

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

Кафедра общей и технической физики

ФИЗИКА

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

Методические указания к выполнению расчетно-графического задания для студентов специальности 08.05.01 и бакалавриата направления 21.03.01

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2016

1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из подходов к формированию необходимых для будущих выпускников компетенций у студентов, обучающихся по дисциплине «Физика» и «Строительная физика» является использование традиционных фондов оценочных средств, к которым относятся расчётно-графические работы, разрабатываемые кафедрами по соответствующим дисциплинам. Как оценочное средство расчётно-графические работы позволяют оценить знания, умения и уровень приобретенных компетенций.

Выполнение студентами расчётно-графической работы (РГР) способствует наиболее глубокому изучению соответствующего раздела курса строительной физики. Лучшей оценкой степени освоения материала учебной программы является умение студента использовать приобретённые теоретические знания при решении конкретных задач.

Уровень подготовки будущего специалиста зависит от способности студента выполнять самостоятельно задания различного уровня.

При выполнении РГР студенты получают знания по строительной физике в процессе самостоятельной творческой работы, сочетая изучение физики с прикладными возможностями математики и информатики.

При этом формируется умение определить, описать и объяснить физические понятия, явления, процессы и величины.

В соответствии с требованиями программы курса студенты приобретают навыки:

- проводить самостоятельный поиск необходимой информации с использованием различных источников (учебных, справочных и научно-популярных изданий, ресурсов интернета);
- применять математический аппарат для аналитического решения физических задач;
- анализировать, выполнять сравнительную оценку и делать выводы по результатам работы;

– использовать в решениях и представлении результатов (в виде рисунков, схем, таблиц и графиков) основные программные средства.

2. ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ ОТЧЁТА И РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

При выполнении расчётно-графических работ (РГР) необходимо оформить отчёт в печатном виде на листах формата А4 следующего содержания.

1. Титул в соответствии с требованиями Горного университета.

2. Формулировка задания в соответствии со своим вариантом.

3. Теоретические основы работы.

В краткое содержание теоретической части работы необходимо включить:

- явления или процессы, изучаемые в РГР;
- определения основных физических понятий, объектов, процессов и величин, касающихся данной работы;
- законы и соотношения, описывающие изучаемые процессы (пронумеровать);
- пояснения к физическим величинам, входящим в формулы, и единицы их измерения.

4. Решение задач расчётно-графической работы.

При решении задач необходимо:

- выполнить рисунок или начертить схему;
- сопровождать используемые при решении законы, уравнения и соотношения, пояснениями, мотивирующими решение, а также ссылкой на формулы теоретической части работы;
- представить результат в общем виде, т.е. преобразовать выражение для определяемой величины так, чтобы в него входили лишь буквенные обозначения величин, заданных в формулировке задания, или введенных самостоятельно, а также необходимые физические константы;

- проверить размерность величин, полученных в результате решения, т.е. убедиться в правильности размерности искомой величины, подставив обозначения единиц измерения в окончательную формулу;

- выполнить необходимые вычисления и представить результат в Международной системе единиц;

- сформулировать полный ответ в соответствии с вопросами задания.

5. Графический материал.

При построении графиков, указанных в задании следует:

- представить таблицы с данными для построения графиков;
- указать аналитическое выражение функциональной зависимости, которую необходимо построить;

- указать на осях координат физические величины и единицы их измерения;

6. Анализ и выводы по результатам работы.

3. РЕКОМЕНДАЦИИ К ЗАЩИТЕ ОТЧЕТА ПО РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЕ

К защите допускаются студенты, подготовившие отчет в соответствии с требованиями кафедры ОТФ к содержанию отчёта и решению задач РГР и сдавшие его на проверку в установленные сроки. После проверки преподавателем содержания отчёта, при наличии ошибок и недочетов, работа возвращается студенту на доработку. При соблюдении всех требований к оформлению отчёта, правильном выполнении работы и решении соответствующих задач студенту назначается аудиторная защита.

Для успешной защиты отчета необходимо изучить теоретический материал по теме работы, а так же освоить математический аппарат, необходимый для решения задач РГР. При подготовке к защите, помимо данного методического указания, необходимо использовать учебники и другие учебные пособия, рекомендованные министерством образования и науки к использованию в учебном процессе. Во время защиты студент должен уметь ответить на во-

просы преподавателя в полном объеме теоретического и методического содержания данного РГР, уметь самостоятельно вывести необходимые расчётные формулы, выполнить анализ полученных зависимостей и прокомментировать полученные результаты.

4. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

В настоящее время термогидродинамические расчеты входят составной частью практически во все конструкторские и технологические разработки.

Эффективность тепловых методов добычи полезных ископаемых, а также процессов энергоснабжения жилых и производственных зданий и сооружений, в целом зависит от отношения количества полезно используемой теплоты к количеству первоначально затраченной на её выработку. Поэтому необходимо знать величину тепловых потерь в наземных коммуникациях и в скважинах.

