

Определение температуры грунта на глубине заземлителей

ЗАЙЦЕВА Н.М., ИСАБЕКОВА Б.Б., КЛЕЦЕЛЬ М.Я.

Предложены две методики определения температуры в грунте для расчета удельного электрического сопротивления. Первая основана на теории теплопроводности Фурье и использовании данных метеостанций, вторая – на определении теплофизических характеристик грунта с помощью экспериментов и теории нечетких множеств. Представлены зависимости температуры от глубины грунта и его теплоемкости, а также температуропроводности от влажности.

Ключевые слова: электрооборудование, заземление, грунт, влажность, температура, удельное электрическое сопротивление, расчет

Работа электрооборудования немыслима без использования заземляющих устройств (ЗУ). Важнейшей электрической характеристикой ЗУ является его электрическое сопротивление [1]. Расчет сопротивления ЗУ принято проводить по программам, использующим метод оптической аналогии [2], например по программе «ОРУ-М» [3]. При этом исходными данными являются: ориентировочные параметры конструкции ЗУ (протяженной, трубчатой сосредоточенной и др.), глубина залегания (любая), число слоев грунта, их толщина и удельное электрическое сопротивление каждого слоя грунта ρ (песка, глины и т.д.). Результаты расчета сравниваются со значениями, допустимыми по правилам устройств электроустановок (ПУЭ). Если они отличаются от допустимых более чем на 15%, то методом последовательных приближений параметры конструкции ЗУ уточняются до тех пор, пока ее сопротивление не удовлетворит требованиям ПУЭ. При этих расчетах ПУЭ рекомендует использовать значение ρ , измеренное, как правило, в летнее время и умноженное на поправочные коэффициенты, которые должны учитывать наихудшие климатические условия, в первую очередь, влажность и минимальную температуру грунта. Известны формулы, по которым можно рассчитать ρ [4, 5]. Однако многочисленные эксперименты показывают, что результаты расчетов по ним, как и по рекомендациям ПУЭ, весьма приблизительны [5]. В [6] предложена методика, дающая возможность более точно рассчитать ρ в зависимости от температуры t и влажности грунта v с учетом его глубины. Но эта методика (как и формулы из [4, 5]) предполагает знание значения температуры грунта на глубине его залегания, а она меняется в зависимости от времени года, причем для определения температу-

Two procedures for determining the temperature in soil for calculating its resistivity are proposed. The first procedure is based on using the Fourier theory of thermal conductivity and data from weather stations, and the second one, on determining the thermophysical characteristics of soil from the results of experiments and using the theory of fuzzy sets. Curves characterizing the soil temperature as a function of depth and heat capacity of soil, as well as on its thermal diffusivity and moisture content, are presented.

Key words: electrical equipment, grounding, soil, moisture content, temperature, resistivity, calculation

ры на нужной глубине необходимо проводить большое число трудоемких измерений.

В статье предлагается учитывать изменения температуры двумя способами без проведения таких измерений. Первый основан на использовании среднемесячных значений температур, второй – на применении нечеткой логики при определении теплофизических характеристик грунта. Для решения поставленных задач используются следующие сведения (получены исходя из теории молекулярной теплопроводности Фурье) [7]:

для всех типов грунта период колебания температуры с глубиной не изменяется, т.е. на поверхности грунта и на всех глубинах интервал между последовательными максимумами и минимумами в суточном ходе составляет 24 ч, а в годовом – 12 мес.;

возрастание глубины в арифметической прогрессии приводит к уменьшению амплитуды температуры в геометрической прогрессии.

