

# **Влияние солнечной радиации на температурный режим грунта**

**Н.Н.Руденко, И.Н.Фурсова**

Работа серийных кондиционеров основана на холодильном цикле, который обеспечивает поглощение теплоты от внутреннего, более прохладного воздуха и передачи его наружному. Эффективность холодильного цикла во многом определяется разницей температур кондиционируемого помещения и наружного воздуха. Большинство производителей кондиционеров определяют номинальную характеристику кондиционеров для температуры наружного воздуха 35 °С и температуры внутреннего воздуха — 27 °С при влажности 47%. Однако, повышение температуры наружного воздуха приводит к снижению эффективности охлаждения, причем, значительное повышение, выше 40 °С, может привести к аварийной остановке кондиционера или выхода его из строя [1]. Аварийная ситуация вызвана повышением давления в конденсаторе. Ухудшение теплообмена, например, наличие загрязнения на теплообменниках, приводит к возникновению аварийной ситуации и при более низких температурах.

В южных регионах страны нередко можно наблюдать повышение температуры воздуха близкое к критическим значениям. Как правило, такие температуры наблюдаются непродолжительный период, 2-4 часа в день. Однако, для ответственных зданий, прецизионное кондиционирование, остановка кондиционеров даже на один час может привести к пагубным последствиям, поэтому ведутся работы по поиску дополнительных источников охлаждения. К таким источникам относится и грунт. В летнее время, на глубине несколько метров поддерживаются температуры соизмеримые со среднегодовыми температурами в данной местности [2]. При установке в толще грунта трубопроводов с промежуточным теплоносителем или испарителем можно обеспечить гарантированную безотказную работу кондиционеров в жаркое время года. Существующие исследования в

неполной мере отражают влияние суточных колебаний температуры воздуха на распределение тепловой режим грунта [3,4,5].

Однако существующие исследования не позволяют прогнозировать распределение температуры в поверхностном слое грунта [6, 7].

Для описания динамики изменения температурного поля в поверхностных слоях земли рассмотрим тепловой баланс поверхности земли. Можно выделить три составляющие теплового потока: конвективный теплообмен с воздухом, солнечная радиация, тепловой поток с поверхностными слоями грунта.

Все указанные составляющие носят нестационарный характер. Конвективный тепловой поток может быть выражен через уравнение Ньютона, и зависит от перепада температур на поверхности грунта и воздуха, а также от коэффициента теплоотдачи, который зависит от подвижности воздуха. Суточное изменение температуры воздуха можно описать гармоническими колебаниями и выразить следующим уравнением:

$$t_a = t_{\text{нб}} + 7,5 \cdot \sin\left(\frac{6,28 \cdot (z - 6)}{24}\right)$$

В качестве расчетной величины средней температуры воздуха  $t_{\text{ср}}$  примем значение характерное для июля в г. Ростове-на-Дону 32 °С, при изменении от 24,5 до 39,5 °С в течение суток. В качестве граничных условий температура грунта принята в июле месяце для г. Ростова-на-Дону – 15,5 °С.

Тепловой поток от солнечной радиации хотя и носит периодический характер, но является дискретной величиной, так как солнечную радиацию можно наблюдать только в дневное время суток. Для описания закономерности изменения теплового потока солнечной радиации можно воспользоваться данными представленными в Справочнике [2]. Например, для региона г. Ростова-на-Дону поступление солнечной теплоты в июне составляет значения, представленные в таблице.

Таблица. Поступление солнечной радиации на горизонтальную поверхность.

Время до и поле полудня, ч	5/18	6/17	7/16	8/15	9/14	10/13	11/12
Солнечная радиация, Вт/м <sup>2</sup>	78,88	206,48	357,28	501,12	610,16	694,84	738,92

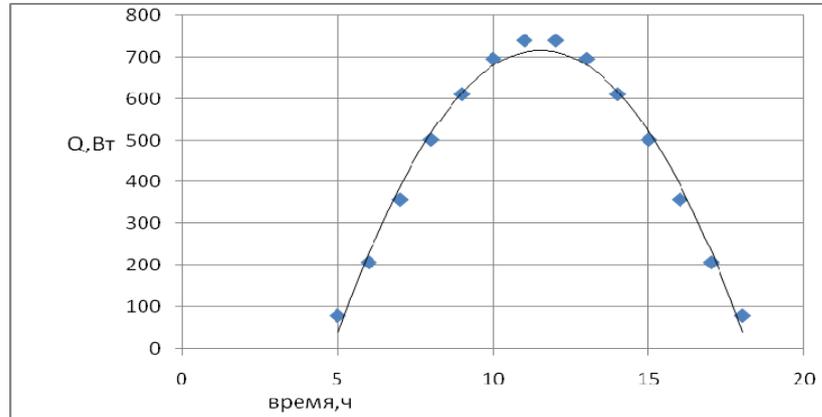


Рисунок 1. Изменение солнечной радиации в течение дня.

С использованием метода наименьших квадратов, можно выполнить аппроксимацию табличных данных и представить в виде полинома второго порядка:

$$Q_{\text{н.д.}} = -15,99 \cdot Z^2 + 367,8 \cdot Z - 1399$$

где  $Z$  — время в часах.