Потери теплоты происходят в стволе скважины в результате теплообмена между нагнетательным агентом и окружающую скважину горными породами. При малых расходах нагнетаемого агента и больших глубинах они достигают значительных величин.

Так же в широких пределах (в зависимости от температуры наружного воздуха, интенсивности солнечной радиации и времени суток) колеблется температурный режим газопроводов при наземном и подземном способах их прокладки. Например, температурный режим работы газопровода в районах Севера изменяется в пределах от минус 55°C до плюс 42°C .

Одной из задач промышленного электрообогрева и электроотопления является расчет режимов остывания и разогрева рабочей жидкости в трубопроводе.

Передача тепла от внешних поверхностей труб и трубопроводного оборудования, находящихся в жилых зданиях, производственных цехах и т. д. является функцией температурного перепада и условий теплопередачи в окружающую среду.

Во всех этих и многих других случаях теплообмена важной инженерной задачей является оценка количества тепла переданного

через плоскую или цилиндрическую поверхность в окружающую среду и определение коэффициента теплопередачи, характеризующего интенсивность этого процесса.

Тепловые потери находятся в прямой зависимости от теплофизических свойств горных пород (или другой окружающей трубопровод среды), условий теплообмена, разности температур между теплоносителем и окружающей средой.

Процесс теплообмена характеризуется большим числом определяющих параметров. Найти связи между таким количеством переменных чрезвычайно трудно.

В действительности влияние отдельных факторов, представленных различными величинами, проявляется не порознь, а совместно. Поэтому принято рассматривать не отдельные величины, а их безразмерные комплексы, которые называют обобщённые переменные числа или критерии подобия и использовать простые критерияльные соотношения, вытекающие из теории физического подобия. Они устанавливаются на основе анализа дифференциальных уравнений и граничных условий в математической постановке задачи [1,2].

При исследовании теплопередачи через цилиндрическую поверхность, в наиболее простом частном случае стационарного теплообмена, безразмерные переменные, определяющие этот процесс следующие:

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda_{ж}}, Re = \frac{u \cdot d}{\nu}, Pr = \frac{\nu}{a}, Bi = \frac{\alpha \cdot R}{\lambda_{т}}.$$

Критерии и числа: Nu – число Нуссельта, Re – критерий Рейнольдса, Pr – критерий Прандтля, Bi – критерий Био.

Условные обозначения:

d и R – диаметр и радиус трубы, $[d]=м$, $[R]=м$;

u – модуль средней скорости движения теплоносителя в трубе (скважине), $[u]=м/с$;

$\lambda_{ж}$, $\lambda_{т}$ – коэффициенты теплопроводности жидкой и твёрдой фазы

соответственно, $[\lambda] = \frac{Дж}{м \cdot с \cdot К} = \frac{Вт}{м \cdot К}$;

α, a – коэффициенты теплоотдачи и температуропроводности соответственно, $[\alpha] = \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$, $[a] = \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$;

ν – коэффициент кинематической вязкости, $[\nu] = \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$.

При таком подходе количество определяющих параметров значительно уменьшается.

Существует большое количество различных зависимостей, определяющих теплоотдачу к теплоносителю от теплоносителя [1-3]. Их выбор определяется формой канала, режимами течения, теплофизическими свойствами теплоносителя, стабилизацией потока и другими менее существенными факторами.

В зависимости от скорости течения теплоносителя в трубе различают режимы течения: ламинарный, турбулентный и переходный.

Для каждого режима течения используются соответствующие зависимости.

Для цилиндрического канала переход ламинарной формы течения в турбулентную происходит при значении критического числа Рейнольдса $Re_{кр} = 2300$.

Отсюда следует:

при $Re > Re_{кр}$ режим течения теплоносителя по трубопроводу турбулентный;

при $Re_{кр} > Re$ режим течения – ламинарный.

Тепловой поток, определяется теплопередачей через слой сопротивления по формулам:

- для плоской стенки

$$q = k_T (T_{01} - T_{02}),$$

- для цилиндрической стенки

$$q^* = 2\pi k_T (T_{01} - T_{02})$$

где q^* – тепловой поток отнесённый к единице длины цилиндра (например, трубы в многослойной цилиндрической изоляции); k_T – коэффициент теплопередачи; T_{01}, T_{02} – характерные температуры сред омывающих поверхности.

