

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ «НАГРЕВАТЕЛЬ - ПЛОСКОЕ ТЕЛО» МЕТОДОМ ГИДРОТЕПЛОВОЙ АНАЛОГИИ

Димитрова Ж.В., Барышев В.П., Чунеева Т.Д. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

У статті розглядаються результати дослідження впливу коефіцієнту теплопровідності та інших характеристик на двовимірне температурне поле досліджуваного тіла методом гідротеплової аналогії за допомогою інтегратора 2-ИГЛ-2-10-4. Встановлені залежності між температурним полем досліджуваного плоского тіла та його теплофізичними характеристиками.

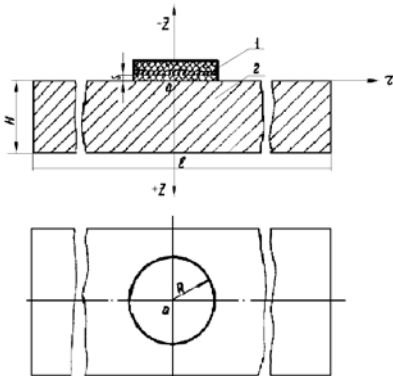


Рис. 1

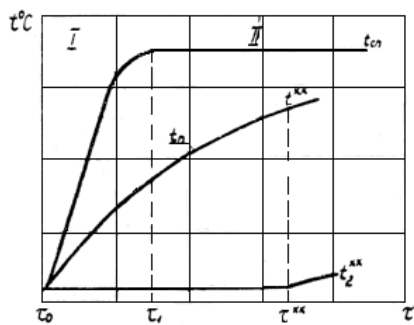


Рис. 2

В настоящее время стеновые панели и другие строительные конструкции поступают с завода на стройки без достаточной проверки их коэффициента теплопроводности. В результате стены зданий часто оказываются некондиционными по тепловому сопротивлению. Существующие методы определения теплофизических характеристик связаны со значительными затратами труда и времени либо на отбор и подготовку проб, либо на сам теплофизический эксперимент. Поэтому применяемые в настоящее время способы должны быть дополнены оперативными методами контроля теплофизических характеристик строительных изделий непосредственно на самих изделиях; это позволило бы по отклонению указанных свойств от норм судить о качестве технологии производства.

Предварительными экспериментами было установлено, что если к исследуемому объекту приложить небольшой по площади и ограниченный по мощности плоский нагреватель ($t_{ст} = \text{const}$), (рис. 1), то рост температуры на поверхности панели под нагревателем - t_n происходит так, как показано на рис.2. Источником тепла является нагреваемая электрическим током спираль, вмонтированная в металлический корпус, который своей нижней поверхностью плотно и всегда одинаково прижат к исследуемому материалу. Между спиралью и нижней частью корпуса существует слой изоляции.

Одна из основных задач исследования заключается в установлении зависимости между формирующимся двухмерным температурным полем исследуемого плоского тела и его физическими характеристиками методом гидротепловой аналогии при помощи интегратора 2-ИГЛ-2-10-4.

Гидравлический интегратор является счетно-решающим прибором, основанным на аналогии математического описания процессов ламинарного течения воды в приборе и теплопроводности. При этом существует соответствие между параметрами процесса теплопроводности и параметрами ламинарного течения воды.

Решение на гидроинтеграторе по пространственным координатам проводилось в конечных разностях, а по времени являлось непрерывным. Для постановки задачи на гидроинтеграторе исследуемое тело разбивалось на элементы – блоки. Смысл разбивки тела на блоки заключается в том, что исследуемое поле температур внутри блока заменяется средним значением температуры в центре блока. В связи с тем, что исследуемое тело рассматривалось как неограниченное в направлениях, перпендикулярных толщине, разбивка производилась плоскостями, параллельными поверхности пластины, и концентрическими цилиндрами с осью, проходящей через центр нагревателя в направлении толщины.

Вследствие симметричности всех условий однозначности: геометрических, физических, начальных, граничных моделировали половину исследуемого тела.

При разбивке исследуемого тела на блоки исходили из следующих соображений. Число блоков разбивки не должно быть слишком малым, чтобы не допускать большой ошибки при замене дифференциального уравнения уравнением в конечных разностях.

С другой стороны, количество блоков разбивки лимитируется устройством гидроинтегратора и не может превышать число групп элементов гидравлической цепи.

Разбивая тело на блоки, мы предопределяем тем самым теплоемкость блоков и термические сопротивления между ними.

Поскольку теплоемкость блоков и термические сопротивления связаны с гидравлическими сопротивлениями и площадями поперечных сечений основных сосудов, то разбивка тела на блоки накладывает определенные ограничения на гидравлические сопротивления и площади сечения сосудов.

Учитывая вышесказанное, исследуемое тело и нагреватель разбивались на 37-39 блоков. Пример разбивки на блоки приведен на рис.3. После разбивки тела на блоки подсчитывались термические сопротивления. Вдоль оси z (рис. 3) распространение тепла происходит как через тонкий слой, и термическое сопротивление между центрами блоков определяется по формуле для плоской стенки.

$$R_{z, z+1} = \frac{\delta_{z, z+1}}{\lambda \cdot f},$$

где $\delta_{z, z+1}$ – расстояние между центрами двух блоков вдоль оси z, м; f – площадь сечения блока в направлении перпендикулярном δ , м²; λ – коэффициент теплопроводности исследуемого материала.