Годовые колебания температуры распространяются в глубину с уменьшением амплитуды по тому же закону. (Районы вечной мерзлоты не рассматриваются.) Нас интересуют глубины, не превосходящие 15–20 м в средних широтах и около 10 м в южных, так как при приближении к ним амплитуда годового колебания температуры стремится к нулю [7]. Дальнейшее изменение температуры с увеличением глубины можно учитывать исходя из того, что температура увеличивается на 3 °С на каждые 100 м [8] в соответствии с зависимостью, представленной в [9]. Суточное изменение температуры на поверхности отражается и на ее распределении по глубине, но только до 70–100 см [7]. Максимальная или минимальная температура на глубине наступает позднее, чем на поверхности,

причем запаздывание прямо пропорционально глубине. Суточные максимумы и минимумы запаздывают на каждые 0,1 м в среднем на 2,5–3,5 ч, а годовые – на каждый 1 м глубины на 20–30 сут.

Определение температуры грунта на основе ее среднемесячных значений. Разброс температур на интересующей исследователя глубине можно вычислить по формуле: $t_{\text{г}} \pm A_h$ (получена нами на основе анализа разброса t , проведенного в [7]), где $t_{\text{г}}$ – температура «слоя постоянной t », °С (она близка к средней годовой температуре поверхности грунта, например для средних широт $t_{\text{г}} \approx 8$ °С [7]); A_h – амплитуда годового колебания температуры (°С) на глубине h (м) от поверхности грунта, причем:

$$A_h = A_{\text{п}} q^h, \quad (1)$$

где $A_{\text{п}}$ – амплитуда колебания температуры поверхности грунта (относительно «слоя постоянной годовой t ») на требуемой глубине, °С; q – коэффициент, характеризующий убывание температуры в глубь грунта:

$$q = \exp\left\{-\frac{\ln(A_{\text{п.г}} / A_{\text{п.т}})}{h_{\text{п}}}\right\} \quad (2)$$

Здесь $h_{\text{п}}$ – глубина постоянной годовой температуры (для средних широт она равна 15 м); $A_{\text{п.г}}$ – амплитуда колебания температуры на глубинах с постоянной годовой температурой, $A_{\text{п.г}} \gg 0,1$ °С;

$A_{\text{п}} = \frac{t_{\text{п max}} - t_{\text{п min}}}{2}$; $t_{\text{п max}}$ и $t_{\text{п min}}$ – максимальная и минимальная среднемесячная температура поверхности грунта за год для данной местности (так например, для Калининграда $q = 0,736$ при $A_{\text{п}} = 10,5$ °С и $t_{\text{п}} = 8$ °С [7] и для Ставрополя $q = 0,619$ при $A_{\text{п}} = 12$ °С и $t_{\text{п}} = 10$ °С [10]).

Для моделирования колебания t на заданной глубине на основе приведенного и анализа данных метеоцентров разработана следующая формула:

$$t = t_{\text{п}} - A_h \cos\left\{\frac{2\pi}{365}(x - 20h)\right\} \quad (3)$$

где x – число суток; «20» – коэффициент, учитывающий запаздывание (в сутках) максимума (минимума) годового колебания температуры на 1 м глубины относительно температуры поверхности грунта (например, если максимум t поверхности наблюдается в июле, то на глубине в 5 м он будет через 100 сут).

Если заземлитель находится глубже 15 м, то расчет t осуществляется без использования формулы (3) по зависимости, приведенной в [9].

Проверка адекватности модели выполнялась для двух регионов средней широты и одного юж-

ной широты: Калининграда [7], Павлодара (данные метеостанции за 2005–2008 гг.) и Ставрополя [10]. На рис. 1 приведены смоделированные графики годового хода изменения температуры на поверхности грунта (кривая 1) и на глубине 0,8 м (кривая 2) и 3,2 м (кривая 3) при $A_{\text{п}} = 15$ °С, $t_{\text{п}} = 8$ °С и $q = 0,716$ для Павлодара. (■, ◆, ● – среднемесячные температуры). Вычисленные значения годового хода температур имеют на глубине 10–30 см максимальное расхождение с данными метеостанций городов Калининграда, Павлодара и Ставрополя не более 3 °С, что объясняется влиянием суточных колебаний температуры. Как показывают расчеты τ по [6] для разных грунтов и температур, ошибка в 3 °С приводит к погрешностям при определении τ , не превышающим 10%. С увеличением глубины расхождение уменьшается, а на глубине 7 м это значение уже составляет не более 0,8 °С.

