

УДК 550.360

## ПЕРЕНОС ТЕПЛА И ВЕЩЕСТВА В ГРУНТОВЫХ СРЕДАХ

**Мартынов А.А.**

*ФГБОУ ВПО Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород, Россия (603950, Н. Новгород, ул. Ильинская, 65), e-mail: [ooaxis@yandex.ru](mailto:ooaxis@yandex.ru)*

Почву по своей структуре можно рассматривать как коллоидное капиллярно-пористое тело. Ее верхний слой обычно разрыхлен и имеет комковатую структуру.

Химический состав различных почв неодинаков и определяется соотношением между органической и минеральной частями почвы. В различных почвах это соотношение изменяется: для органической части от 10 до 63% и для минеральной части от 37 до 90%.

Почвенные коллоиды могут образовываться коллоидными гумусовыми веществами, микроорганизмами, кремнекислотой, окисью железа, глиноземом (окись алюминия), тончайшим песком и глиной.

Так как почвы относятся к капиллярно-пористым телам, то передача тепла в них осуществляется с помощью теплопроводности через скелет пористого тела и внутрипорозного вещества.

Во влажных телах, к которым относится грунт, теплообмен сопровождается массообменом. Градиент температуры порождает градиент потенциала вещества, так как последний зависит от температуры.

Коэффициент теплопроводности двухкомпонентной дисперсной системы твердые частицы – воздух или твердые частицы – вода почти не зависит от температуры вследствие того, что теплопроводность воды и воздуха с повышением температуры увеличиваются незначительно.

Ключевые слова: перенос тепла и влаги, градиент температур

## HEAT AND MASS TRANSFER IN GROUNDWATER ENVIRONMENTS

**Martynov A. A.**

*Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering, Nizhny Novgorod, Russia (603950, N. Novgorod, Ilinsky street, 65), e-mail: [ooaxis@yandex.ru](mailto:ooaxis@yandex.ru)*

The soil on the structure can be regarded as colloidal capillary-porous body. Its top-tion layer is usually loosened and has a lumpy texture.

The chemical composition of different soils varies and is determined by the ratio between the organic and mineral soil. In various soils, this ratio is changed: for the organic part of 10 to 63% and the mineral portion of 37 to 90%.

Soil colloids can form colloidal humic substances mikroorganiz-Mami, silicic acid, iron oxide, alumina (aluminum oxide), the finest sand and clay.

Since the soil are capillary-porous bodies, the heat transfer in them by means of conduction through the skeleton of the porous body and vnutriporoznogo substance.

In wet bodies, which include the ground, accompanied by a heat mass exchange. The temperature gradient gives rise to the potential gradient material, since the latter depends on the temperature.

Thermal conductivity coefficient of a two-component system solid particles dispersed - air or particulate matter - water is almost independent of temperature because the thermal conductivity of air and water with increasing temperature increases slightly.

Keywords: transfer of heat and moisture, temperature gradient

При наличии тепло- и массообмена основной закон теплопроводности имеет вид

$$q = -\lambda \nabla t + Ii, \quad (1)$$

где  $q$  – плотность потока тепла;  $i$  – суммарный поток вещества;  $I$  – энтальпия вещества, переносимого внутри тела;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности влажного тела.

Формула (1) является простейшим случаем переноса вещества. В действительности перенос вещества происходит как с помощью молекулярного переноса пара, так и с помощью переноса жидкости, вызванного перепадом потенциала вещества, возникающего из-за наличия температурного градиента.

В этом случае закон теплопроводности для влажных тел можно записать следующим образом

$$q = -\lambda \nabla t - I_t k \gamma_0 \delta \nabla t - I_u k \gamma_0 \nabla u, \quad (2)$$

где  $\nabla t$  и  $\nabla u$  – градиенты температуры и удельного массосодержания.

Соотношение (2) отличается от выражения классического закона теплопроводности наличием дополнительных членов, которые учитывают перенос жидкости, вызванный градиентами температуры и массосодержания.

В общем случае выражение для потока тепла и неизменного количества поглощенного вещества в теле можно записать

$$q = -[\lambda \nabla t + (I_t - I_u) k \gamma_0 \delta] \nabla t = -\lambda_3 \nabla t, \quad (3)$$

где  $\lambda_3$  – эквивалентный коэффициент теплопроводности для влажного тела, равный

$$\lambda_3 = \lambda \left[ 1 + \frac{k \gamma_0 \delta}{\lambda} (I_t - I_u) \right]. \quad (4)$$

