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 теплоотдачи от твердой поверхности к жидкости при пузырьковом режиме кипения.

**Задачи работы:** освоение экспериментальной методики определения коэффициента теплоотдачи на основе данных о темпе охлаждения на его регулярной стадии; определение кризиса теплоотдачи на основании данных измерений температур; сопоставление значений коэффициента теплоотдачи при пузырьковом кипении и температуры первого кризиса.

|  |  |
| --- | --- |
| Ф.И.О. |  |
| {{Name}} | {{SourseP}} |

**Теоретические сведения**

Кипением называется процесс образования пара, происходящий в объеме жидкости, температура которой выше температуры насыщения. Существует два характерных вида кипения: кипение в большом объеме и кипение при вынужденном движении (кипение жидкости в трубах). Первый вид, рассматриваемый в данной работе, в свою очередь, может протекать в двух режимах: пузырьковом и пленочном. На практике пузырьковое кипение встречается намного чаще, чем пленочное.

Механизм теплообмена при пузырьковом кипении отличается от механизма теплоотдачи при конвекции однофазной жидкости наличием дополнительного переноса массы вещества и теплоты паровыми пузырями из пограничного слоя в объем кипящей жидкости. Это приводит к высокой интенсивности теплоотдачи при кипении по сравнению с конвекцией однофазной жидкости.

При пузырьковом режиме кипения по мере увеличения температуры поверхности нагрева *tc* и соответственно температурного напора число действующих центров парообразования растет, процесс кипения становится все более интенсивным. Паровые пузырьки периодически отрываются от поверхности и, всплывая к свободной поверхности, продолжают расти в объеме.

При повышении температурного напора *Δt* значительно возрастает поток теплоты, который отводится от поверхности нагрева к кипящей жидкости. Вся эта теплота в конечном счете расходуется на образование пара. Поэтому уравнение теплового баланса при кипении имеет вид:

,

где *Q* — тепловой поток, Вт; *r* — теплота фазового перехода жидкости, Дж/кг; *Gп* — количество пара, образующегося в единицу времени в результате кипения жидкости и отводимого от ее свободной поверхности, кг/с.

Пузырьковый режим кипения наблюдается при значении плотности теплового потока меньшей предельного (критического) значения, которое называют первой критической плотностью теплового потока. Превышение критического значения приводит к кризису кипения первого рода − к очень быстрой смене пузырькового режима кипения пленочным режимом. Результатом этого является значительный разогрев теплоотдающей поверхности, который часто приводит к разрушению (пережогу) технологического оборудования.

При кипении жидкостей в большом объеме значение критической плотности теплового потока рассчитывают по формуле С.С. Кутателадзе

, Вт/м2,

где *r* – теплота парообразования, Дж/кг; *p’*и *p”* – плотности насыщенной жидкости и сухого насыщенного пара, соответственно, кг/м3; *g* – ускорение свободного падения, м/с2;  – коэффициент поверхностного натяжения жидкости, Н/м.

Обычно при проведении теплотехнических расчетов определяют запас до кризиса кипения первого рода , который позволяет судить о степени надежности работы теплоэнергетического оборудования.

**Проведение расчетов**

1. Определить коэффициент теплоотдачи *α* от наружной поверхности трубки испарителя к воде при пузырьковом режиме кипения, если тепловая нагрузка поверхности нагрева *q =* 0,1·106; 0,2·106; 0.5·106; 0,8·106; 1·106; 1,2·106; 1,4·106 Вт/м2. Вода находится под давлением *p* = 1 бар. Определить критическую тепловую нагрузку *qкр1.* Построить графики зависимостей *q(∆t)* и *α(∆t)* в обычных и логарифмических координатах.

*Методика решения*

По заданному давлению пара *p* по таблицам для воды и водяного пара на линии насыщения определяются: температура насыщения *tн* °C; плотность пара *ρ"* и воды *ρ'* кг/м3; теплота испарения *r* Дж/кг; кинематическая вязкость воды *νж* м2/с;коэффициент температуропроводности воды *аж* м2/с;коэффициент теплопроводности воды *λж* Вт/(м°С); теплоемкость воды *ср* Дж/кг·°С; коэффициент поверхностного натяжения воды *σ* Н/м; число Прандтля конденсата *Рrж*. Все параметры берутся при температуре насыщения *tн*. Рассчитывается характерный линейный размер:

=({{cp}}\*{{p1}}\*{{sig}}\*{{T}})/({{r}}\*{{p2}})^2={{l}} м,

Определяется критическая тепловая нагрузка *qкр1* Вт/м2 (когда пузырьковое кипение переходит в пленочное) из выражения:



где ; .

Ar={{Ar}}

Re={{Re}}

*=({{Re}}\*{{r}}\*{{p2}}\*{{v}}/{{l}}={{qkr}}*

При пузырьковом кипении жидкости в большом объеме коэффициент теплоотдачи *α* рассчитывается по формулам:

при  ;

при 

где ; .

Определяется температурный напор:

 ,

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Q, Вт/м2 | Re | Nu | a | Δt |
| 0,1·106; | {{Re1}} | {{Nu1}} | {{a1}} | {{dt1}} |
| 0,2·106; | {{Re2}} | {{Nu2}} | {{a2}} | {{dt2}} |
| 0.5·106; | {{Re3}} | {{Nu3}} | {{a3}} | {{dt3}} |
| 0,8·106; | {{Re4}} | {{Nu4}} | {{a4}} | {{dt4}} |
| 1·106; | {{Re5}} | {{Nu5}} | {{a5}} | {{dt5}} |
| 1,2·106; | {{Re6}} | {{Nu6}} | {{a6}} | {{dt6}} |
| 1,4·106 | {{Re7}} | {{Nu7}} | {{a7}} | {{dt7}} |

**Вывод:**

1. Изучили теплоотдачу от твердой поверхности к жидкости при пузырьковом режиме кипения.
2. Определили критическую тепловую нагрузку *qкр1.={{qkr}}*