При этом коэффициент теплопередачи на единицу длины трубопровода в многослойной цилиндрической изоляции k_T вычисляется следующим образом [1]:

- для плоской стенки

$$k_T = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1}$$

Температура на внешних слоях стенки

$$T_{cm1} = T_{01} - \frac{q}{\alpha_1}, \quad T_{cm2} = T_{02} + \frac{q}{\alpha_2}.$$

Температура на стыке m -го и $(m+1)$ -го слоев

$$T_{cm(m+1)} = T_{01} - q \left(\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^m \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right)$$

- для цилиндрической стенки

$$k_T = \left[\frac{1}{\alpha_1 R_1} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \left(\frac{R_{i+1}}{R_i} \right) + \frac{1}{\alpha_2 R_{n+1}} \right]^{-1}$$

Температура на внешних слоях стенки

$$T_{cm1} = T_{01} - \frac{q^*}{2\pi\alpha_1 R_1}, \quad T_{cm2} = T_{02} + \frac{q^*}{2\pi\alpha_2 R_{n+1}}.$$

Температура на стыке m -го и $(m+1)$ -го слоев

$$T_{cm(m+1)} = T_{01} - \frac{q^*}{2\pi} \left[\frac{1}{\alpha_1 R_1} + \sum_{i=1}^m \frac{1}{\lambda_i} \ln \left(\frac{R_{i+1}}{R_i} \right) \right]$$

где λ_i , R_i – коэффициент теплопроводности и радиус i -го слоя материала трубы и изоляции (асбеста, минеральной ваты и т.д.); R_1 , R_{n+1} – внутренние и внешние радиусы трубы (цилиндрического канала) соответствующих материалов, $[R]=\text{м}$.

В случае теплообмена на внутренней поверхности при течении жидкости в канале круглого сечения, достаточно большой протяжённости (длина участка тепловой стабилизации много меньше, чем длина участка теплообмена трубопровода) и постоянной температуре стенки трубы, предельное значение числа Нуссельта $Nu=3,66$ [2].

В случае теплообмена с внутренней поверхностью при турбулентном режиме течения, в диапазоне параметров данной работы, для практических расчётов теплоотдачи можно использовать зависимость Нуссельта–Крауссольтда [1]:

$$Nu = 0.023 \cdot Pr^{0.4} \cdot Re^{0.8}, \quad \text{при } 0,5 < Pr < 5.$$

Число Нуссельта Nu и критерий Рейнольдса Re рассчитываются по внутреннему диаметру трубопровода.

Коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности определяется по формуле:

$$\alpha_1 = \frac{N \cdot u \cdot \lambda_{ж}}{d_1}.$$

При внешнем обтекании цилиндрического канала со скоростью u , коэффициент теплоотдачи от поверхности трубы в окружающую среду определяется по формуле [ОНТП 51-1-85]

$$\alpha_2 = B_1 + B_2 \cdot \frac{u^{0.6}}{d_2^{0.4}},$$

где u – скорость воздуха.

Значения коэффициентов B_1 , B_2 в международной системе единиц (СИ): $B_1 = 4,45$; $B_2 = 5,0$

$$\text{при } [u] = \text{м/с}, \quad [\alpha_n] = \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Принимая худшие условия, скорость воздуха $u=0$, тогда

$$\alpha_2 = 4,45 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Если принять, что имеет место циркуляция воздуха со скоростью $u = 0,5 \text{ м/с}$, то $\alpha_2 = 9,65 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$.

В этом случае общий коэффициент теплопередачи k_T увеличится. При этом условия теплообмена теплоносителя с окружающей средой только улучшатся, по сравнению с расчётом при $u = 0$.

Передача тепла через ограждения

На ограждение, постоянно подвергающееся различным климатическим воздействиям, с одной стороны действует темпера-

тура наружного воздуха, с другой стороны – температура внутреннего воздуха. Из-за отсутствия теплового равновесия внутри конструкции происходит перемещение тепла из более нагретой среды через ограждение в менее нагретую среду, в результате чего изменяется температура в толще конструкций (рисунок 1). Этот процесс называют *теплопередача*.

Для твердых строительных материалов, имеющих капиллярно-пористую структуру, основным видом теплопередачи является *теплопроводность*, т.е. перенос тепла от более нагретых к менее нагретым.

Интенсивность теплопередачи посредством теплопроводности характеризуется *тепловым потоком* Q . При рассмотрении процесса перехода тепла через однородное ограждение от внутреннего воздуха к наружному следует различать три этапа: тепловосприятие — теплопроницание через ограждение — теплоотдача.