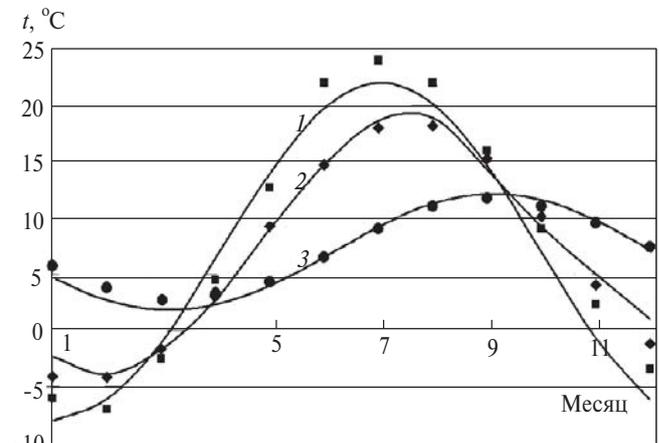


Рис. 1

Из изложенного следует, что разработанная модель позволяет еще на стадии проектирования достаточно просто определять температуру грунта на различной глубине и в любой период года. Для данной местности нужно знать только $t_{\text{п max}}$, $t_{\text{п min}}$ и $t_{\text{п}}$ поверхности грунта за год. Эту информацию можно получить в метеоцентре. Однако формула (3) не учитывает суточные колебания температуры, вид грунта и его влажность, что, как показывает дальнейший анализ, увеличивает погрешности определения t на 5, 10%.

Методика определения температуры грунта, учитывающая эти факторы, строится на основе использования нечеткой логики, аналогично тому, как это сделано в [6]. Для расчета используется известная формула [11]:

$$T = \left| \frac{t_2 - t_1}{h_2 - h_1} \right| t = cK \frac{t_2 - t_1}{h_2 - h_1} t, \quad (4)$$

где T – тепловой поток в глубь грунта, кал/см²; l – коэффициент теплопроводности; t_2 , t_1 – темпе-

ратура грунта (в градусах) для глубин h_2, h_1 (см) соответственно; t – интервал времени (с), за который температура изменяется от t_2 до t_1 ; c – объемная теплоемкость, кал/(см³·град); K – температуропроводность, см²/с.

Для определения количества теплоты (кал/см²), поглощенного при нагревании или выделении при охлаждении определенным слоем грунта толщиной $h_2 - h_1$, воспользуемся следующей формулой из [11]:

$$DT = c(h_2 - h_1)(t_2 - t_1), \quad (5)$$

где DT и $(t_2 - t_1)$ – приращение теплоты и разность температур в среднем для всего слоя за определенный отрезок времени.

По формуле (4) рассчитывается количество теплоты на нагревание верхних слоев грунта, температура которых измеряется. Количество теплоты, расходуемое на нагревание более глубоких слоев, для которых нет температурных данных, определяется на верхней границе слоя с помощью формулы (5). Затем по соотношению

$$T_{\text{общ}} = T + DT = ch(t_2 - t_1)$$

находится искомая температура на нужной глубине h .

Для расчетов по формуле (4) нужно определить c и K . Так как последние зависят в основном от влажности, плотности и вида грунта, используем данные, полученные в результате экспериментов с помощью калориметра, представленного на рис. 2. Калориметр состоит из сосуда 1 с водой 2, в котором находятся: камера 3 (капсула) сначала с водой, а потом с грунтом, нагреватель 4 (кипятильник), термометры 5 и 6. Температура измеряется через равные промежутки времени, что позволяет определить количество теплоты, введенное в калориметр. Нагрев в капсуле фиксируется термометром 6, а изменение температуры в калориметре термометром 5.

