

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ НАГРЕВАТЕЛЬ – ПЛОСКОЕ ТЕЛО МЕТОДОМ ГИДРОТЕПЛОВОЙ АНАЛОГИИ

Димитрова Ж.В., Попов О.А. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

В работе рассматриваются результаты исследования влияния теплофизических характеристик на двухмерное температурное поле методом гидротепловой аналогии при помощи интегратора 2-ИГЛ-2-10-4. Установлены зависимости между температурным полем исследуемого плоского тела и его теплофизическими характеристиками.

В настоящее время стеновые панели и другие строительные конструкции поступают с завода на стройки без 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 [1, 2], поэтому применяемые в настоящее время способы должны быть наполнены оперативными методами контроля теплофизических характеристик строительных изделий непосредственно на самих изделиях; это позволило бы по отклонению указанных свойств судить о качестве технологий производства.

Предварительными экспериментами было установлено, что если к исследуемому объекту приложить небольшой по площади и ограниченный по мощности плоский нагреватель, то рост температуры на поверхности панели под нагревателем происходит так как показано в [3]. 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.

ОСНОВЫ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Положительные особенности метода гидравлических аналогий при сравнении с методами электрических аналогий и применением ЭВМ заключается прежде всего в наглядности процесса расчета, в простоте и доступности программирования для постановки одно и трехмерных нестационарных задач на гидравлическом интеграторе при достаточно высокой точности (погрешность – 2-3%) Гидравлический интегратор является счетно решающим прибором, основанном на аналогии математического описания процессов ламинарного течения воды в приборе, и теплопроводности.

При этом отсутствует соответствие между параметрами процесса теплопроводности и параметрами ламинарного течения воды (Табл.)

Таблица. Параметры теплопроводности и ламинарного течения воды

№ №	Процесс теплопроводности			Гидравлический процесс		
	Наименование величин	Обозначение	Размерность	Наименование величин	Обозначение	Размерность
1	Температура	t	/C/	Уровень жидкости	h	см
2	Температурный напор	Δt	°C	Гидравлический напор	Δh	см
3	Тепловой поток	Q	Вт	Расход воды	G	см ³ /мин
4	Полная теплоемкость блока	C	Дж/град	Площадь поперечного сечения сосуда	w	см ²
5	Время протекания теплового процесса	τ_1	час	Время протекания гидравлического процесса	τ_2	мин
6	Термическое сопротивление	R	$\frac{m^2 \times \text{град}}{Вт}$	Гидравлическое сопротивление	ρ	мин/см ²

Решение на гидроинтеграторе по пространственным координатам проводилось в конечных разностях, а по времени являлось непрерывным. Для постановки задачи на приборе, 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 разностей. С другой стороны, количество блоков разбивки лимитируется устройством гидроинтегратора и не может превышать число групп элементов гидравлической цепи.

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

Поскольку теплоемкость блоков и термическое сопротивление 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 разбиваются на 37-39 блоков.

После разбивки тела на блоки подсчитывались термические сопротивления. Вдоль оси Z распространение тепла происходит как через тонкий слой, и термическое сопротивление между центрами блоков определяется по формуле для плоской стенки.

$$R_{k, k+1} = \delta_{k, k+1} / (\lambda \times f)$$

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

Вдоль радиуса k термическое сопротивление между центрами блоков подсчитывается по формуле для цилиндрической стенки

$$R_{k, k+1} = (\ln [r_{k-1}/r_k]) / 2 \pi \lambda l$$

где: r_{k-1}, r_k – 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).

$$R_{01} = 1/\alpha f_k + \delta/\lambda f_k$$

где: α – коэффициент теплоотдачи от поверхности исследуемого тела в окружающую среду, Вт/м²×К;

f_k – площадь сечения блока ближайшего к поверхности, м²

Полная теплоемкость блока определяется следующим образом:

$$C_k = V_k \times C_v, \text{ Дж/град,}$$

где: V_k – объем блока, м³;

C_v – удельная теплоемкость материала, Дж/м³×град

ВЫБОР МАСШТАБОВ

Соотношения между соответствующими друг другу тепловыми и гидравлическими величинами называются масштабными. Для решения нашей задачи произвольно приняты три масштаба. В качестве типовых выбираем масштаб высот $M_t = t_k/h_k$, град/см. – соотношение между средней температурой t_k – в центре блока и соответствующим ей уровнем воды в пьезометре - h_k .

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

Масштаб сопротивлений $M_R = R/\rho$ (град×см²)/(Вт×мин.) – соотношение между термическим и гидравлическим сопротивлениями, устанавливается исходя из возможности реализации полученных гидравлических сопротивлений при помощи имеющихся трубок сопротивления.

Масштаб теплоемкостей $M_C = C/W$ Дж/(град ×см²) 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 $M_t = M_C \times M_R$ сек/мин.

Необходимо M_C и M_R выбирать таким образом, чтобы масштаб времени не был большим с тем, чтобы решения не занимали слишком много времени, но при этом позволяло выявить все детали исследуемого процесса.

После выбора масштабов и разбиения тела на блоки производят полный расчет гидравлических аналогов процесса теплопроводности. На основе рассмотренной выше 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 разбиения тела на блоки, только вместо блоков – сосуды с водой, а вместо термических сопротивлений – гидравлические. После получения принципиальной схемы составляется монтажная схема гидромодели.

ПОРЯДОК РАБОТЫ С ГИДРОИНТЕГРАТОРОМ

После окончания монтажа схемы, интегратор заполняется дистиллированной водой и вся сборка подвергается многократной промывки со сменой воды. Для предотвращения так называемого «цветения» в дистилат добавляется вода, содержащая ионы серебра. Далее устраняются все течи, изгоняются из системы пузырьки воздуха и на трубках сопротивления выставляются расчетные значения сопротивлений. Затем устанавливаются необходимые граничные условия, для чего подвижные переливные сосуды постоянного уровня помещаются на соответствующую высоту. На этом подготовка интегратора к работе оканчивается.

В процессе опыта через определенные промежутки времени непрерывно замеряется 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) поддерживаются постоянными, т.к. температура спирали нагревателя по условию 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 .

На гидроинтеграторе возможно получение типичных картин распределения температуры в телепри различных вариантах нагрева. Температурное поле строится для двух и более ярусов вдоль радиуса в различное время. Анализируя полученные данным методом графики, видно, что распределение температуры в пластине имеет вид симметричной кривой с «плато» максимумом на оси «Z». Для каждого последующего момента времени будет своя кривая, резко убывающая к свободной от нагревателя поверхности плиты до температуры, равной температуре окружающей среды. Величина «плато» максимума определяется, в основном, термическими сопротивлениями нагревателя и тела. Увеличение термического сопротивления плиты приводит к увеличению «плато» максимума температуры, т.е. участки тела под нагревателем нагреваются сильнее относительно других его частей.

При сравнении данных полученных методом гидротепловой аналогии и путем теоретического решения дает совпадение в пределах 13%

Осипова В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. – М., Стройиздат, 1984.

Дмитрович А.Д. Определение теплофизических свойств строительных материалов –М., Стройиздат, 1983.

Димитрова Ж.В., Попов О.А. Исследование скорости нагрева бетона методом гидравлических аналогий // Материалы к семинару «Моделирование и оптимизация в материаловедении». – МОК '43. – Одесса: Астропринт. – 2004. – С. 147.