

Витебский технологический институт легкой промышленности

УДК 661.1:536.2

№ гос.регистрации 76033398

Изм. № 8689677 08.СЕН 8

"СОГЛАСОВАНО"

Инженер ПО "Техэнергохим-
пром", канд. техн. наук

Новосельцев В.Н.

"УТВЕРЖДАЮ"

Проректор по научной
работе, канд. техн. наук, доц.

Горбачик В.Е.

О Т Ч Е Т

по научно-исследовательской работе

"ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНОГО ТЕПЛООБ-
МЕНА В ПЕЧНЫХ УСТАНОВКАХ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛЯННОГО ВОЛОКНА"

Шифр темы: ХД - 89 - 76

Начальник научно-исследова-
тельного сектора, инж.

И.Е.Правдивый

Зав.кафедрой, доц., к.т.н.

С.Г.Ковчур

Руководитель темы и
ответственный исполнитель
доц., к.т.н.

Я.В.Шкляр

Витебск - 1978

Библиотека ВГТУ



РЕФЕРАТ

научно-исследовательской работы "ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНОГО ТЕПЛООБМЕНА В ПЕЧНЫХ УСТАНОВКАХ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛЯННОГО ВОЛОКНА"

В работе на базе уравнений гидродинамического и теплового пограничных слоев описаны процессы движения дымовых газов и теплообмена у тепловоспринимающей поверхности, а также проведен теоретический анализ внешней задачи теплового переноса в пламенном пространстве печных установок и получены уравнения, описывающие основные закономерности лучисто-конвективного теплообмена в печах прямого нагрева.

Проведены численные решения уравнений сложного теплообмена для широкого диапазона варьирования основных характеристик теплового переноса. Оценено влияние конвективной и лучистой составляющих на интенсивность теплообмена и выявлены оптимальные области, где эта интенсивность растет наиболее сильно.

Показана связь между степенью конверсии газа (или эквивалентной величиной степени черноты продуктов сгорания топлива) и интенсивностью теплового переноса, а также область изменения степени черноты, в которой возможно достижение максимальной интенсивности теплообмена.

На основе теории пограничного слоя и аналогии Рейнольдса разработан аналитический метод расчета конвективной составляющей сложного теплообмена и получено уравнение, которое может служить для приближенного расчета интенсивности конвективного переноса теплоты. С учетом геометрических, температурных и аэродинамических характеристик работы установок стекловолокна получена формула для коэффициента сложного теплообмена .

Разработана методика персчета результатов воздушной продувки модели на условия работы высокотемпературных промышленных печей. Полученные результаты апробированы в процессе исследования сложного теплообмена на промышленной печи и на огневом стенде.

Результаты теоретического и экспериментального исследования радиационно-конвективного теплообмена еще раз подтвердили, достаточно большую долю конвективной составляющей в общем тепловом потоке, что можно объяснить специфическими аэродинамическими условиями в газовом пространстве печей прямого нагрева с равномерно распределенным вводом теплоносителя.

Рисунков - 3, таблиц - 2, библиографий - 23.

СОДЕРЖАНИЕ

стр.

Введение. Постановка задачи.	5
I. Описание процессов движения дымовых газов и теплообмена в пограничном слое у поверхности стекломассы.	7
II. Методы определения конвективной составляющей сложного теплообмена в стекловаренных печах прямого нагрева.	24
§1. Аналитический метод.	24
§2. Экспериментальные методы.	32
III. Некоторые результаты исследования лучисто-конвективного теплообмена.	49
§1. Теоретический анализ.	49
§2. Численные решения.	52
§3. Экспериментальное исследование на огневой модели.	56
Выводы и практические рекомендации.	61
Литература.	63

4-5.

ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.

В связи со значительным развитием промышленности стеклянного волокна актуальной и важной является задача исследования тепловой работы стекловаренных печей — одного из важнейших звеньев технологической цепочки производства стекловолокна, которое в значительной мере определяет производительность всей технологической линии и качество выпускаемой продукции.

Несмотря на имеющийся значительный опыт эксплуатации стекловаренных печей, до сих пор нет надежных способов расчета теплопередачи в этих установках, т.к. ввиду сложности протекающих процессов подробное аналитическое исследование задачи является практически невозможным, а непосредственное экспериментирование на промышленных образцах в значительной мере затруднено их малой доступностью для проведения соответствующих опытов. Правда, за последнее время было проведено значительное количество теоретических и экспериментальных исследований теплообмена в стекловаренных печах различных типов. Однако практическое применение результатов этих работ встречает определенные затруднения.

В настоящее время идет накопление необходимого экспериментального материала, на основе которого разрабатываются практические рекомендации, направленные на дальнейшую интенсификацию тепло-массообменных процессов в стекловаренных печах.

На базе экспериментальных и теоретических исследований имеется также реальная возможность развивать полуэмпирические и приближенные методы расчета теплообмена, обобщая эти данные на основе теории подобия и теории пограничного слоя, которые в настоящее время являются эффективным инструментом исследования различных процессов тепло-и массообмена.

Процессы теплообмена в пламенном пространстве стекловаренных печей и, в частности, в печах прямого нагрева производства стеклянного волокна, протекают в сложных аэродинамических условиях, а передача тепла от движущихся излучающих продуктов сгорания топлива к поверхности теплообмена происходит путем лучисто-конвективно-кондуктивного переноса. При этом имеет место довольно значительный конвективный теплообмен от факелов горелок к тепловоспринимающей поверхности. Однако в настоящее время отсутствуют достаточно надежные методы расчета сложного теплообмена в печах прямого нагрева, т.к. в литературе нет конкретных рекомендаций по учету конвективной составляющей.