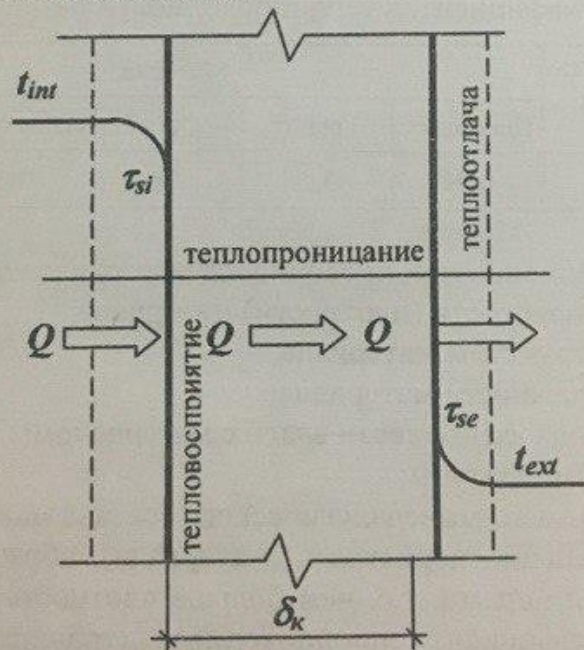


Рисунок 1 — Процесс теплопередачи

Количество тепла, проходящее через конструкцию, может быть определено на основании закона Фурье

$$Q = (\tau_{si} - \tau_{se}) \cdot \frac{\lambda}{\delta} \cdot F \cdot z$$

где τ_{si} и τ_{se} – температура внутренней и наружной поверхности ограждения, К; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м·К); δ – толщина ограждения, м; F – площадь ограждения, м²; z – время передачи тепла, час.

Если толщину ограждения, площадь, время теплопередачи и разность температур принять равными единице, то $\lambda = Q$. Таким образом, коэффициент теплопроводности – это количество тепла, которое проходит за единицу времени, через единичную поверхность, при градиенте температуры равном единице.

Коэффициент теплопроводности – одна из основных характеристик строительных материалов. В таблице 1 для сравнения приведены коэффициенты теплопроводности различных материалов.

Таблица 1

Сравнение коэффициентов теплопроводности материалов

Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Материал				
	Пенопласт	Гранит	Сталь	Алюминий	Медь
λ	0,04	3,5	58	220	383

Коэффициент теплопроводности материалов зависит от:

- пористости (плотности) материала;
- структуры материала;
- влажности материала;
- вида взаимосвязи влаги с материалом;
- температуры;
- химико-минералогического состава материала.

Чем меньше пористость материала, образуемая относительно мелкими порами, т.е. чем больше плотность материала, тем больше его коэффициент теплопроводности (таблица 2).

Вода обладает высоким коэффициентом теплопроводности $\lambda=0,5$ Вт/(м·°С), поэтому увлажнение материалов и тем более образование в них льда ($\lambda=2$ Вт/(м·°С)) увеличивает теплопроводность.

Таблица 2

Теплопроводность кирпича различной плотности

Плотность, кг/м ³	1200	1800
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	0,4	0,6

В металлах значительная часть тепла переносится потоком электронов. Чем выше электропроводность металла, тем больше его теплопроводность (медь, алюминий). Теплопроводность камневидных материалов вызвана волнами тепловых упругих колебаний структуры. Чем тяжелее атомы или атомные группы, образующие кристаллы в структуре материала, и чем слабее они между собой связаны, тем меньше теплопроводность материала.

Расчетные величины теплофизических показателей основных строительных материалов приведены в строительных нормах и правилах.

Теплотехнический расчет ограждающих конструкций при установившемся потоке

Основная цель теплотехнического расчета конструкций — придание ограждениям необходимых теплозащитных качеств, показателем которых является термическое сопротивление R .

Термическое сопротивление однородного слоя зависит от его толщины и коэффициента теплопроводности материала и может быть определено по формуле

$$R = \frac{\delta}{\lambda}$$

Численно термическое сопротивление равно разности температур на противоположных поверхностях ограждения, при которой через каждый 1 м² ограждения в течение 1 ч проходит тепловой поток, равный 1 ккал.

При проходе теплового потока через ограждение падение температуры происходит не только в материале, но и у поверхностей ограждения (рисунок 2). При этом общий температурный перепад $t_{int} - t_{ext}$ складывается из трех частных перепадов:

$t_{int} - \tau_{si}$ — у внутренней поверхности ограждения;

$\tau_{si} - \tau_{se}$ – в толще ограждения;

$\tau_{se} - t_{ext}$ – у наружной поверхности ограждения.

Такое падение температуры свидетельствует о наличии дополнительных термических сопротивлений переходу тепла от внутреннего воздуха к внутренней поверхности ограждения и от наружной поверхности ограждения к наружному воздуху. Это сопротивление теплоотдаче обозначается R_{int} и R_{ext} , $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

