
МЕТОДИЧНІ РОЗРОБКИ

УДК 631.436

В. А. Горбань, А. А. Горбань

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЫ МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОГО НАГРЕВА

В. А. Горбань, А. А. Горбань

Дніпропетровський національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТІВ МЕТОДОМ ІМПУЛЬСНОГО НАГРІВУ

Запропоновано вдосконалену установку та програмне забезпечення для дослідження основних теплофізичних характеристик ґрунтів (теплоємності, коефіцієнтів температуропровідності та теплопровідності) методом імпульсного нагріву. Розглянуто приклади визначення величин теплових властивостей ґрунтів з використанням запропонованої установки.

Ключові слова: установка, методика, теплоємність, температуропровідність, теплопровідність, ґрунти.

V. A. Gorban, A. A. Gorban

Dnipropetrovsk National University

INVESTIGATION OF THE THERMALPHYSIC SOIL PROPERTIES WITH THE HELP OF AN IMPULSE HEATING METHOD

The enhanced equipment and software used for the investigation of the thermal characteristics of a basic soil (heat capacity, coefficients of thermal diffusivity and heat conductivity) were proposed. The investigations of this type used to be provided by the impulse heating method. Examples of a definition of the soil thermal properties with the use of proposed equipment are shown.

Keywords: equipment, research method, heat capacity, thermal diffusivity, heat conductivity, soils.

Почва как природное биокосное тело и итоговый компонент биогеоценоза (Сукачев, 1964), а также специфический физический объект характеризуется рядом своеобразных теплофизических свойств. Согласно работам Р. Дж. Хэнкса и Дж. Л. Ашкрофта (1985), А. Ф. Вадюниной и З. А. Корчагиной (1986), Ю. А. Созина (1990), В. А. Горбаня (2006) к основным теплофизическим свойствам почвы можно отнести теплоемкость, тепло- и температуропроводность.

Для понимания некоторых особенностей тепловых свойств почвы приводим их определения (Вадюнина, 1986).

Объемная удельная теплоемкость – количество теплоты, необходимое для нагревания 1 м³ сухой почвы на 1 °С.

Теплопроводность – способность почвы поглощать и проводить тепло в направлении, обратном термическому градиенту, т. е. от горячих слоев – к холодным. Количество передающейся через слой почвы тепловой энергии пропорционально градиенту температуры и коэффициенту теплопроводности.

Температуропроводность – способность почвы выравнивать свою температуру при наличии разницы нагрева в данной и близлежащей точках.

Известно, что тепловые свойства почвы исследуют для определения изменений температуры почвы в процессе поглощения тепла деятельной поверхностью и его перераспределения в активном слое почвы (Макарова, 1987). При поступлении одного и того же количества тепла изменение температуры почвы определяется ее теплоемкостью, а интенсивность внутрипочвенного переноса тепла – теплопроводностью.

Теплопроводность показывает скорость выравнивания температур почвы. Эта скорость определяется как теплопроводностью, так и теплоемкостью почвы. Показателя только одной теплопроводности недостаточно для определения скорости нагревания или охлаждения почвы, так как в одинаковых внешних условиях при близких величинах теплопроводности более теплоемкие почвы будут медленнее нагреваться и медленнее остывать.

При изучении температурного режима почвы удобно использовать показатель теплопроводности, так как именно этот параметр характеризует «распространение» измеряемой величины – температуры. Однако для анализа механизмов происходящих явлений приходится обращаться к понятиям теплопроводности и теплоемкости (Теории ..., 2007).

При исследовании тепловых свойств почвы необходимо помнить, что они зависят от ряда других характеристик почвы, таких как содержание органических веществ, сложение, механический состав, влажность почвы и т. д. (Димо, 1972).

В статье рассмотрим практическое применение усовершенствованной установки (предложенной Ю. А. Созиным, 1990) и программного обеспечения для определения основных тепловых свойств почвы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Использование предлагаемой установки и программного обеспечения базируется на теоретических положениях методики определения теплофизических свойств почвы методом импульсного нагрева, разработанных С. В. Нерпиным и А. Ф. Чудновским (1967) и дополненных Ю. А. Созиным (1990).

Суть метода заключается в наблюдении за температурой в некоторых точках исследуемой среды после сообщения ей локального теплового импульса. В простейшем случае регистрируют временной ход температуры в точке, отстоящей на расстоянии l от плоского импульсного нагревателя, и определяют время t_m достижения максимума температуры. Коэффициент теплопроводности a определяют по формуле

$$a = l^2 / (2t_m).$$

Однако такой односточный способ не обеспечивает высокой точности. По мнению Ю. А. Созина (1990), более корректным представляется многоточечный вариант метода, когда ход изменения температуры регистрируется в нескольких точках контрольного образца.