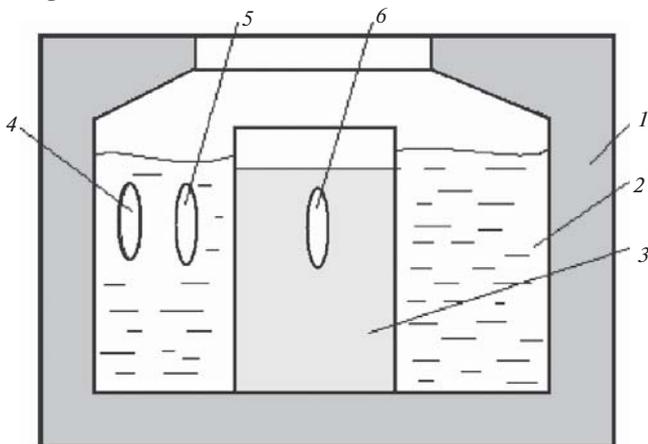


Рис. 2

При определении теплоемкости используется общеизвестная формула

$$c = Q / (mDT),$$

где m – масса, кг; Q – теплота, поглощаемая грунтом.

Для определения теплоемкости калориметра c_k , учета теплопотерь и теплоемкости грунта $c_{гр}$ используется уравнение теплового баланса $Q_2 = Q_3$, где Q_2 – теплота, выделяемая водой в калориметре; Q_3 – теплота, воспринимаемая капсулой (грунтом) (индексы 2 и 3 соответствуют обозначениям воды и капсулы на рис. 2). Они определяются по следующим формулам, записанным на основе элементарных понятий физики:

$$Q_2 = m_2 Dt_2 c_k + V_{nt} t;$$

$$Q_3 = m_{3a} Dt_3 c_a + m_{3в(гр)} Dt_3 c_{в(гр)},$$

где c_k – теплоемкость калориметра, кал/(см³·град); m_2 – масса воды в калориметре, кг; V_{nt} – скорость теплопотерь калориметра, кал/с; t – промежуток времени, через который проводится измерение температуры, с; m_{3a} – масса капсулы, кг; c_a – теплоемкость капсулы, кал/(см³·град); $c_{в(гр)}$ – теплоемкость воды (грунта), кал/(см³·град); $m_{3в(гр)}$ – масса воды (грунта) в капсуле, кг; $Dt_2 = t_{22} - t_{21}$ и $Dt_3 = t_{32} - t_{31}$ ($t_{22}, t_{21}, t_{32}, t_{31}$ – температура в калориметре и в капсуле в разные моменты времени, °С).

Эксперименты проводятся в следующей последовательности.

1. Калориметр наполняется водой для определения скорости его теплопотерь:

$$V_{nt} = \frac{m_2 Dt_2 c_{в.}}{t}.$$

2. Для определения теплоемкости калориметра сначала в него и в капсулу заливается вода. Вода в калориметре нагревается до 95 °С, затем туда помещается капсула, температура воды в которой 25 °С. Показания термометров регистрируются через каждые две минуты. Из уравнения теплового баланса вычисляется

$$c_k = \frac{m_{3a} Dt_3 c_a + m_{3в} Dt_3 c_{в.} - V_{nt} t}{m_2 Dt_2}.$$

3. Для определения теплоемкости грунта в капсулу засыпается грунт (песок, супесь, глина) определенной массы и влажности. Затем она помещается в калориметр с водой, нагретой до 95 °С. Измеряется температура воды в калориметре и грунта через каждые две минуты. Эти данные заносятся в таблицу. Из уравнения теплового баланса находится

$$c_{гр} = \frac{m_2 Dt_2 c_k + m_a Dt_3 c_a - V_{nt} t}{m_{гр} Dt_3}$$

4. По (3) определяется температуропроводность

$$K = \frac{T(h_2 - h_1)}{c_{гр} t(t_2 - t_1)} = \frac{Q_3(h_2 - h_1)}{S_{гр} c_{гр} t(t_2 - t_1)}$$

где $S_{гр}$ – площадь поверхности грунта в капсуле, $см^2$; $(h_2 - h_1)$ – её радиус, $см$.