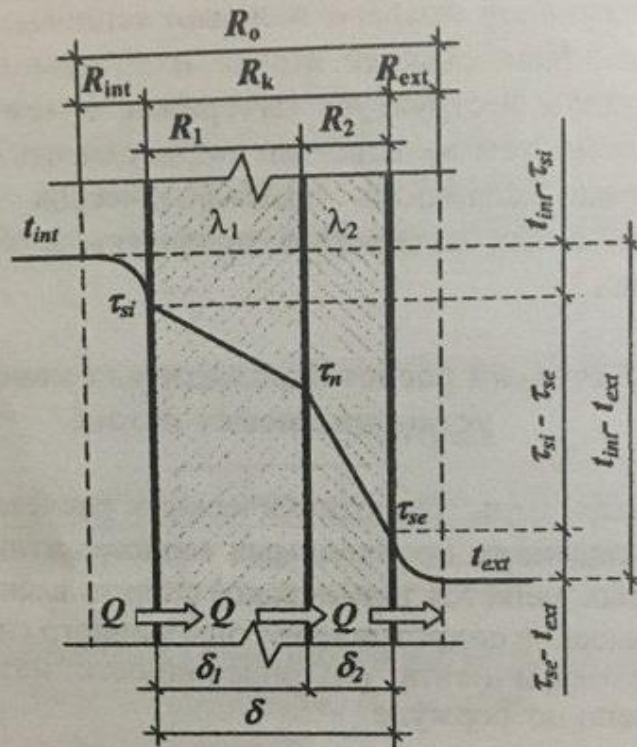


Рисунок 2 – Теплопередача при установившемся режиме

В расчетах используют обратные величины:

$$R_{int} = \frac{1}{\alpha_{int}}; R_{ext} = \frac{1}{\alpha_{ext}}$$

α_{int} – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций (или коэффициент тепловосприятя), $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$;
 α_{ext} – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающих конструкций, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$.

Общие величины сопротивления теплопередаче ограждения однослойного:

$$R_o = \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{ext}}$$

многослойного:

$$R_o = \frac{1}{\alpha_{int}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{ext}},$$

здесь $R_o = \frac{1}{k_T}$.

Расчет толщины ограждения

На основе закономерности теплопередаче при установившемся режиме плотность теплового потока Q , Вт/м², т.е. поток тепла проходящий за 1 секунду через 1 м² ограждения, определяют по формуле

$$Q = (t_{int} - t_{ext}) / R_o .$$

Плотность теплового потока проходящего через внутреннюю поверхность ограждения, определяют по формуле

$$Q = (t_{int} - \tau_{si}) / R_{int} .$$

Левые части этих уравнений равны, т.к. тепловой поток при установившемся потоке одинаков в любом сечении ограждения.

Поэтому

$$\frac{(t_{int} - t_{ext})}{R_o} = \frac{(t_{int} - \tau_{si})}{R_{int}} \Rightarrow R_o = \frac{(t_{int} - t_{ext}) \cdot R_{int}}{(t_{int} - \tau_{si})} .$$

Основным нормируемым показателем принят температурный перепад $(t_{int} - \tau_{si}) = \Delta t_o$. Нормируемый температурный перепад Δt_o между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждения зависит от назначения здания и вида ограждения, имеет большое санитарно-гигиеническое значение. Температурный перепад устанавливают во избежание появления конденсата водяных паров на поверхности ограждения, а также излишнего охлаждения тела человека. Человек в жилом помещении

чувствует себя комфортно, с точки зрения температуры, в том случае, если температура внутренней поверхности стен зимой не более, чем на 3 °С ниже, а летом не более, чем на 3 °С выше температуры воздуха в помещении. Для стен t_n допускается большим, чем для потолков и полов, в противном случае возникают токи холодного воздуха вниз. Значительные перепады температур понижают комфортность помещений.

Теплообмен через ограждения, не соприкасающиеся непосредственно с наружным воздухом (например, чердачные перекрытия, перекрытия над холодными подвалами), отличается от условий теплообмена с наружным воздухом. Поэтому введен поправочный безразмерный коэффициент n , зависящий от положения наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху.

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции R_0 должно быть больше или равно величине, при которой ограждение будет удовлетворять теплотехническим требованиям, называемой приведенным сопротивлением теплопередаче R_{req} .

Для проектирования ограждающих конструкций строительными нормами установлено минимальное или требуемое сопротивление теплопередаче R_{req} .

Требуемые значения R_{req} определяют исходя из санитарно-гигиенических и комфортных условий по формуле и условий энергосбережения.

Требуемое сопротивление:

$$R_{req} = \frac{n \cdot (t_{int} - t_{ext})}{\Delta t_n \cdot \alpha_{int}}$$

где n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху;

t_{int} – расчетная температура внутреннего воздуха, °С;

t_{ext} – расчетная температура зимнего наружного воздуха, °С, равная средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92;

Δt_n – нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции;

α_{int} – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций.

Для определения R_{req} из условий энергосбережения введена величина D_d (градусо-сутки отопительного периода), определяемая по формуле

$$D_d = z_{ht} \cdot (t_{int} - t_{ext})$$

где t_{ht} – средняя температура, °С, периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной 8 °С;

z_{ht} – продолжительность, сут., периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной 8 °С.

