

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМОВЛАГОПЕРЕНОСА В НЕНАСЫЩЕННЫХ ДИСПЕРСНЫХ ГРУНТАХ

Е.А.Федяева

В настоящее время влияние температурного поля на термовлагоперенос в грунтах зоны аэрации вызывает все больший интерес со стороны исследователей. Однако натурные работы по изучению этого процесса в грунтах даже в условиях крупных городов практически отсутствуют. Поэтому перераспределение влаги в природных дисперсных грунтах в различных термодинамических условиях среды в связи с инженерно-строительной деятельностью человека до сих пор должным образом не учитывается. Не существует и надежного способа прогнозирования изменения поля влажности в условиях непостоянства температур.

В этой связи целью данной работы является получение прогнозной оценки эффективности переноса влаги в дисперсных не полностью водонасыщенных грунтах в области невысоких положительных температур при наличии температурных градиентов.

Модель строилась на базе многочисленных экспериментов, проведенных автором с целью выявления и анализа закономерностей термовлагопереноса в дисперсных не полностью водонасыщенных грунтах песчаного и пылеватого состава [2, 3].

Так как прогнозная модель, опирающаяся на опыты, проведенные в небольшом объеме грунта в лабораторных условиях, должна правильно описывать процесс, протекающий в массиве, при получении результатов необходимо учитывать различные критерии подобия [1, 4]. В процессах, изменяющихся с течением времени t , основным критерием подобия, является критерий гомохронности Фурье (F_0) для определения масштаба времени при переносе вещества [1]:

$$F_0 = D_1 t_1 / L_1^2 = D_2 t_2 / L_2^2 = \dots = D_n t_n / L_n^2 \quad (1)$$

где t – время от начала температурного воздействия, L – характерный размер тела, $D_{1...n}$ – коэффициент влагопроводности. Для процесса термовлагопереноса можно принять, что величину критерия гомохронности будет определять коэффициент термопереноса D_T :

$$D \approx D_T \Rightarrow F_0 = D_T T_{cp} t / L^2 \quad (2)$$

где T_{cp} – величина, постоянная для всех систем с фиксированным перепадом температур на границах. Формула (2) для колонок разной длины имеет вид:

$$t_2 / t_1 = L_2^2 / L_1^2 \quad (3)$$

В результате были построены прогнозные модели для стационарного и нестационарного профилей влажности при различных заданных начальных условиях.

Предложенная прогнозная модель для получения стационарного профиля влажности при заданной начальной влажности и фиксированном перепаде температур

позволяет вычислить: время установления стационарного профиля для любого заданного расстояния; расстояние, на которое распространиться изменение влажности для любого заданного времени воздействия температурного градиента и построить профиль влажности на все требуемое расстояние для двух первых случаев по формуле:

$$W_i = W_0 + \Delta W(\chi_i - 0,5) \quad (4)$$

где ΔW – перепад влажности; W_0 – начальная влажность; χ_i – безразмерный аналог длины, вычисляемый по формуле $\chi_i = x_i/L$, $i = 0, 1, \dots, L$.

Для получения нестационарного профиля влажности была предложена модель, позволяющая прогнозировать эффективность термовлагопереноса для многих грунтов при любой исходной влажности, для любого момента времени с начала наложения температурного поля и на любом расстоянии от источника тепла. В результате проведенных исследований и расчетов алгоритм предложенной модели для построения профиля влажности для любого грунта в любой момент времени сводится к следующему:

1. Необходимые начальные сведения, включающие данные: а) о составе и состоянии грунта (влажности и плотности) в массиве; б) о параметрах термовлагопереноса для модельного грунта, сходного по характеристикам с изучаемым: о перепаде влажности между нагреваемой и охлажденной областями грунта (ΔW) для 2-3 моментов времени либо о коэффициентах влаго- D_w и термопереноса D_T и времени формирования стационарного профиля; в) о расстоянии от источника тепла и времени, для которого требуется построить профиль влажности. При этом необходимо делать пересчет времени согласно критерию подобия (3), и учитывать, что данный критерий подобия можно применять только при полном соответствии прогнозируемых условий заданным в эксперименте.

2. Определение ΔW . По имеющимся данным или по максимальному и минимальному значениям ΔW по формуле $\Delta W = - D_T \cdot \Delta T / D_w$ строится график зависимости $\Delta W = f(t)$, по которому вычисляется значение ΔW в нужный момент времени.

3. Определение коэффициента K . Принимая во внимание тип грунта и ориентируясь на графики, полученные для данного типа, вычисляются коэффициенты a и b для нужной влажности W_0 . Далее по формуле $K = at + b$, где t – "экспериментальное" время, соответствующее необходимому моменту времени (согласно критерию подобия) вычисляется коэффициент K .

4. Построение профиля влажности. Полученные (ΔW и K) и имеющиеся (W_0) данные подставляются в уравнение, по которому строится профиль влажности:

$$W_i = \Delta W \lg[K W_0 (\chi_i + 0,1(1 - \chi_i))] + W_0 \quad (5)$$

С практической точки зрения, проведенное исследование позволяет использовать предложенный алгоритм для прогноза изменения влажности грунтов с любой исходной влажностью, для любых расстояний от источника тепла и моментов времени с начала наложения температурного поля. Разработанная математическая модель термовлагопереноса в дисперсных не полностью водонасыщенных грунтах применима для прогноза динамики поля влажности в заданных краевых и начальных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Глобус А.М.* Физика неизотермического внутрпочвенного влагообмена. - Л.: Гидрометеиздат, 1983. 280 с.
2. *Королев В.А., Федяева Е.А.* Влияние фазового состава на параметры термовлагопереноса песчаных грунтов. – Инженерные изыскания, 2011. № 10 с. 38-46.
3. *Королев В.А., Федяева Е.А.* Сравнительный анализ термовлагопереноса в дисперсных грунтах разного гранулометрического состава. - Инженерная геология, 2012. № 6 с. 18-31.
4. *Лыков А.В.* Тепломассообмен. - М.: Энергия, 1978.