Зависимости теплоемкости c от влажности v определены на основе экспериментальных данных с помощью регрессионного моделирования [12]. Эти зависимости для песка, супеси и глины:

$$\begin{aligned} c_{п} &= (0,014v + 0,345); \\ c_c &= (0,016v + 0,31); \\ c_{гл} &= (0,013v + 0,27). \end{aligned} \tag{6}$$

Зависимости теплоемкости песка и глины от v , представленные на рис. 3, а и б, построены по данным [11] (кривые 1) и по (6) (прямые 2).

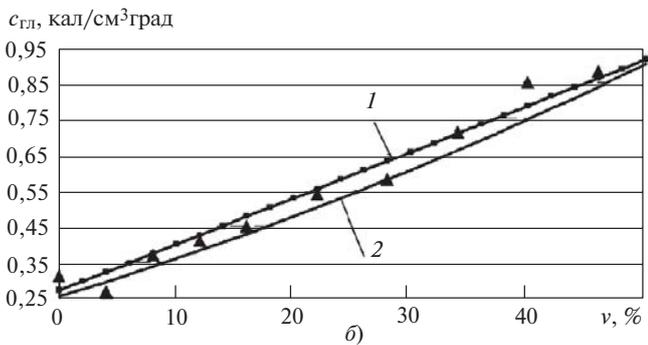
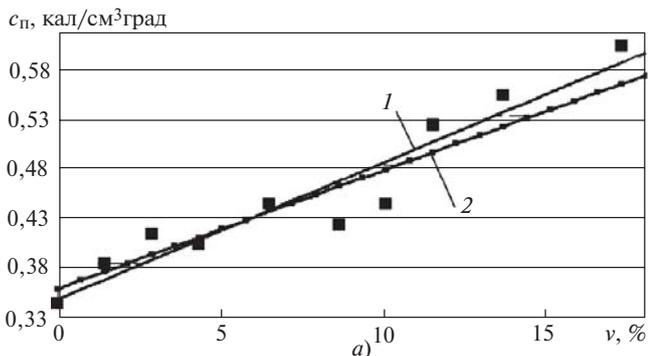


Рис. 3

Коэффициент температуропроводности K представляет особый интерес, так как он определяет распределение температуры в грунте по глубине. Коэффициент зависит от влажности грунта, но зависимость эта сложная, так как влажность грунта увеличивает не только его теплопроводность, но и теплоемкость. Зависимость K от v определяется с помощью нечеткой логики [13] и экспериментальных данных, полученных с помощью калориметра. Нечетко определяется интервал значения «влажность». Для получения общего уравнения модели-

рования температуропроводности необходим переход к относительным значениям влажности, так как каждый вид грунта имеет свой предел насыщения водой (песок 17–18%, глина до 50%). Поэтому влажность далее определяется в процентах максимальной влагоемкости. Как и в [6], используется два нечетких интервала для любого вида грунта. Первый интервал, характеризуемый понятием «сухо»: $0 \leq v < 35\%$ влажности, второй интервал – «влажно»: $65 \leq v < 100\%$ влажности, область переключения между интервалами $35 \leq v \leq 65\%$. Формулу для определения коэффициента температуропроводности запишем в соответствии с правилами, изложенными в [13]:

$$K = \sum_{i=1}^2 h_i(v) m_{Ai}(v), \tag{7}$$

Здесь $h_i(v) = b_0 + b_1 v$ (b_0 и b_1 – параметры уравнения прямой, оцениваемые по методу наименьших квадратов для каждого из интервалов отдельно).