В строительных нормах приведены минимальные сопротивления теплопередаче ограждений в зависимости от назначения зданий и помещений и района строительства, учитываемого градусо-сутками отопительного периода.

При расчетах влажностного режима ограждений, определении возможности образования конденсата требуется знать распределение температуры в толще конструкции. Формулы для определения температуры на внутренней и наружной поверхностях ограждения

$$\tau_{si} = \frac{t_{int} - (t_{int} - t_{ext}) \cdot R_{int}}{R_o}, \quad \tau_{se} = \frac{t_{int} - (t_{int} - t_{ext}) \cdot (R_{int} + R_k)}{R_o}$$

Температуру на внутренней поверхности любого слоя многослойного ограждения, считая от внутренней поверхности, определяют по формуле

$$\tau_{se} = \frac{t_{int} - (t_{int} - t_{ext}) \cdot (R_{int} + \sum R_i)}{R_o}$$

где R_i – сопротивление теплопередаче слоев ограждения, расположенных между внутренней поверхностью и расчетной плоскостью в толще ограждения (см. рисунок 2).

5. ЗАДАНИЯ

Расчётно-графическая работа 1

Тема: теплопередача через цилиндрическую стенку

1. Определить по справочнику физические свойства теплоносителя, окружающей среды, материалов и изоляции (в соответствии с вариантом задания), необходимые для теплотехнических расчётов.
2. Выполнить оценку критериев и чисел подобия для определения условий теплообмена и определить режима течения газа (жидкости).
3. Выполнить расчет коэффициента теплопередачи.
4. Определить теплотери с поверхности трубопровода в окружающую среду.
5. Построить график зависимости k_T от толщины изоляции (в соответствии с вариантом) или для турбулентного режима течения жидкости k_T от скорости течения жидкости.
6. Построить распределения температуры по сечению трубопровода или плоской стенки.

Условия по вариантам представлены в таблице 3.

Расчётно-графическая работа 2

Тема: теплопередача через плоскую стенку

Требуется определить

1. По справочнику физические свойства окружающей среды, материалов и изоляции (в соответствии с вариантом задания), необходимые для теплотехнических расчётов.
2. Сопротивление теплопередаче.
3. Общий коэффициент теплопередачи и сравнить с нормами по теплозащите.
4. Распределение температур в сечении конструкции.
5. Теплонакопительную способность конструкции.
6. Провести оценку конструкции.

Условия по вариантам представлены в таблице 4.

Варианты заданий для расчёта теплопередачи через цилиндрическую стенку

Таблица 3

Вариант	Жидкость (или газ)	Скорость жидкости (или газа)	Температура жидкости (или газа)	Температура окружающей среды	Радиус трубы	Толщина трубы	Толщина изоляции	Материал трубы	Материал изоляции
		м/с	°C	°C	мм	мм	мм		
1	вода	0,2	50	-20	100	5	30	сталь	асбест
2	нефть	0,6	30	-10	500	15	15	железо	каучук
3	бензин	0,15	45	-30	300	25	20	алюминий	керамзит
4	водород	0,23	80	20	200	10	50	полиуритан	рубероид
5	природный газ	0,8	35	-20	600	30	25	стеклопластик	минеральная вата
6	керосин	0,3	40	-15	150	10	15	чугун	минеральная вата
7	вода	0,15	50	10	200	5	35	медь	керамзитобетон
8	мазут	0,2	50	20	350	10	55	асбестоцемент	керамзит
9	кислород	0,1	20	-30	400	25	45	пластик	стекловата
10	вода	0,15	60	-20	450	25	20	железобетон	асбест
11	спирт этиловый	0,2	20	-30	100	5	30	асбестоцемент	целлюлозный утеплитель (эковата)
12	толуол	0,6	10	-30	500	30	50	сталь	пеностирол
13	нефть	0,55	25	-25	350	25	15	сталь	экотермикс
14	бензин	0,35	15	-20	450	15	25	железо	асбест
15	мазут	0,13	20	-10	200	10	35	алюминий	каучук
16	вода	0,32	30	-30	150	10	5	полиуритан	керамзит

Продолжение табл.3

17	кислород	0,21	50	-10	100	5	5	стеклопластик	грунт
18	вода	0,85	40	-30	600	40	40	пластик	минеральная вата
19	бензин	0,62	30	-20	550	40	35	железобетон	керамзитобетон
20	исфть	0,38	20	-40	250	20	15	железо	керамзит
21	мазут	0,49	35	-35	400	15	35	алюминий	пеностирол
22	вода	0,35	70	10	350	10	45	чугун	эжотермикс
23	кислород	0,5	30	-20	500	20	5	медь	асбест
24	толуол	0,2	45	-15	100	5	10	асбестоцемент	керамзит
25	водород	0,3	55	-10	200	15	10	сталь	каучук
26	вода	0,85	45	-30	650	35	40	асбестоцемент	минеральная вата
27	мазут	0,25	55	25	450	10	55	пластик	керамзит
28	вода	0,25	45	-15	130	15	40	железо	асбест
29	бензин	0,62	35	-15	350	40	35	железобетон	керамзитобетон
30	нефть	0,65	35	-15	530	15	20	сталь	рубероид