Вдоль радиуса r (рис 3) термическое сопротивление между центрами блоков подсчитывается по формуле для цилиндрической стенки

$$R_{r, r+1} = \frac{\ln \frac{r_{z+1}}{r_z}}{2 \pi \lambda \ell},$$

где r_z ; r_{z+1} - расстояние между центрами блоков вдоль радиуса, м; ℓ - высота блока, м.

Термические сопротивления между центрами ближайших к поверхности блоков и средой имеют вид (граничные условия III рода).

$$R_{01} = \frac{1}{\alpha f_n} + \frac{\delta}{\lambda f_n}$$

где α - коэффициент теплоотдачи от поверхности исследуемого тела в окружающую среду, Вт/(м² K); f_n - площадь сечения блока ближайшего к поверхности, м².

Полная теплоемкость блока определяется следующим образом:

$$C_k = V_k \cdot C_v$$

где V_k - объем блока, м³; C_v - удельная объемная теплоемкость материала, Дж/(м³град).

Соотношения между соответствующими друг другу тепловыми и гидравлическими величинами называются масштабами. Для решения нашей задачи произвольно приняты три масштаба. В качестве типовых выбираем масштаб высот - соотношение между средней температурой t_k - в центре блока и соответствующим ей уровнем воды в пьезометре - h_k .

$$M_1 = \frac{t_n}{h_n}, \frac{\text{град}}{\text{см}}$$

Масштаб высот определяется максимальным значением температуры и высотой пьезометра, равной 50 см.

$$M_2 = \frac{R}{\rho}, \frac{\text{град} \cdot \text{см}^2}{\text{Вт} \cdot \text{ммкн}}$$

Масштаб сопротивлений устанавливается, исходя из возможности реализации полученных гидравлических сопротивлений при помощи имеющихся трубок сопротивления.

$$M_3 = \frac{c}{\omega}, \frac{\text{Дж}}{\text{град} \cdot \text{см}^2}$$

Масштаб теплоемкостей выбирается также с учетом того, что устройство основного сосуда в сочетании с вкладышами позволяет получить емкость с площадью поперечного сечения в интервале от 0,5 до 36 см² через 0,5 см².

Масштаб времени получаем $M = M_c \cdot M_r$ сек/мин.

После выбора масштабов и разбивки тела на блоки производили полный расчет гидравлических аналогов процесса теплопроводности. На основе выше рассмотренной аналогии составляем гидравлическую модель, в которой каждому выделенному блоку соответствует сосуд (емкость) с определенной площадью поперечного сечения, а каждому термическому сопротивлению - гидравлическое, в виде специальной трубки сопротивления. Схема гидромодели аналогична схеме разбиений тела на блоки, только вместо блоков - сосуды с водой, а вместо термических сопротивлений - гидравлические. После получения принципиальной схемы была составлена монтажная схема гидромодели.

Основные работы во время проведения опыта проводились в соответствии со стандартной методикой [1]. При этом в процессе опыта через определенные промежутки времени непрерывно замерялось распределение уровней жидкости во всех 37-39 узлах модели, которые моделируют температуру в центре каждого блока. Последнее позволяет судить о температурном поле всего исследуемого тела. Уровни жидкости в блоках 1-2 (нагреватель) поддерживались постоянными, т.к. температура спирали нагревателя по условию опыта была неизменной. Рост температуры в первое, относительно короткое, время происходит быстро, хотя темп его непрерывно уменьшается. По прошествии некоторого периода времени темп становится настолько малым, что температура поверхности (t_n) не отличается от своего асимптотического значения t^x (рис.2).

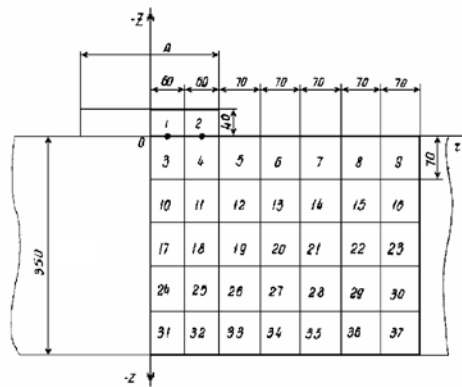


Рис. 3

Результаты гидротеплового моделирования по исследованию изменения температуры поверхности тела во времени представлены на рис 3.

На гидроинтеграторе были получены типичные картины распределения температуры в теле при различных вариантах нагрева.

Проверка установленной зависимости между температурой поверхности исследуемого материала и его теплофизическими свойствами методом гидротепловой аналогии была проведена аналитическим путем.

Заключение. Сравнение данных, полученных методом гидротепловой аналогии и путем теоретического решения дает совпадение в пределах 13%.

Summary

The research results of influencing of heat conductivity coefficient and other characteristics on the two-dimensional temperature field of the explored body are considered in this work. Dependence between the temperature field of the explored flat field and its thermophysical descriptions is determined.

1. Лукьянов В.С. Гидравлические приборы для технических расчетов, изв. АН СССР, отдел технич. наук № 2, 1939 г.;
- Технические расчеты на гидравлических приборах, Лукьянова, М., 1937 г.
2. Лукьянов В.С. Расчет физических полей методами моделирования, М., 1968 г.
3. Миснар А. Теплопроводность твердых тел, жидкостей, газов и их композиций, М., 1978 г.
4. Осипова В. А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена, М., Л, 1984 г.
5. Дмитриевич А. Л. Определение теплофизических свойств строительных материалов, М., 1983 г.