Таким образом, во влажных телах отношение эквивалентного коэффициента теплопроводности к истинному  $\left( \frac{\lambda_3}{\lambda} \right)$  больше единицы на величину  $K_\lambda$ . Эту безразмерную величину называют критерием теплопроводности влажных тел. Критерий теплопроводности  $K_\lambda$  равен относительному увеличению коэффициента теплопроводности влажного тела за счет переноса вещества и для случая нестационарного переноса тепла имеет вид

$$K_\lambda = \frac{\lambda_3 - \lambda}{\lambda} = \frac{Lu}{\bar{c}} \left( I_t \delta - I_u \frac{\partial u}{\partial t} \right), \quad (5)$$

где  $\bar{c}$  – приведенная удельная теплоемкость, рассчитанная на единицу массы абсолютно сухого тела:

$$\bar{c} = c_0 + c_B u;$$

$Lu$  – критерий инерционности поля потенциала вещества по отношению к полю потенциала тепла, определяется по выражению

$$Lu = \frac{k}{a}.$$

Структурное состояние верхних слоев почвы способствует образованию больших температурных градиентов на поверхности почвы. Эти градиенты вызывают перенос влаги внутрь почвы в период нагрева и конденсацию пара в период охлаждения. Структурная почва удерживает влагу во много раз лучше, чем бесструктурная почва.

Механизм переноса влаги в почве можно представить следующим образом [3]: в ночное время влажность почвы с глубиной увеличивается. При этом в течение всего периода охлаждения происходит увлажнение поверхностных слоев почвы за счет переноса влаги снизу вверх (по направлению потока теплоты).

Этот перенос влаги вызван наличием градиентов температуры и влажности, направленных в одну и ту же сторону, то есть снизу вверх. При малых влажностях он происходит в виде пара, а при больших влажностях водяной пар, диффундируя из более нагретых слоев, конденсируется, увеличивая тем самым влажность почвы. Влажность внутрипочвенного воздуха в это время равна 100%.

С восходом солнца начинается процесс испарения влаги с поверхности почвы. Внутрипочвенный воздух в поверхностных слоях становится ненасыщенным ( $\varphi < 100\%$ ). Зона испарения постепенно углубляется внутрь почвы. В зависимости от градиента температуры некоторая часть пара диффундирует внутрь почвы, а остальная часть уходит в окружающую среду. При большой влажности почвы может иметь место перенос жидкости во внутренние слои под влиянием градиента температуры [1]. Диффундируя в более холодные нижние слои, насыщенный пар конденсируется, увеличивая тем самым влажность почвы ниже зоны испарения.

Начиная с 18 часов происходит охлаждение верхних слоев почвы, перенос вещества в виде пара и жидкости происходит только в одном направлении. Зона конденсации располагается выше зоны испарения. По мере охлаждения зона конденсации постепенно увеличивается, а интенсивность испарения уменьшается. В результате этого наступает квазистационарное состояние.

Такой механизм переноса влаги подтверждается экспериментальными данными, приводимыми в [3].

В почвах и грунтах при их нагревании и охлаждении имеет место перенос вещества, как в виде пара, так и в виде жидкости. Этот перенос вызван наличием градиентов

температуры и влажности. Явление переноса в почве подчиняется основному уравнению (2).

Необходимо также учитывать, что почва является не только капиллярно-пористым, но и коллоидным телом. Поэтому в почвенных частицах коллоидного типа имеются многочисленные микрокапилляры, движение пара и воздуха в которых происходит эффузионным путем. При охлаждении этих частиц пар перемещается внутрь капилляра, в результате чего создается перенасыщение пара в микропорах, приводящее его к конденсации. В таких почвах большое значение имеет молекулярный перенос жидкости, вызванный градиентом осмотического давления.

Потери тепла каждым помещением складываются из теплопотерь через отдельные его ограждения.

$$Q = \frac{A(t_p - t_{ext})(1 + \sum \beta)n}{R} \quad (1)$$

Одним из таких ограждений являются стены и полы, соприкасающиеся с грунтом.

В некоторых случаях возможно упрощение задачи и изучение процесса теплопроводности в грунтах, не связанного с массообменными процессами. Такой подход применялся раньше во многих работах, посвященных исследованию теплового режима полов и заглубленных частей зданий [2].

#### Список литературы:

1. Кочев, А.Г. Задачи, решаемые при разработке микроклиматических условий в церквях / А.Г.Кочев // Известия вузов. Строительство. – 1999. – № 6. – С. 88-93.
2. Кочев А.Г., Москаева А.С., Кочева Е.А., Мартынов А.А. Исследование задач теплоустойчивости ограждающих конструкций православных храмов печ. //Современные наукоёмкие технологии. 2015. – №8. – С. 36-40.
3. Лыков, А.В. Явление переноса в капиллярно-пористых телах / А.В. Лыков. – М.: Гостехтеоретиздат, 1954. – 296с., ил.