Варианты заданий для расчёта теплопередачи через плоскую стенку

Таблица 4

Вариант	Материал наружной стены	Материал внутренней стены	Кирпичная кладка (плотность)	Толщина наружной стены мм	Толщина внутренней стены мм	Толщина кирпичной кладки мм	Температура внутренняя °С	Температура наружная °С
1	Утепляющая штукатурка	Известково-гипсовая	Полнотельный кирпич (1800 кг/м ³)	15	5	350	20	-15
2	Штукатурка из синтетической смолы	Известковый раствор	Многоступенчатый кирпич (1400 кг/м ³)	10	15	400	22	-20
3	Легкий керамзитобетон	Стеновые панели из гипса	Легкий многоступенчатый кирпич (700 кг/м ³)	15	20	300	25	-10
4	Бетон с природной пемзой	Гипсокартонные плиты	Силикатный кирпич (1500 кг/м ³)	25	10	450	20	-15
5	Армированный бетон	Пористый бетон	Газобетонные блоки (800 кг/м ³)	10	20	350	23	-20
6	Известковый раствор	Пробковые плиты	Доменный кирпич (1000 кг/м ³)	20	10	400	25	-5
7	Ангидридовый раствор	Стеновые панели из гипса	Полнотельные камни (500 кг/м ³)	25	5	500	18	-10
8	Гипсовый раствор	Известково-гипсовая	Газобетонные блоки на тощем растворе (400 кг/м ³)	18	8	450	20	-5

Продолжение табл. 4

9	Утепляющая штукатурка	Известково-гипсовая	Многопустотный кирпич (700 кг/м ³)	10	10	300	25	5
10	Штукатурка из синтетической смолы	Вспученный перлит	Легкий многопустотный кирпич (1000 кг/м ³)	15	5	350	22	-12
11	Известково-гипсовый раствор	Утепляющая штукатурка	Силикатный кирпич (1200 кг/м ³)	12	6	400	20	-8
12	Легкий керамзитобетон	Стеновые панели из гипса	Легкий многопустотный кирпич (1000 кг/м ³)	20	15	350	20	-10
13	Утепляющая штукатурка	Гипсокартонные плиты	Полнотелый кирпич (1600 кг/м ³)	10	15	320	25	-18
14	Бетон с природной пемзой	Известковый раствор	Силикатный кирпич (1200 кг/м ³)	15	10	400	22	-10
15	Бетон с природной пемзой	Стеновые панели из гипса	Силикатный кирпич (1500 кг/м ³)	18	20	330	23	-12
16	Легкий керамзитобетон	Известково-гипсовая	Многопустотный кирпич (1200 кг/м ³)	25	15	400	18	-10
17	Утепляющая штукатурка	Известково-гипсовая	Многопустотный кирпич (700 кг/м ³)	10	20	350	22	5

Окончание табл. 4

18	Утепляющая штукатурка	Вспученный сланец	Полнотелый кирпич (1800 кг/м ³)	15	15	350	22	-15
19	Легкий керамзитобетон	Утепляющая штукатурка	Силикатный кирпич (2000 кг/м ³)	12	16	400	18	-8
20	Легкий керамзитобетон	Вспученная слюда	Легкий многослойный кирпич (1000 кг/м ³)	25	10	330	20	-10

6. Справочные таблицы

Таблица 5

№ п.п	Материал	Плотность, ρ кг/м ³	Теплопроводность, λ Вт/м·К	Коэффициент паропроницаемости, μ
<i>Штукатурки, стяжки</i>				
1.	Известковый раствор	1800	0,87	15/35
2.	Известково-гипсовый раствор, гипсовый раствор, ангидритовый раствор	1400	0,70	10
		1200	0,35	
3.	Гипсовый раствор			10
4.	Цементный раствор, цементная стяжка	2000	1,4	15-35
5.	Утепляющая штукатурка	500	0,20	5/20
6.	Штукатурка из синтетической смолы	1100	0,70	50/200
<i>Бетон</i>				
7.	Нормальный бетон армированный, неармированный	2400	2,1	70/150
8.	Легкий бетон с закрытой структурой	800	0,39	70/150
		900	0,44	
		1000	0,49	
		1100	0,55	
		1200	0,62	
		1300	0,70	
9.	Легкий бетон с природной пемзой	500	0,15	5/15
		600	0,18	
		700	0,20	
		800	0,24	
		900	0,27	
		1000	0,32	
10.	Легкий керамзитобетон	500	0,18	5/15
		600	0,20	
		700	0,23	
		800	0,26	
		900	0,30	
<i>Плиты</i>				
11.	Строительные плиты из пористого бетона	500	0,22	5/10
		600	0,24	
		700	0,27	
		800	0,29	

