

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

Институт транспорта и логистики
Кафедра двигателей внутреннего сгорания

УТВЕРЖДАЮ
Директор института транспорта и логистики
Быкадоров В.В.
26 02 2025 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по учебной дисциплине
ТЕПЛОМАССООБМЕН

(наименование учебной дисциплины, практики)

13.03.03. Энергетическое машиностроение

(код и наименование направления подготовки (специальности))

«ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ»

(наименование профиля подготовки (специальности, магистерской программы); при отсутствии ставится прочерк)

Разработчик:

ст. преп. А.С.Ковтун А.С.Ковтун

ФОС рассмотрен и одобрен на заседании кафедры двигателей внутреннего сгорания
от «25» 02.2025 г., протокол № 6

(наименование кафедры)

Заведующий кафедрой А.А. Данилейченко
(подпись)

Луганск 2025 г.

Комплект оценочных материалов по дисциплине «Тепломассообмен»

Задания закрытого типа

Задания закрытого типа на выбор правильного ответа

Выберите один правильный ответ

1. Уравнение теплопроводности Фурье является:

- А) эмпирическим
- Б) алгебраическим
- В) дифференциальным уравнением в частных производных.
- Г) обыкновенным дифференциальным уравнением
- Д) трансцендентным

Правильный ответ: В

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

2. Число Нуссельта представляет собой:

- А) относительную подъёмную силу, возникающую вследствие разности плотностей сплошной среды
- Б) отношение сил инерции к силам вязкого трения
- В) отношение кинематической вязкости к температуропроводности
- Г) отношение объёма сплошной среды к заключённой в нём массе
- Д) безразмерный коэффициент теплоотдачи.

Правильный ответ: Д

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

3. Перенос вещества в смеси, вызванный хаотическим тепловым движением молекул, называется:

- А) адгезия
- Б) молекулярная диффузия.
- В) квантовая флуктуация
- Г) сублимация
- Д) конденсация

Правильный ответ: Б

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

4. В теплообменном аппарате осуществляется:

- А) передача работы от одного рабочего тела другому
- Б) передача тепла и работы от одного рабочего тела другому.
- В) преобразование теплоты рабочего тела в работ.
- Г) передача тепла от горячего теплоносителя холодному.
- Д) преобразование работы внешних сил в тепло

Правильный ответ: Г

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

Задания закрытого типа на установление соответствия

Установите правильное соответствие. Каждому элементу левого столбца соответствует только один элемент правого столбца.

1. Найти соответствие между физическими величинами, используемыми в расчётах теплообмена, и единицами их измерения.

- | | |
|---------------------------------|--|
| 1) Коэффициент теплопроводности | А) Вт |
| 2) Коэффициент теплоотдачи | Б) $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ |
| 3) Тепловой поток | В) $\text{Вт}/\text{м}^3$ |
| 4) Плотность теплового потока | Г) $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ |
| | Д) $\text{Вт}/\text{м}^2$ |

Правильный ответ: 1-Г, 2-Б, 3-А, 4-Д

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

2. Найти соответствие между уравнениями и описываемыми ими законами или явлениями теплообмена и массообмена, названными именами учёных.

- | | |
|--|----------------------------|
| 1) Уравнение теплопроводности | А) Теплоотдача |
| 2) Уравнение Ньютона-Рихмана | Б) Закон Стефана-Больцмана |
| 3) Уравнение диффузии | В) Закон Фурье |
| 4) Уравнение плотности потока интегрального излучения абсолютно чёрного тела | Г) Закон Фика |
| | Д) Закон Кирхгофа |

Правильный ответ: 1-В, 2-А, 3-Г, 4-Б

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

3. Найти соответствие между классами веществ и материалов и диапазонами изменения их коэффициента теплопроводности λ .