Для практического применения многоточечного варианта метода нами была разработана соответствующая установка.

Блок-схема установки показана на рис. 1. Установка состоит из двух частей: измерительной (1) и регистрирующей (4). Измерительная часть представляет собой прямоугольный ящик размером 100×100×50 мм, в поперечной плоскости которого установлен тонкий плоский электронагреватель (2) мощностью 1,1 кВт с размером рабочего контура 90×90 мм. Тепловой импульс обеспечивается включением электронагревателя на определенный период времени (обычно 3–5 с). Датчиками температуры служат платиновые термосопротивления (3), размещенные на расстоянии 10, 15, 20 и 25 мм от нагревателя. Термосопротивления расположены на продольной оси ящика, что уменьшает влияние боковых потерь тепла. Исследуемый образец почвы просеивается через сито с диаметром отверстий 1 мм и помещается в измерительную часть установки.

В регистрирующей части собраны мосты постоянного тока, в диагональ которых включены термосопротивления. Сигнал разбалансировки, возникающий при изменении сопротивления датчиков (которое вызывается изменением температуры),

увеличивается при помощи усилителя (5). Аналоговый сигнал, пропорциональный изменению температуры, преобразуется в цифровой код аналогово-цифровым преобразователем (6). Цифровые данные обрабатываются микроконтроллером (7) и передаются в ЭВМ (8). Микроконтроллер также управляет работой различных блоков регистрирующей части и обеспечивает связь компьютера и установки в целом.

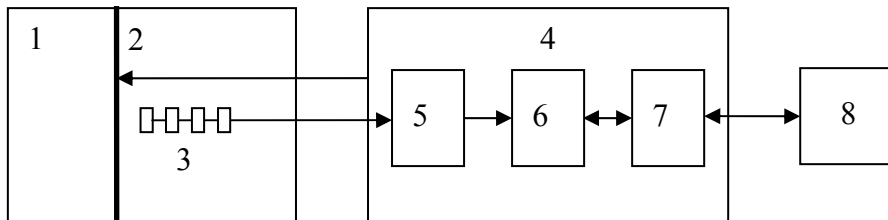


Рис. 1. Блок-схема установки

Управление установкой осуществляется ЭВМ с помощью разработанного программного обеспечения, которое позволяет получать графические и цифровые данные о температуре почвы в зависимости от времени и проводить обработку полученных результатов. Устройство позволяет измерять температуру от 0 до 100 °С с точностью до 0,01 °С при частоте измерений от 20 мс до 2,500 с. Время нагрева также изменяется и может составлять 0,4–50 с.

Измеряемые зависимости отражаются во время исследований в виде графика, их также можно сохранить в виде текстового файла для дальнейшей обработки и хранения. Данные представляются в виде пяти столбцов чисел, первый из которых соответствует времени, а остальные – температуре на расстоянии 10, 15, 20 и 25 мм от нагревателя.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С помощью предлагаемой установки проведены исследования тепловых свойств почвы на примере песчаной почвы (гор. 80–90 см почвенного разреза, заложеного в суховатом бору Присамарья Днепроовского, рис. 2) и эолового наноса мелкозема на темно-каштановой почве (гор. 0–30 см почвенного разреза, заложеного в лесополосе около пгт Аскания-Нова, рис. 3).