Продолжение табл. 5

12.	Стеновые панели из гипса	600	0,29	5/10
		750	0,35	
		900	0,41	
13.	Гипсокартонные плиты	900	0,21	8
<i>Кладочные камни</i>				
14.	Полнотельный кирпич, Многopустотный кирпич	1200	0,50	5/10
		1400	0,58	
		1600	0,68	
		1800	0,81	
		2000	0,96	
15.	Легкий многopустотный кирпич	700	0,36	5/10
		800	0,39	
		900	0,42	
		1000	0,45	
16.	Силикатный кирпич	1000	0,50	5/10
		1200	0,56	
		1400	0,70	
		1600	0,79	
		1800	0,99	
17.	Доменный (огнеупорный кирпич) кирпич	1000	0,47	70/100
		1200	0,52	
		1400	0,58	
		1600	0,64	
		1800	0,70	
18.	Газобетонные блоки на нормальном растворе	400	0,20	5/10
		500	0,22	
		600	0,24	
		700	0,27	
		800	0,29	
19.	Газобетонные блоки на тощем растворе	400	0,15	5/10
		500	0,17	
		600	0,20	
		700	0,23	
		800	0,27	
20.	Полнотельные камни	500	0,32	5/10
		600	0,34	
		700	0,37	
		800	0,40	
		900	0,43	

<i>Теплоизоляционные материалы</i>				
21.	Древесноволокнистые легкие плиты	480 570	0,09 0,15	2/5
22.	Многослойные легкие плиты	$\geq 0,15$	0,04	20/50
23.	Пробковые плиты	80 до 500	0,045 0,050 0,055	5/10
24.	Пенополистирол	≥ 30	0,025 0,030 0,035 0,040	30/70
25.	Пенополиуретан	≥ 30	0,020 0,025 0,030 0,035	30/100
26.	Вспученный перлит	≤ 100	0,06	
27.	Вспученная слюда	≤ 100	0,07	
28.	Вспученный глинистый сланец	≤ 400	0,16	
<i>Дерево и материалы на основе древесины</i>				
29.	Ель, сосна	600	0,13	40
30.	Дуб, бук	800	0,20	40
31.	Фанера	800	0,15	50/400
32.	Древесностружечные плиты	700	0,13	50/100
33.	Жесткие древесно- изоляционные плиты	1000	0,17	70
<i>Покрытия</i>				
34.	Линолеум	100	0,12	
35.	Асфальтовая мастика	1500	0,23	
<i>Прочие строительные материалы</i>				
36.	Воздух	1,293	0,02	1
37.	Вода	1,0	0,64	
38.	Кафельная плитка	2000	1,0	
39.	Стекло	2500	0,8	
40.	Гранит, базальт, мрамор	2800	3,5	
41.	Сталь	7680	60	∞
42.	Медь	8900	380	∞
43.	Алюминий	2700	200	∞

Таблица 6

№ п.п	Ограждающая конструкция	Коэффициент теплопередачи		Сопротивление теплопередаче	
1.	Наружная стена (за исключением п.п. 2)	8	23	0,13	0,04
2.	Наружная стена с вентилируемой воздушной прослойкой, торцовая стена неутепленного чердака	8	12	0,13	0,08
3.	Межквартирные стены, внутренние стены лестничных клеток	8	-	0,13	-
4.	Стены входящие в землю (цокольные)	8	∞	0,13	0
5.	Перекрытие или утепленная наклонная крыша отделяющая отапливаемое помещение от наружного воздуха	8	23	0,13	0,08
6.	Перекрытие над неотделанным чердаком или под вентилируемыми пространствами	8	12	0,13	0,08
7.	Перекрытие разделяющее жилое помещение и наружный воздух снизу	6	23	0,17	0,04
8.	Пол первого этажа на земле	6	∞	0,17	0

7. Рекомендательный библиографический список

Учебники и учебные пособия

1. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. СПб., М.: Лань, 2009.
2. Детлаф А.А. Курс физики / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. М.: Высшая школа, 2009.
3. Иродов И.Е. Задачи по общей физике. СПб., М.: Лань, 2009.
4. Савельев И.В. Курс физики. Т. 2, 3. СПб.: М.: Лань, 2008.
5. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 2009.

Сборники задач

6. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общей физике. СПб., М.: Лань, 2007.
7. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики с решениями. М.: Высш. школа, 2009.
8. Чертов А.Г. Задачник по физике / А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. М.: Физматлит, 2009.

Дополнительная литература

9. Блази В. Справочник проектировщика. Строительная физика. М. 2004. 479 с.