезпечує заглиблення конструкції в ґрунт. Обидва теплообмінні елементи мають тепловий контакт з робочими гранями термобатареї 5, бокові грані якої є адіабатично ізольованими за допомогою теплоізоляції 6, причому верхній теплообмінний елемент контактує також із поверхнею ґрунту, а нижня частина теплообмінного елемента-шнеку контактує з ґрунтом на заданій глибині. Візуалізацію результатів вимірювання здійснює цифровий вимірювальний блок 8, а електроакумуючий пристрій 9 забезпечує накопичування електричної енергії, генерованої термобатареєю 5, при її розташуванні в ґрунті для забезпечення роботи цифрового вимірювального блоку 8 і датчика температури поверхні ґрунту 10.

Бокові грані термобатареї є адіабатично ізольованими, а термобатарея в режимі генерації електричної потужності при її розміщенні в ґрунті одночасно виконує функцію зарядного пристрою для акумулятора електричної енергії. Причому термоелектричний агротетстер конструктивно виготовляється таким чином, що в залежності від напрямку теплового потоку в ґрунті теплообмінні елементи, що контактують з термобатареєю можуть функціонально взаємозамінювати один одного по тепловому режиму роботи термобатареї. Крім цього, для зменшення величини збурень теплового стану ґрунту при проведенні вимірювань теплообмінний елемент-шнек виготовляється із матеріалів, що мають коефіцієнти теплопровідності аналогічні коефіцієнтам теплопровідності різних типів ґрунтів.

Працює термоелектричний агротетстер наступним чином. При заглибленні приладу в ґрунт на задану глибину виникає різниця температур ΔT , що існує між поверхнею ґрунту і на досліджуваному горизонті ґрунту. За допомогою теплообмінних елементів ця різниця температур буде створюватися на робочих гранях термоелектричної батареї, а через термобатарею проходитиме тепловий потік, зумовлений цією різницею температур. Так як в агротетстері використовується термоелектрична батарея, з наперед відомими залежностями її термоЕРС від градієнта температури ΔT і від величини питомого ТП g , які як відомо [4], мають

лінійний характер, то за величиною термоЕРС можна з високою точністю визначати величини T і g , оскільки вимірювання температури поверхні ґрунту є доволі простим.

Обробку вихідних даних здійснює електронний цифровий блок, який візуалізує кінцевий результат виміру.

Водночас, при розташуванні багатоелементної батареї в ґрунті, вона функціонуватиме і як джерело електричної енергії [10], потужності якого цілком достатньо для заряджання акумулятора електричної енергії, від якого живиться термоелектричний агротестер. Для початкової зарядки акумулятора електричної енергії достатньо заглибити прилад на деякий час у ґрунт.

Особливістю вимірювання величини теплового потоку є те, що протягом певного періоду часу (наприклад доби) тепловий потік може змінювати свій напрямок на протилежний [9]. Однак, це не створюватиме проблем при визначенні його величини за допомогою термоелектричного агротестера, який при цьому зафіксує значення величини g , з протилежним знаком.

Висновок

1. Конструкція термоелектричного агротестера, у якій відсутні недоліки, характерні для відомих аналогів, дозволяє вимірювати не лише температуру ґрунту, а і величину ТП, який проходить через заданий горизонт ґрунту.
2. Зразок приладу "Термоелектричний агротестер" пройшов промислові випробування на підприємстві "Біоенергохолдинг" (м. Запоріжжя), які підтвердили високу точність, простоту виготовлення і використання, повну автономність термоелектричного агротестера, що створює сприятливі умови для його широкого впровадження при проведенні метео- і агрономічних досліджень та ряду інших інвестиційно привабливих застосувань.

Література

1. Course of lectures on the discipline "Aerospace Methods" for students of training direction 6.040106 "Ecology, environmental protection and balanced use of nature". (2010). Uman National University of Horticulture, Uman.
2. Hrushka I.H. (2001). New methods and means of agrometeorological measurements and issues of agrometeorological support for agriculture. *Materials of the meeting-seminar "Exchange of experience in hydrometeorological support of agricultural production in modern conditions"*, Yalta, October 15, 2001.
3. Mykytiuk P.D. (2014). *Method for measuring the temperature and heat flux value in soil* (Patent No. 907686). Ukraine.
4. Anatyshuk L.I. (1979). *Termoelementy i termoelektricheskiie ustroystva* [Thermoelements and thermoelectric devices]. Kyiv: Naukova Dumka.
5. Mylytiuk P.D. (2002). Temperature and heat flux distribution through a thermopile in the active soil layer. *Journal of Thermoelectricity*, 3, 26–30.
6. Mykytiuk P.D. (2014). *Thermoelectric agrotester* (Patent No. 90794). Ukraine.
7. Report on the research work "Develop an automated system for monitoring humidity, soil temperature and other agrometeorological parameters". (1997). Ukrainian Research Hydrometeorological Institute, Kyiv.
8. Mykytiuk P.D. (2004). *Devices for thermoelectric conversion of soil thermal energy* (PhD Thesis). Chernivtsi.

Надійшла до редакції: 15.10.2024.

P.D. Mykytiuk, Cand. Sc. (Phys.-Math.)^{1,2}

O.Yu. Mykytiuk, Cand. Sc. (Phys.-Math.)³

¹Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES
of Ukraine, 1 Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine;

²Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,
2 Kotsiubynskyi str., Chernivtsi, 58012, Ukraine;

³Bukovinian State Medical University,
2 Theater Square, Chernivtsi, 58002, Ukraine

THERMOELECTRIC THERMOMETRY AND CALORIMETRY OF THE ACTIVE SOIL LAYER

Effective agrotechnical production requires constant monitoring of processes occurring in soils and their thermophysical characteristics, in particular heat fluxes. The existing measurement methods considered are characterized by low accuracy of temperature determination and do not allow determining heat fluxes. This article discusses a patented high-precision thermoelectric agrotester, which allows direct measurement of soil temperature and heat fluxes at the level of 0.01 mW/cm² in the temperature range from –60 to +150 °C. Bibl. 8, Figs. 1.

Key words: thermoelectric thermal energy converter, active soil layer, heat flux, temperature gradient.

References

1. Course of lectures on the discipline “Aerospace Methods” for students of training direction 6.040106 “Ecology, environmental protection and balanced use of nature”. (2010). Uman National University of Horticulture, Uman.
2. Hrushka I.H. (2001). New methods and means of agrometeorological measurements and issues of agrometeorological support for agriculture. *Materials of the meeting-seminar “Exchange of experience in hydrometeorological support of agricultural production in modern conditions”*, Yalta, October 15, 2001.
3. Mykytiuk P.D. (2014). *Method for measuring the temperature and heat flux value in soil* (Patent No. 907686). Ukraine.
4. Anatychuk L.I. (1979). *Termoelementy i termoelektricheskie ustroystva* [Thermoelements and thermoelectric devices]. Kyiv: Naukova Dumka.
5. Mylytiuk P.D. (2002). Temperature and heat flux distribution through a thermopile in the active soil layer. *Journal of Thermoelectricity*, 3, 26–30.
6. Mykytiuk P.D. (2014). *Thermoelectric agrotester* (Patent No. 90794). Ukraine.
7. Report on the research work “Develop an automated system for monitoring humidity, soil temperature and other agrometeorological parameters”. (1997). Ukrainian Research Hydrometeorological Institute, Kyiv.
8. Mykytiuk P.D. (2004). *Devices for thermoelectric conversion of soil thermal energy* (PhD Thesis). Chernivtsi.

Submitted: 15.10.2024.