- | | |
|--|--|
| 1) Газы | А) 20...418 $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ |
| 2) Жидкости | Б) 0,006...0,6 $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ |
| 3) Теплоизоляционные строительные материалы пористой структуры | В) Менее 0,25 $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ |
| 4) Металлы | Г) 800...1000 $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ |
| | Д) 0,07...0,7 $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ |

Правильный ответ: 1-Б, 2-Д, 3-В, 4-А

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

4. Найти соответствие между критериями подобия и их определениями

- | | |
|----------------|--------------------------------|
| 1) Число Фруда | А) Отношение локальной силы от |
|----------------|--------------------------------|

- неустановившегося движения к силе инерции потока
- | | |
|---------------------|---|
| 2) Число Рейнольдса | Б) Отношение силы гидродинамического давления к силе инерции потока |
| 3) Число Струхаля | В) Отношение силы вязкостного трения к силе инерции |
| 4) Число Эйлера | Г) Отношение скорости потока к местной скорости звука |
| | Д) Отношение веса к силе инерции единицы объёма среды |

Правильный ответ: 1-Д, 2-В, 3-А, 4-Б

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

Задания закрытого типа на установление правильной последовательности

Установите правильную последовательность.

Запишите правильную последовательность букв слева направо.

1. В какой последовательности осуществляется передача тепла от горячего теплоносителя холодному в рекуперативном теплообменном аппарате?

А) передача тепла от стенки проточного тракта холодному теплоносителю, одновременное понижение температуры горячего теплоносителя.

Б) поступление горячего и холодного теплоносителей в теплообменник по соответствующим патрубкам.

В) передача теплового потока от горячего теплоносителя к стенкам проточного тракта.

Г) выход холодного нагретого и горячего охлажденного потоков теплоносителей через соответствующие патрубки теплообменника.

Д) прохождение теплового потока через материал стенок проточного тракта теплообменника.

Правильный ответ: Б, В, Д, А, Г

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

2. В какой последовательности осуществляется движение теплоносителя в системе охлаждения двигателя внутреннего сгорания, начиная с момента передачи тепла от стенок цилиндров к охлаждающей жидкости?

А) при движении через проточный тракт радиатора сверху вниз жидкость охлаждается, передавая тепловой поток через стенки радиатора атмосферному воздуху.

Б) горячая охлаждающая жидкость поступает через верхний патрубок в радиатор.

В) под действием перепада давления, создаваемого циркуляционным насосом, охлажденная жидкость поступает снизу в зарубашечное пространство двигателя.

Г) охлажденная жидкость поступает в нижний патрубок радиатора.

Д) охлаждающая жидкость омывает стенки цилиндров и нагревается, отбирая тепло, отводимое от двигателя.

Правильный ответ: Д, Б, А, Г, В

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

3. В какой последовательности происходит изменение термодинамических параметров и агрегатного состояния вещества по мере подвода тепла?

А) передача телу теплоты плавления и нагрев тела до температуры плавления.

Б) фазовый переход вещества из твёрдого в жидкое состояние.

В) нагрев вещества в твёрдом агрегатном состоянии.

Г) передача жидкости теплоты парообразования; фазовый переход вещества в газообразное состояние; объёмное кипение жидкости.

Д) нагрев жидкости сопутствующий испарением с поверхности.

Правильный ответ: В, А, Б, Д, Г

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

4. В какой последовательности в общем случае проводится проектный расчёт теплообменного аппарата?

А) расчёт среднего температурного напора.

Б) вычисление конечных температур теплоносителей.

В) определение геометрических параметров теплообменных элементов.

Г) определение расходных теплоёмкостей теплоносителей.

Д) вычисление поверхности теплообмена.

Правильный ответ: Г, Б, А, Д, В

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

Задания открытого типа

Задания открытого типа на дополнение

Напишите пропущенное слово (словосочетание)

1. Связь между количеством теплоты dQ , проходящим через площадку dA определяется уравнением _____.

Правильный ответ: Фурье.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

2. Тепловой _____ – это отношение количества теплоты, проходящей через заданную поверхность, к единице времени.

Правильный ответ: поток

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

3. Закон Ньютона-Рихмана – эмпирическая закономерность, выражающая _____ поток между разными телами через температурный напор.

Правильный ответ: тепловой

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

4. Коэффициент _____ – это коэффициент, отражающий свойство вещества проводить тепловую энергию.

