минобрнауки россии

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего профессионального образования

**«Череповецкий государственный университет»**

|  |  |
| --- | --- |
| Институт (факультет) | Инженерно-технический институт |
| Кафедра | Теплоэнергетики и теплотехники |

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА**

|  |  |
| --- | --- |
| по дисциплине | Тепломассообмен |
| на тему | Теплоотдача при конденсации чистого пара |

Выполнил студент группы 3ТТб-01-31оп

{{Name}}

Преподаватель

Шестаков Николай Иванович

д.т.н.

Дата представления работы

«\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20\_\_г.

Заключение о допуске к защите

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Оценка \_\_\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

количество баллов

Подпись преподавателя \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Череповец 2020 год

Цель работы: изучение процесса конденсации водяного пара; составление теплового баланса, определение коэффициентов теплоотдачи.

Задачи работы: проведение расчетов процессов конденсации водяного пара на вертикальной и горизонтальной поверхностях трубы.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ф.И.О. | Задача 1 и 2:  Диаметр трубы, мм | Задача 1 и 2:  длина трубы, м | Задача 3 и 4:  Диаметр трубы, мм |
| {{Name}} | {{soursed12}} | {{sourseH12}} | {{soursed34}} |

**Теоретические сведения**

Конденсацияпредставляет собой процесс перехода пара в жидкое состояние.

Конденсация возможна как в объеме пара (парогазовой смеси), так и на поверхности твердого тела или жидкости, с которыми соприкасается пар (парогазовая смесь).

В энергетике чаще всего приходится иметь дело с конденсацией пара в жидкое состояние на охлажденных поверхностях теплообмена.

Для возникновения процесса конденсации на поверхности твердого тела необходимо выполнение такого условия: температура поверхности стенки *tc* должна быть меньше температуры насыщения *tн* при данном давлении: *tc*< *tн*; *tн=f(P)*.

Обобщенная расчетная формула теплоотдачи в модели Нуссельта с преимущественным термическим сопротивлением в пленке конденсата:

,

где *С, n* – постоянные; ; ; ; ; α– среднее значение искомого коэффициента теплоотдачи при конденсации пара (Вт/(м2·°С)); *l* – характерный линейный размер (м), равный высоте *H* для вертикальных поверхностей теплоотдачи и диаметру *d* для поверхностей горизонтальных труб; *λ, ρ, μ, cp, g* – соответственно, величины коэффициента теплопроводности (Вт/(м·°С)), плотности массы (кг/м3), динамической вязкости (Па·с), изобарной теплоемкости (кДж/(кг·°С), и ускорения свободного падения (м/с2) для пленки конденсата при средней определяющей температуре ее *tпл = 0,5(tконд+tс)*, равной полусумме температуры конденсации *tконд* и температуры стенки *tс*; *r* – теплота фазового превращения (Дж/кг) при *tконд*: *Δt= tконд - tс*; *С* = 0,728 – при конденсации на поверхности одиночных горизонтальных труб; *С* = 0,94 – при конденсации на поверхности вертикальных стенок (пучка труб) в приближении ламинарного режима стекания пленки конденсата; *С* = 1,15 – то же, но с поправкой в 21% на волнообразование в стекающей пленке конденсата; *n* = 0,25.

Среднее значение коэффициента теплоотдачи на поверхности пучка вертикальных труб высотой *H:*

,

где значения величин *λ, ρ, g, r, μ, Δt, H* – для пленки конденсата при .

Среднее значение коэффициента теплоотдачи на наружной поверхности одиночной горизонтальной трубы диаметром *d*:



**Проведение расчетов**

**Задача 1.** На наружной поверхности вертикальной трубы диаметром d=20 мм и высотой H=2 м конденсируется сухой насыщенный пар при давлении p=1,013 бар. Температура поверхности трубы равна: tc = 95; 85; 75; 65; 50; 40; 30; 20 °С. Пар можно считать неподвижным.

Определить средний по высоте коэффициент теплоотдачи от пара к трубе α и количество пара G кг/ч, которое конденсируется на поверхности трубы. Построить графические зависимости α=f(∆t), G =f(∆t).

*Решение*

По заданному давлению пара *p* по таблицам для воды и водяного пара на линии насыщения определяются: температура насыщения *tн* °C; плотность пара *ρ"* и конденсата *ρ'* кг/м3; теплота, выделяемая при конденсации *r* Дж/кг; динамическая и кинематическая вязкость конденсата *µж* Па·с и *νж* м2/с при температуре насыщения *tн;* коэффициент теплопроводности конденсата λж Вт/(м·°С); число Прандтля конденсата *Prж* при температуре насыщения *tн.* По температуре стенки *tc* определяется число Прандтля конденсата *Prс*.