Функции принадлежности μ_1 и μ_2 для тех же интервалов представлены на рис. 4 и имеют вид:

$$\mu_1 = \begin{cases} 1, & 0 \leq v < 35; \\ \frac{v-35}{30}, & 35 \leq v < 65; \\ 0, & v \geq 65; \end{cases} \quad \mu_2 = \begin{cases} 0, & 0 \leq v < 35; \\ 1 - \frac{v-35}{30}, & 35 \leq v < 65; \\ 1, & v \geq 65; \end{cases} \tag{8}$$

Из (7) и (8) получены следующие зависимости K для песка, супеси и глины, $(см^2/с) \cdot 10^{-3}$:

$$\begin{aligned} K_{п} &= (0,19v + 0,74) m_{A1}(v) + (-0,044v + 3,6) m_{A2}(v); \\ K_c &= (0,525v + 0,94) m_{A1}(v) + (-0,18v + 6) m_{A2}(v); \\ K_{гл} &= (0,325v + 0,1) m_{A1}(v) + (-0,325v + 16) m_{A2}(v). \end{aligned} \tag{9}$$

Зависимости $K = f(v)$ для песка и глины представлены на рис. 5, а и б, где кривые 1 построены по нашим экспериментальным данным, а кривые 2 – по (9) (в скобках показаны цифры для согласования с рис. 4).

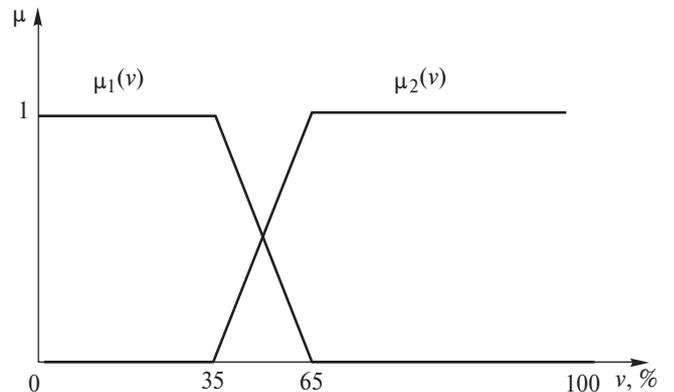


Рис. 4

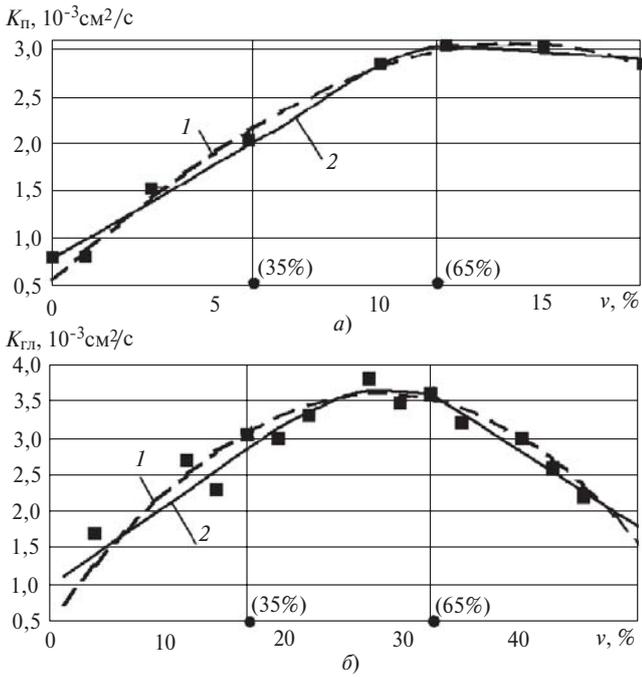


Рис. 5

Проведенные расчеты показывают, что погрешности определения температуры грунта по первому методу в сравнении со среднемесячными значениями температуры (на требуемой глубине), представляемыми метеоцентрами, составляют 4, 15%, а по второму – 2, 10%.

Примеры расчета температуры t и удельного сопротивления γ грунта для заземлителя на ТЭЦ в Павлодаре. Заземлитель находится на глубине 1 м, грунт – песок с влажностью $v=5\%$.