Правильный ответ: теплопроводности.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

Задания открытого типа с кратким свободным ответом

Напишите пропущенное слово (словосочетание)

1. Найти поверхностную плотность теплового потока q , если тепловой поток $Q = 20 \text{ Вт}$, площадь стенки $F = 0,2 \text{ м}^2$. Ответ представить в виде цифры.

Правильный ответ: $20/0,2=100$.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

2. Вектор, направленный по нормали к изотермической поверхности в направлении увеличения температуры называется _____ температуры

Правильный ответ: градиент

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

3. Как называется конвекция, которая возникает в веществе самопроизвольно при его неравномерном нагревании в поле тяготения?

Правильный ответ: естественная

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

4. Электромагнитные волны, испускаемые телами за счёт их внутренней энергии называются тепловым _____?

Правильный ответ: излучением

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

Задания открытого типа с развернутым ответом

Решите задачу.

1. В цилиндрической ёмкости объёмом 20 л налита вода при температуре 80°C. Определить за какое время вода остынет до температуры 45°C и какое количество теплоты при этом будет передано стенкам ёмкости, если в процессе теплоотдачи от воды стенкам коэффициент теплоотдачи α постоянный и равен 28 Вт/(м²·К), разность температур воды и внутренней поверхности стенки Δt также постоянна и равна 8°C. Удельную массовую теплоёмкость воды c_m принять постоянной в расчётном интервале температур и равной 4,2 кДж/(кг·К). Плотность воды $\rho_v = 1 \text{ кг/л}$. Диаметр ёмкости равен её высоте.

Критерии оценивания: полное содержательное соответствие приведенному ниже пояснению.

Время выполнения: 20 мин.

Ожидаемый результат:

Решение:

Теплоотдача от воды стенкам ёмкости описывается уравнением Ньютона-Рихмана

$$q = \alpha \cdot F \cdot \Delta T,$$

где q – тепловая мощность, передаваемая от воды стенкам ёмкости, α – коэффициент теплоотдачи, заданный по условию постоянным и равным $28 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, F – площадь поверхности теплообмена, ΔT – разность температур воды и стенок ёмкости. Т.к. $\Delta T = \Delta t$ и по условию задачи $\Delta t = 8^\circ\text{C}$ и постоянна в процессе теплообмена, то $\Delta T = \Delta t = 8^\circ\text{C} = 8 \text{ К}$.

В процессе остывания температура воды в ёмкости снизится на величину $\Delta T_B = T_{B2} - T_{B1} = t_{B2} - t_{B1} = 45 - 80 = -35^\circ\text{C} = 35 \text{ К}$ или, беря по модулю $\Delta T_B = \Delta t_B = 35 \text{ К}$.

Переданная стенкам теплота Q с другой стороны определяется выражением

$$Q = m \cdot c_m \cdot \Delta T_B,$$

где m – масса воды, находящейся в ёмкости, которую можно найти по заданному объёму ёмкости $V = 20 \text{ л}$ и плотности воды $\rho_B = 1 \text{ кг/л}$.

$$m = V \cdot \rho_B = 20 \cdot 1 = 20 \text{ кг}.$$

Т.к. по условию задачи перепад температуры ΔT между водой и стенками ёмкости постоянный, а также постоянный коэффициент теплоотдачи α и площадь F цилиндрической поверхности теплообмена, то постоянным является и тепловая мощность q .

Площадь F поверхности теплообмена состоит из боковой поверхности цилиндра и двух оснований и вычисляется по формуле

$$F = 2\pi R h + 2\pi R^2 = \pi D h + 2 \frac{\pi D^2}{4} = \pi D \left(h + \frac{D}{2} \right) = \pi D (h + R),$$

где h – высота цилиндра, R и D – соответственно радиус и диаметр. Т.к. по условию $D = h$, то площадь теплообмена будет равна

$$F = \pi D \left(h + \frac{D}{2} \right) = \pi D \left(D + \frac{D}{2} \right) = \frac{3}{2} \pi D^2.$$