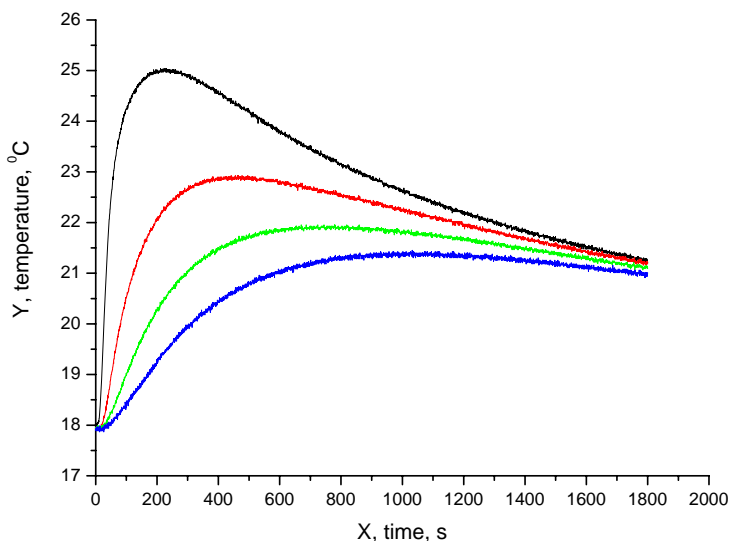


Рис. 2. Зависимость изменения температуры почвы суховатого бора от времени

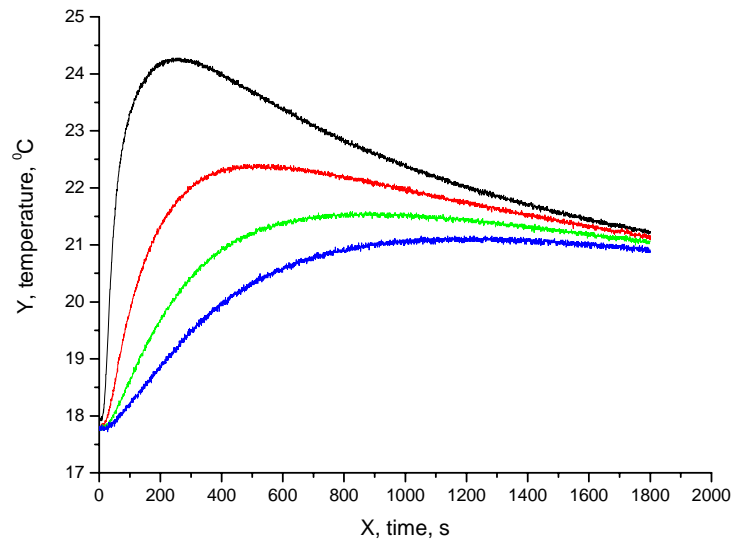


Рис. 3. Зависимость изменения температуры почвы лесополосы от времени

Коэффициент температуропроводности a вычисляют по формуле (Нерпин, 1967), приведенной выше.

Теплоемкость почвы c определяют по формуле (Созин, 1990)

$$c = (0,242 \cdot Q) / (S \cdot t_m(x_i) \cdot x_i),$$

где Q – количество теплоты, выделившейся в нагревателе; S – площадь сечения, занятого нагревателем; $t_m(x_i)$ – значения максимумов температуры в точках x_i ; размещения датчиков температуры.

Коэффициент теплопроводности λ вычисляют по формуле

$$\lambda = a \cdot c.$$

При исследованиях были получены следующие величины основных тепловых характеристик почвы:

для песчаной почвы ПП 212:

$$\begin{aligned} a &= 2,71 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}, \\ c &= 1,254 \text{ МДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}), \\ \lambda &= 0,3398 \text{ Дж}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{C}); \end{aligned}$$

для эоловых отложений мелкозема:

$$\begin{aligned} a &= 2,47 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}, \\ c &= 1,356 \text{ МДж}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}), \\ \lambda &= 0,3349 \text{ Дж}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot ^\circ\text{C}). \end{aligned}$$

Как и можно было предположить, величина теплоемкости эоловых отложений оказалась выше, чем песчаной почвы, в то время как более высокая тепло- и температуропроводность характерна для песчаной почвы. Это можно объяснить практическим отсутствием органических веществ в песчаной почве. Как известно, именно наличие этих веществ и глинистый гранулометрический состав способствуют формированию повышенной теплоемкости почвы. Таким образом, теплофизические свойства почвы могут служить косвенным показателем наличия органических веществ в почве и характеризовать ее гранулометрический состав. Однако этот вопрос нуждается в дальнейших детальных исследованиях.

ВЫВОДЫ

Применение разработанной установки и соответствующего программного обеспечения способствует автоматизации процедур при определении теплофизических свойств почвы, что значительно упрощает и ускоряет весь процесс исследования, а это, в свою очередь, позволит в значительной мере интенсифицировать изучение теплофизических свойств почвы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Вадюнина А. Ф.** Методы исследования физических свойств почвы / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
- Горбань В. А.** Фізичний стан ґрунтів як екологічний фактор // Ґрунтознавство. – 2006. – Т. 7, № 3-4. – С. 102-111.
- Димо В. Н.** Тепловой режим почв СССР. – М.: Колос, 1972. – 360 с.
- Макарова Г. П.** О влиянии влажности на теплофизические свойства темно-серых лесных эродированных почв // Эродированные почвы и эффективность почвозащитных мероприятий: Науч. тр. – М.: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 1987. – С. 65-70.
- Нерпин С. В.** Физика почвы / С. В. Нерпин, А. Ф. Чудновский. – М.: Наука, 1967. – 580 с.
- Созин Ю. А.** Определение теплофизических свойств почвы методом импульсного нагрева // Антропогенные воздействия на лесные экосистемы степной зоны. – Д.: ДГУ, 1990. – С. 95-101.
- Теории и методы физики почв** / Под ред. Е. В. Шеина и Л. О. Карпачевского. – М.: Гриф и К, 2007. – С. 374-379.
- Хэнкс Р. Дж.** Прикладная физика почв: Влажность и температура почвы / Р. Дж. Хэнкс, Дж. Л. Ашкрофт. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. – 152 с.

Надійшла до редколегії 08.10.07