По первой методике вычисляем температуру на глубине 1 м. Воспользуемся данными по Павлодарской области (см. рис. 1). В июле на поверхности грунта средняя температура равна 24 °С. Годовая амплитуда температуры поверхности грунта $A_{\Pi} = 15$ °С, из (2) получаем $q = 0,716$. Амплитуда колебания температур на глубине 1 м из (1) $A_h = 10,7$ °С, тогда по (3) при $t_{\Pi} = 8$ °С температура в июле на данной глубине будет равна 17,5 °С. Удельное сопротивление грунта определяется для нечеткого интервала «влажно» по формуле [6]:

$$\gamma_{\Pi} = (6,83 \times 0,39^v m_1(v) + 1,48 \times 0,89^v m_2(v)) \cdot e^{-0,022(t-20)}, \text{ кОм}\cdot\text{м}, \quad (10)$$

где $m_{A1}(v) = e^{-c(v-d)^2} = 0$ и $m_{A2}(v) = 1 - e^{-c(v-d)^2} = 1$; $c = 0,8$ и $d = 2$ – коэффициенты, определяющие степень нечеткости и положение на числовой оси параметра, т.е. влажности [6].

Подставляя в (10) $v=5\%$ и $t=17,5$ °С, имеем $\gamma = 0,873$ кОм·м.

По второй методике замеряется температура на поверхности грунта ($h_2 = 0$) $t_2 = 24$ °С и температура на глубине $h_1 = 20$ см $t_1 = 18$ °С. Затем на той же глубине через час замеряется $t_3 = 20$ °С.

По (6) находим теплоемкость песка: $c_{\Pi} = 0,42$ кал/(см³·град), по (9) – температуропроводность при той же влажности ($m_1 = 1$ и $m_2 = 0$): $K_{\Pi} = 1,7 \times 10^{-3}$ см²/с. Определяем по (4) и (5) значения T и DT :

$$T = c_{\Pi} K_{\Pi} \frac{t_2 - t_1}{h_2 - h_1} t = 0,42 \times 1,7 \times 10^{-3} \frac{(24 - 18)}{(20 - 0)} 3600 = 0,8 \text{ кал/см}^2;$$

$$DT_{\Pi} = c_{\Pi} (h_2 - h_1)(t_2 - t_1) = 0,42(20 - 0)(24 - 20) = 33,6 \text{ кал/см}^2.$$

Из (5) можно получить искомую температуру грунта на глубине 100 см:

$$t = t_1 - (T + DT) / (c_{\Pi} h) = 18 - (0,8 + 33,6) / (0,42 \times 100) = 17 \text{ °С},$$

где $(T + DT)$ – теплота, необходимая для прогревания грунта до 1 м; при $t = 17$ °С и $v = 5\%$ по (10) находим $\gamma_{\Pi} = 0,88$ кОм·м.

Сравнение погрешностей расчетов t и γ по обеим методикам. По данным метеостанции Павлодара на глубине один метр среднемесячная температура грунта в июле равна 16,5 °С. Следовательно, в приведенном примере погрешность определения температуры на данной глубине по первой методике составляет 6%, по второй – 3%, а по удельному электрическому сопротивлению γ (0,893 кОм·м при $t = 16,5$ °С) – 2,2 и 1,5%, соответственно. Однако расчеты показали, что на глубинах более двух метров вторая методика работает хуже, чем первая. Например, на глубине 2 м по первой методике $t = 13,8$ °С, по второй – $t = 17,5$ °С, а по данным метеостанции среднемесячная $t = 13$ °С. Если не учитывать изменение температуры в глубь грунта по первой методике, принимая во внимание лишь температуру на его поверхности, то при $t = 24$ °С по формуле (10) имеем: $\gamma_{\Pi} = 0,756$ кОм·м, и разница в расчетах γ составит уже 15%.

Выводы. 1. На стадии проектирования заземлителей формулы (1) и (3) дают возможность определить температуру грунта по данным метеоцентра с погрешностью не более 15% в любое время года на глубине до 15 м в средних и до 10 м в южных широтах.

2. Разработанная методика определения теплотехнических характеристик грунта позволяет рассчитать его температуру по известным формулам

(4) и (5) с погрешностью менее 10% на глубинах до 1 м.