Т.к. диаметр ёмкости не задан, то его можно вычислить через объём V , учитывая, что $D = h$

$$V = \pi R^2 h = \pi \frac{D^2}{4} h = \frac{\pi D^3}{4} \Rightarrow D = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi}}.$$

Тогда площадь поверхности теплообмена будет равна

$$F = \frac{3}{2} \pi D^2 = \frac{3}{2} \pi \left(\sqrt[3]{\frac{4V}{\pi}} \right)^2 = \frac{3}{2} \pi \left(\frac{4V}{\pi} \right)^{\frac{2}{3}} = \frac{3}{2} 3,14 \left(\frac{4 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{3,14} \right)^{\frac{2}{3}} = 0,408 \text{ м}^2.$$

Тепловая мощность, передаваемая от воды к стенкам ёмкости

$$q = \alpha \cdot F \cdot \Delta T = 28 \cdot 0,408 \cdot 8 = 91,4 \text{ Вт}.$$

Количество тепла, отданного водой стенкам ёмкости, будет равно

$$Q = m \cdot c_m \cdot \Delta T_B = 20 \cdot 4,2 \cdot 35 = 2940 \text{ кДж}.$$

Т.к. тепловая мощность постоянная, то тепло, передаваемое стенкам ёмкости, является линейной функцией времени. Отсюда легко определить время остывания воды от 80°C до 45°C

$$Q = q \cdot t \Rightarrow t = \frac{Q}{q} = \frac{2940 \cdot 10^3}{91,4} = 32166 \text{ с}.$$

Правильный ответ: От 80°C до 45°C вода остынет за 32166 с ($536,1 \text{ мин}$ или $8,935 \text{ ч}$), за это время стенкам ёмкости от воды будет передано 2940 кДж тепла.

Компетенции (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.3)

2. Найти плотность теплового потока q и тепловой поток Q в круглом стержне диаметром 25 мм, если градиент температуры вдоль стержня постоянный и равен 65 К/м, а коэффициент теплопроводности материала стержня 14 Вт/(м·К).

Критерии оценивания: полное содержательное соответствие приведенному ниже пояснению.

Время выполнения: 20 мин.

Ожидаемый результат:

Решение:

Передача тепла в данном случае осуществляется теплопроводностью. Плотность теплового потока q , передаваемого через стержень, определяется по уравнению Фурье

$$q = -\lambda \cdot \text{grad } t = -14 \cdot 65 = -910 \text{ Вт/м}^2.$$

где λ – коэффициент теплопроводности.

Тепловой поток, передаваемый через стержень, равен

$$Q = q \cdot F = q \cdot \pi \frac{d^2}{4} = 910 \cdot 3,14 \frac{(25 \cdot 10^{-3})^2}{4} = 0,446 \text{ Вт}.$$

Плотностью теплового потока здесь взята по модулю, т.е. знак «–» перед « q » опущен, т.к. он выражает противоположность направлений градиента температуры и переноса тепла; в задаче же требуется найти численные значения величин теплового потока и плотности теплового потока.

Правильный ответ: Плотность теплового потока в стержне составляет 910 Вт/м², тепловой поток через стержень равен 0,446 Вт.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

3. В цилиндрической трубе круглого сечения внутренним диаметром $d = 70$ мм движется поток воздуха с объёмным расходом 7 л/с при температуре 50°C. Определить коэффициент теплоотдачи, если критериальное уравнение для воздуха имеет вид

$$Nu = 0,018 \cdot Re^{0,8},$$

численные значения физических параметров воздуха при температуре 50°C: кинематическая вязкость $\nu = 17,95 \cdot 10^{-6}$ м²/с, коэффициент теплопроводности $\lambda = 2,83 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м·К).

Критерии оценивания: полное содержательное соответствие приведенному ниже пояснению.

Время выполнения: 30 мин.