Рассчитывается приведенная высота трубы:

,

где *∆t = tн - tc °*С *-* температурный напор; *Аr* - число Архимеда:

,

где *g =* 9,81 м/с2 - ускорение свободного падения; *Н* - высота трубы, м.

Если *Z<*2300, то режим течения пленки конденсата ламинарный, и число Рейнольдса рассчитывается по выражению:

.

Если Z>2300, то режим течения пленки конденсата смешанный, и число Рейнольдса рассчитывается по выражению:

.

Рассчитывается средний коэффициент теплоотдачи:

 Вт/(м2·°С).

Определяется количество пара, которое конденсируется на поверхности

трубы:

 кг/ч,

где *r* - теплота конденсации, Дж/кг; **- площадь поверхности трубы, м2; *d -* диаметр трубы, м.

Результаты для вертикальной трубы

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| tc, °С | 95 | 85 | 75 | 65 | 50 | 40 | 30 | 20 |
| α,Вт/(м2·°С). | {{a10}} | {{a11}} | {{a12}} | {{a13}} | {{a14}} | {{a15}} | {{a16}} | {{a17}} |
| G, кг/ч | {{G10}} | {{G11}} | {{G12}} | {{G13}} | {{G14}} | {{G15}} | {{G16}} | {{G17}} |

**Задача 2.** Решить задачу 1 при условии, что труба не вертикальная, а горизонтальная.

*Пояснение.* Для горизонтальной трубы коэффициент теплоотдачи при конденсации неподвижного пара можно рассчитать по формуле:

 Вт/(м2·°С).

Результаты для горизонтальной трубы

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| tc, °С | 95 | 85 | 75 | 65 | 50 | 40 | 30 | 20 |
| α,Вт/(м2·°С). | {{a20}} | {{a21}} | {{a22}} | {{a23}} | {{a24}} | {{a25}} | {{a26}} | {{a27}} |
| G, кг/ч | {{G20}} | {{G21}} | {{G22}} | {{G23}} | {{G24}} | {{G25}} | {{G26}} | {{G27}} |

**Задача 3.** Определить изменение среднего коэффициента теплоотдачи αВт/(м2·°С) и количества теплоты *Q* кВт, передаваемого при конденсации водяного пара к стенке вертикальной трубы в зависимости от ее высоты. Диаметр трубы *d=22* мм. Пар считать неподвижным.

Давление пара *p* = 64,19 бар; температура поверхности трубы *tc =* 270 °С. Расчет произвести для значений высоты *H*, равных 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,5; 3 и 4 м и построить графические зависимости α*=f(H),* *Q=f(H).*

*Пояснение.* Средний коэффициент теплоотдачи α рассчитывается по тем же формулам, что и в задаче 1. Количество теплоты, передаваемое трубе при конденсации пара, определяется выражением:

 Вт,

где *-* площадь поверхности трубы, м2; *d* - диаметр трубы, м.

Результаты для вертикальной трубы

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| H, м | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1 | 1.25 | 1.5 | 1.75 | 2 | 2.5 | 3 | 4 |
| α,Вт/(м2·°С). | {{a30}} | {{a31}} | {{a32}} | {{a33}} | {{a34}} | {{a35}} | {{a36}} | {{a37}} | {{a38}} | {{a39}} | {{a310}} | {{a311}} |
| G, кг/ч | {{G30}} | {{G31}} | {{G32}} | {{G33}} | {{G34}} | {{G35}} | {{G36}} | {{G37}} | {{G38}} | {{G39}} | {{G310}} | {{G311}} |

**Задача 4.** Решить задачу 3 при условии, что труба не вертикальная, а горизонтальная.

*Пояснение.* Средний коэффициент теплоотдачи α рассчитывается по той же формуле, что и в задаче 2.

Результаты для вертикальной трубы

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| H, м | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1 | 1.25 | 1.5 | 1.75 | 2 | 2.5 | 3 | 4 |
| α,Вт/(м2·°С). | {{a40}} | {{a41}} | {{a42}} | {{a43}} | {{a44}} | {{a45}} | {{a46}} | {{a47}} | {{a48}} | {{a49}} | {{a410}} | {{a411}} |
| G, кг/ч | {{G40}} | {{G41}} | {{G42}} | {{G43}} | {{G44}} | {{G45}} | {{G46}} | {{G47}} | {{G48}} | {{G49}} | {{G410}} | {{G411}} |

**Вывод:**

Провели расчеты процессов конденсации водяного пара на вертикальной и горизонтальной поверхностях трубы и получили данные представленные в таблицах.