Причем, для данной аппроксимации среднеквадратичное отклонение составляет  $\sigma = 0,98$ , что является допустимой величиной для инженерных расчетов. В качестве граничных условий на поверхности грунта можно рассмотреть температуру поверхности грунта, которая определена из баланса теплоты поверхностного слоя с учетом солнечной радиации [8, 9]:

$$\tau_{1,z+1} = \frac{\alpha \cdot t_a + \frac{\lambda \cdot \tau_{2,z}}{\Delta x} + Q_{\text{н.д.}}}{\alpha + \frac{\lambda}{\Delta x}}$$

где  $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи от грунта у воздуху,

$\Delta x$  – толщина поверхностного слоя,

$\tau_{2,z}$  – температура грунта ниже поверхностного слоя в предыдущий расчётный интервал времени.

Распределение температур в массиве грунта определено с использованием метода конечных разностей [10]. Алгоритм расчета реализован в программе на VB. Результаты представлены в графическом виде на рис. 2. В расчетах степень черноты принята максимальная, это может соответствовать асфальтовому покрытию.

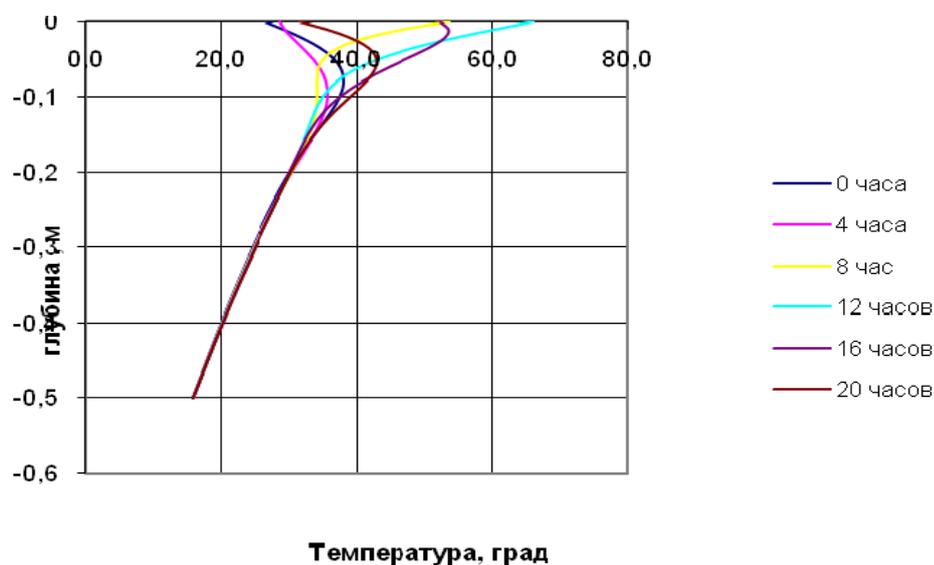


Рис.2. Распределение температурного поля в поверхностном слое земли.

На рисунке 2 изображено несколько графиков, которые отражают степень поглощения солнечной энергии поверхностью грунта. Как видно из графика, на поверхности земли температура воздуха может подниматься до 65 °С, что превышает максимальную температуру воздуха 39 °С. Разработанная математическая модель соответствует проведенным измерениям, асфальтовая поверхность в летнее время года разогревается более 60 °С.

Слой грунта обладает определенной тепловой инерцией, которая приводит к запаздыванию достижения минимальных температур в толще грунта относительно времени достижения минимальной температуры поверхности.

В условиях юга России с учетом солнечной радиации в поверхностном слое грунта, на глубине около 300 мм, происходит практически полное затухание суточных температурных колебаний.

### **Литература:**

1. Руденко Н.Н., Рыбинский В.А. Круглогодичное использование тепловых насосов. Материалы международной научно-практической конференции «Стоительство 2009», РГСУ, 2009. – 53 с.
2. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Ч. 1–6. Вып. 1–34. – СПб. : Гидрометеиздат, 1989–1998. – 247 с.
3. Руденко Н.Н., Егоров А.Д. Система кондиционирования воздуха с грунтовыми тепловыми насосами. Материалы Международной научно-практической конференции «Строительство-2006». - Ростов н/Д: РГСУ, 2007. – с. 53-54.
4. Fanger P.O. "Thermal Comfort". McGraw Hill 1970.
5. Masuch J. "Genanigkeit von Energieverbrauchsberchnung für raumluftechnische Anlagen bei reduzierter Wetterdatenmenge", HLH 33(1982) №11, Nov.
6. Кідрук М.І. Моделювання та оптимізація систем теплопостачання будівель з використанням відновних джерел енергії. Частина 1: Моделювання теплового режиму будинку. — Журнал «Нова тема», №4/2007. — с. 13–16.
7. Васильев Г. П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев Земли: Монография. Издательский дом «Граница». – М. : Красная звезда, 2006. - 205 с.
8. Руденко Н.Н. Особенности прогнозирования эффективности работы теплового насоса. [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, № 2 (часть 1). – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1129> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.
9. Руденко Н.Н., Фурсова И.Н. Моделирование температурного поля в грунте. [Электронный ресурс] // «Инженерный вестник Дона», 2013, № 2 (часть 1). – Режим доступа:

<http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1697> (доступ свободный) –

Загл. с экрана. – Яз. рус.

10. Самарский А.А., Вабишевич. Вычислительная теплопередача. М.:  
Едиториал УРСС, 2003. 784 с.