Ожидаемый результат:

Решение:

коэффициент теплоотдачи определяется из выражения числа Нуссельта по формуле

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l_0}{\lambda},$$

где l_0 – характерный линейный размер течения, для круглой трубы таким размером является диаметр: $l_0 = d$. Тогда выражение для критерия подобия Нуссельта имеет вид

$$Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda} \Rightarrow \alpha = Nu \frac{\lambda}{d}.$$

Число Nu связано с числом Рейнольдса представленным критериальным уравнением. Число Рейнольдса по определению выражается формулой

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu},$$

где w – средняя по сечению скорость потока воздуха, которая определяется из выражения объёмного расхода воздуха W через площадь поперечного сечения потока F

$$W = w \cdot F \Rightarrow w = \frac{W}{F} = \frac{4W}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 7 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 70^2 \cdot 10^{-6}} = 1,82 \text{ м/с}.$$

Число Рейнольдса потока воздуха в трубе

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{1,82 \cdot 70 \cdot 10^{-3}}{17,95 \cdot 10^{-6}} = 7097.$$

Число Нуссельта

$$Nu = 0,018 \cdot Re^{0,8} = 0,018 \cdot 7097^{0,8} = 21,68.$$

Искомый коэффициент теплоотдачи

$$\alpha = Nu \frac{\lambda}{d} = 21,68 \frac{2,83 \cdot 10^{-2}}{70 \cdot 10^{-3}} = 8,76 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Правильный ответ: Коэффициент теплоотдачи равен 8,76 Вт/(м²·К).

Компетенции (индикаторы): ПК-1 (ПК-1.3)

4. Определить линейную плотность теплового потока, проходящего через однородную цилиндрическую трубу внутренним диаметром $d = 35$ мм и наружным диаметром $D = 40$ мм при стационарном тепловом режиме, если разность температур между внутренней и наружной поверхностью стенок составляет 40°C, а коэффициент теплопроводности материала трубы λ равен 43 Вт/(м·К)

Критерии оценивания: полное содержательное соответствие приведенному ниже пояснению.

Время выполнения: 20 мин.

Ожидаемый результат:

Решение:

решение дифференциального уравнения теплопроводности для однородной цилиндрической стенки при стационарном режиме теплопроводности даёт логарифмический закон распределения температуры по радиусу трубы. Выражение для искомой линейной плотности теплового потока имеет вид

$$q_l = \frac{Q}{l} = \frac{\pi(t_{w1} - t_{w2})}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{D}{d}} = \frac{2\pi \cdot \lambda \cdot \Delta T_w}{\ln \frac{D}{d}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 43 \cdot 40}{\ln \frac{40}{35}} = 80892 \text{ Вт/м},$$

где Q – тепловой поток через трубу, l – длина трубы, t_{w1} , t_{w2} и ΔT_w – температура внутренней и внешней границ стенки трубы и перепад температуры между ними соответственно. Т.к. в данной задаче не оговорено конкретные значения t_{w1} , t_{w2} , а указан только перепад температуры $\Delta T_w = \Delta t_w = 40^\circ\text{C} = 40 \text{ К}$, то направление теплового потока в данном случае не имеет значения; требуется определить его величину.

Правильный ответ: Линейная плотность теплового потока через цилиндрическую стенку равна 80892 Вт/м.

Компетенции (индикаторы): ОПК-3 (ОПК-3.3)

Экспертное заключение

Представленный фонд оценочных средств (далее - ФОС) *по дисциплине «Тепломассообмен»* соответствует требованиям ФГОС ВО.

Предлагаемые оценочные материалы адекватны целям и задачам реализации основной профессиональной образовательной программы по направлению подготовки 13.03.03 Энергетическое машиностроение.

Виды оценочных средств, включенные в представленный фонд, отвечают основным принципам формирования ФОС.

Разработанные и представленные для экспертизы оценочные материалы рекомендуются к использованию в процессе подготовки обучающихся по указанному направлению.

Председатель учебно-методической
комиссии института транспорта и логистики



Е.И. Иванова

Лист изменений и дополнений

№ п/п	Виды дополнений и изменений	Дата и номер протокола заседания кафедры (кафедр), на котором были рассмотрены и одобрены изменения и дополнения	Подпись (с расшифровкой) заведующего кафедрой (заведующих кафедрами)