3. Приведенные методики позволяют рассчитывать удельное электрическое сопротивление грунта по [6], не измеряя температуру на глубине его залегания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Руководство** по защите электрических сетей 6–1150 кВ от грозных и внутренних перенапряжений. — М.: РАО «ЕЭС России», 1999.
2. **Бургдорф В.В., Якобс А.И.** Заземляющие устройства электроустановок. — М.: Энергоатомиздат, 1987.
3. **Методические** указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях. — М: МЭИ (ТУ) и НПФ ЭЛНАП, 2004.
4. **Карякин Р.Н.** Заземляющие устройства электроустановок: Справочник. — М.: ЗАО «Энергосервис», 2002.
5. **Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Яшков В.А.** Электроснабжение промышленных предприятий и установок: Учеб. для проф. учеб. заведений. — М.: Высшая школа, 2001.
6. **Зайцева Н.М., Зайцев Д.С., Клецель М.Я.** Зависимости удельного электрического сопротивления грунта от влажности и температуры — Электричество, 2008, №9.
7. **Лосев А.П., Журина Л.Л.** Агрометеорология. — М.: КолосС, 2004.
8. **Kavanaugh P.K. and Rafferty K.** Ground-source Heat Pumps — Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings. — Publishing of American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc. — Atlanta, GA (USA), 1997.
9. **Кідрук М.І.** Моделювання та оптимізація систем теплопостачання будівель з використанням відновних джерел енергії. Частина 1: Моделювання теплового режиму будинку. — Нова тема (Україна), 2007, №4.
10. **Васильев Г.П.** Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения и эффективность их применения в климатических условиях России. — АВОК (Журнал по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике), 2007, №5.

11. **Сапожникова С.А.** Микроклимат и местный климат. — Л.: ГИМИЗ, 1950.

12. **Ферстер Э.** Методы корреляционного и регрессионного анализа. Руководство для экономистов/Пер. с нем. — М.: Финансы и статистика, 1983.

13. **Попов А.А.** Регрессионное моделирование на основе четких правил. — Сборник научных трудов НГТУ. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2000, №2.

[27.09.10]

Авторы: Зайцева Наталья Михайловна окончила факультет автоматизированных систем Новосибирского электротехнического института в 1974 г. В 1998 г. защитила кандидатскую диссертацию «Исследование и разработка математических моделей оперативного управления замкнутым гидрохимическим производством» в Новосибирском государственном техническом университете. Профессор кафедры «Информатика и вычислительная техника» Инновационного евразийского университета (г. Павлодар, Казахстан).

Исабекова Бибигуль Бейсембаевна окончила факультет физики, математики и информационных технологий Павлодарского государственного университета (ПГУ) им. С. Торайгырова в 2005 г. В 2007 г. получила степень магистра по автоматизации и управлению. Преподаватель кафедры «Автоматизация и управление» ПГУ им. С. Торайгырова (г. Павлодар, Казахстан).

Клецель Марк Яковлевич окончил электромеханический факультет Карагандинского политехнического института в 1961 г. В 1998 г. защитил докторскую диссертацию «Развитие теории и реализация релейной защиты подстанции с электродвигателями» в Казахском научно-исследовательском институте энергетики. Профессор кафедры «Автоматизация и управление» ПГУ им. С. Торайгырова.

* * *

Вниманию предприятий, организаций, НИИ, вузов России и зарубежных фирм!

Журнал «Электричество» предоставляет свои страницы для

- РЕКЛАМЫ ИЗДЕЛИЙ отечественных предприятий и зарубежных фирм в области энергетики, электротехники, электроники, автоматики
- ПУБЛИКАЦИИ ОБЪЯВЛЕНИЙ о научных симпозиумах, конференциях, совещаниях, семинарах
- ДРУГОЙ ИНФОРМАЦИИ, соответствующей тематике журнала

Сообщаем, что журнал поступает к зарубежным подписчикам во многих странах мира.

Напоминаем наш адрес: 101000 Москва, Главпочтамт, а/я 648.

Тел./факс (7-495)362-7485