В настоящей работе поставлена задача изучения основных закономерностей сложного и конвективного теплообмена в условиях работы промышленных печей и экспериментальных модельных установок, разработка основ инженерного метода расчета теплового переноса в подобных агрегатах, а также выработка некоторых практических рекомендаций по интенсификации протекающих тепломассообменных процессов.

I. ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДВИЖЕНИЯ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ И ТЕПЛООБМЕНА В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ У ПОВЕРХНОСТИ СТЕКЛОМАССЫ

Значительное место в проблеме исследования теплообменных процессов, протекающих в стекловаренных печах, занимают вопросы движения сред-дымных газов для условий внешней задачи и потоков стекломассы - для внутренней задачи. При этом, в связи с различными гидродинамическими условиями этих задач, их решение может быть получено различными способами.

При очень медленных течениях, а также при течениях очень вязких жидкостей силы трения значительно больше, чем силы инерции. Это имеет место, например, при движении расплава стекломассы в ваннах печах проточного типа. Здесь силы трения пропорциональны первой степени скорости, а силы инерции - ее квадрату. Поэтому в первом приближении мы можем пренебречь инерционными членами по сравнению с членами, зависящими от вязкости. Тогда уравнение переноса вихрей (уравнение Навье-Стокса) запишется в виде:

$$\nabla \nabla \gamma = 0 \quad (I)$$

где γ - функция тока применительно к двумерной задаче.

Течения, удовлетворяющие уравнению (I), называются ползучими движениями. Эти движения можно рассматривать как решение уравнения Навье-Стокса для случая, когда число Рейнольдса $Re \rightarrow 0$, т.к. это число является мерой отношения сил инерции к силам трения.

Рассмотрим приближенное решение уравнения Навье-Стокса для случая, когда силы трения значительно больше инерционных сил (ползущее движение). Это решение пригодно для значения числа Рейнольдса $Re < 1$. Действительно, в уравнении движения

$$(\bar{w} \text{ grad }) w = -\frac{1}{2} \text{ grad } \bar{p} + \frac{\mu}{\rho \nu L} \nabla^2 \bar{w} \quad (2)$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя, "Наука", 1969.
2. Патанкар С., Сполдинг Д. Тепло- и массообмен в пограничных слоях, "Энергия", 1971.
3. Бай-ши-и, Динамика излучающего газа, "Мир", 1968.
4. Head M.K. *Entrainment in the turbulent boundary layer*, ARC RM 3152, 1958.
5. Spense D.A. *The development of turbulent boundary layers on isothermal and adiabatic walls*, ARC RM 3191, 1959.
6. Федяевский К.К. и др. К расчету турбулентного пограничного слоя с продольным градиентом давления, труды ЦАГИ, вып. 1088, 1968.
7. Кудряшов Л.И. Теория подобия как метод построения приближенного аналитического решения задач гидромеханики и теплообмена, Сб. трудов КПИ, вып. VI, кн. I, 1956.
8. Шкляр Я.В., Лебедев В.И. Некоторые закономерности конвективного теплообмена в пламенном пространстве стекловаренной печи прямого нагрева, Сб. КПИ, вып. 27, г. Краснодар, 1970.
9. Лебедев В.И., Соколов В.А. Изучение конвективной составляющей сложного теплообмена на модели печи прямого нагрева, "Стекло и керамика", №6, 1976.
10. Исследование теплообмена при турбулентном движении жидкости на начальном участке канала прямоугольного сечения, отчет МИСИ, №73062175, г. Москва, 1973.
11. Шкляр Я.В. Сложный теплообмен в ваннах стекловаренных печей прямого нагрева, Сб. "Стекло, ситаллы и силикаты", №6, г. Минск, 1977.
12. Шкляр Я.В., Фельдман М.А., Лебедев В.И. К расчету сложного теплообмена в печах прямого нагрева, "Стекло и керамика", №7, 1977.
13. Описик М.М. Сложный теплообмен, (перевод с англ.), "Мир", 1976.
14. Уоссел А.Т., Эдвардс Д.К. Труды американского общества инженеров-механиков, "Теплопередача", перевод с англ. "Мир", 1976.
15. Миткалинский В.И. Струйное движение газов в печах, "Металлургиздат", 1961.
16. Лебедев В.И., Шкляр Я.В. О разделении сложного теплообмена в стекловаренных печах, Сб. МИСИ №70, г. Москва, 1970.

17. Гухман А.А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло-массообмена, "Высшая школа", 1974.
18. Теплотехническое обследование ванной стекловаренной печи прямого нагрева Ступинского завода стеклопластики, отчет ОКБ ЭТХИМ, №7307372-001, г. Москва, 1973.
19. Лебедев В.И., Шкляр Я.В. К расчету сложного теплообмена в стекловаренных печах, "Энергетика", Изв. вузов, №12, 1966.
20. Лебедев В.И., Шкляр Я.В. Исследование внешнего теплообмена в стекловаренных печах, Сб. "Теплообмен и эксплуатация стекловаренных печей производства стекловолокна", г. Москва, 1971.
21. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи, "Энергия", 1973.
22. Гинзбург Д.Б., Шкляр Я.В. и др. О теплообмене в пламенном пространстве стекловаренной печи", Сб. "Исследования в области химии и технологии силикатов", г. Москва, 1966.
23. Исследование путей интенсификации теплообмена в камерах сгорания и внедрение рекомендаций в производстве, Отчет МИСИ, №74015958, г. Москва, 1975.

Библиотека ВГТУ



0 0 2 1 5 6 3 1