

Витебский технологический институт легкой промышленности

УДК 661.1:536.2

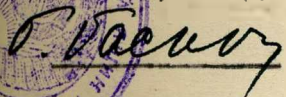
№ гос. регистрации 78019366

Инв. № **Б726395** 07.ФЕВ 78


"СОГЛАСОВАНО"

"УТВЕРЖДАЮ"

Руководитель предприятия п/я
№ 314, канд. техн. наук

 Басков Б.И.

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

 Горбачик В.Е.

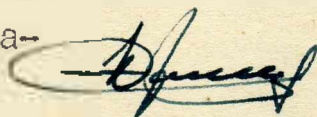
О Т Ч Е Т

по научно-исследовательской работе

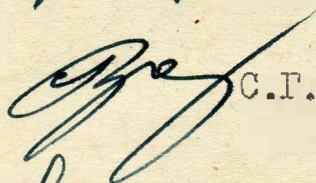
"ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА В УСЛОВИЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПОТОКА С ПОВЕРХНОСТЬЮ НАГРЕВА"

Шифр темн: ХЦ-105-78

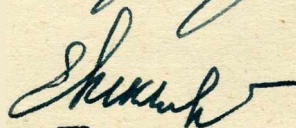
Начальник научно-исследова-
тельного сектора, инж.

 И.Е. Правдивый

Зав. кафедрой, к. т. н., доц.

 С.Г. Ковчур

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

 Я.В. Шкляр

Витебск, 1978

Библиотека ВГТУ



Список исполнителей

В составлении отчета участвовали: к.т.н., доцент Я.В.Шкляр – главы I, 2, 4 и 5; к.т.н., доцент Я.В.Шкляр и к.т.н., доцент В.П.Терентьев – глава 3.

В оформлении отчета принимали участие: асс. З.Е.Ковчур, лаборант С.Н.Строкова, студенты В.Н.Хорощев, С.А.Волков и А.Н.Носович.

РЕФЕРАТ

научно-исследовательской работы "ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА
В УСЛОВИЯХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ПОТОКА С
ПОВЕРХНОСТЬЮ НАГРЕВА"

В работе приведены результаты теоретического, численного и экспериментального исследования некоторых закономерностей сложного теплообмена в камере с равномерно распределенным вводом теплоносителя, которая является моделью различных типов теплотехнических установок, в том числе печей прямого нагрева производства стекловолокна.

Сравнительный анализ численного и экспериментального исследования задачи подтвердил достаточную надежность разработанного аналитического аппарата, что дает основание рекомендовать его для использования в тепловых расчетах соответствующих установок.

Исследовано влияние расхода топлива, условий его ввода, температуры дымовых газов и степени их черноты, а также различных режимных и конструктивных факторов на интенсивность сложного теплообмена. Результаты исследования позволили дать ряд практических рекомендаций, направленных на интенсификацию протекающих тепловых процессов.

Рис. - 26, табл. - 2, библиография - 17.

	стр.
1. Введение. Постановка задачи.	5
2. Аналитическое решение задачи взаимодействия движущихся излучающих продуктов сгорания топлива с теплоноспринимающей поверхностью.	9
2.1 Анализ системы уравнений сложного теплообмена.	9
2.2 Сложный теплообмен в камере с равномерно-распределенным вводом теплоносителя.	17
2.3 Критериальная обработка исходной системы уравнений теплообмена.	25
2.4 Вывод уравнения для расчета интенсивности сложного теплообмена в исследуемой камере.	28
3. Численное решение задачи взаимодействия движущихся излучающих продуктов сгорания топлива с тепловоспринимающей поверхностью для различных условий теплообмена	34
3.1 Изучение влияния лучистой и конвективной составляющих на интенсивность сложного теплообмена.	35
3.2 Исследование влияния различных режимных и конструктивных факторов на интенсивность сложного теплообмена.	44
3.3 Исследование зависимости лучистой и конвективной составляющих сложного теплообмена от различных условий протекания процесса.	59
4. Экспериментальное исследование сложного теплообмена на огневом стенде.	75
4.1 Описание экспериментальной установки	75
4.2 Средства и методика проведения измерений и обработки опытных данных.	76
4.3 Обсуждение результатов эксперимента и сравнение полученных данных с численным решением задачи.	86
5. Заключение.	91
Список литературы.	95

1. ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.

В современной технике, связанной с протеканием различных технологических процессов, важную роль играют явления теплового переноса, от интенсивности которых зависит сам технологический процесс, его эффективность, экономичность и, в конечном итоге — производительность оборудования и качество выпускаемой продукции.

За последние годы в Советском Союзе и за рубежом появилось значительное число работ, посвященных различным аспектам вопроса исследования сложного (комбинированного) теплообмена для широкого круга задач теплоэнергетики и промышленной теплотехники. Было выполнено и опубликовано большое количество теоретических и экспериментальных исследований по рассматриваемой проблеме, которые достаточно полно обобщены в 1, 2

Особый интерес представляет для нас сложный теплообмен в установках с равномерно распределенным вводом теплоносителя, так как он соответствует условиям работы печей прямого нагрева, получившим в настоящее время широкое распространение в промышленности стеклянного волокна.

Известно, что процесс передачи тепла от движущихся излучающих продуктов сгорания топлива к поверхности теплообмена в печах прямого нагрева происходит путем конвективного и радиационного переносов, подчиняясь закономерностям сложного теплообмена. Впервые этот вопрос обсуждался в 3, а наша работа 4 является, по-видимому, первой попыткой аналитической постановки задачи внешнего радиационно-конвективного теплообмена в стекловаренных печах. Учитывая сложность протекающих здесь физико-химических процессов, задача ставилась на базе одноразмерной схемы излучения с привлечением ряда упрощающих предпосылок.

Путем постановки специального экспериментального исследования теплообмена в условиях работы промышленной печи прямого нагрева производства стеклянного волокна были получены 5 опытные коэффициенты, характеризующие работу этого типа установок, что позволило провести достаточно полный анализ теплообмена от движущихся продуктов сгорания топлива к поверхности шихты и стекломассы.

Исследование внешнего теплообмена в стекловаренных печах прямого нагрева показало β , что увеличение коэффициента конвективного теплообмена при одном и том же значении критерия Больцмана (т.е. в сущности, при постоянной нагрузке печного объема) приводит к уменьшению температуры дымовых газов на выходе из установки, иными словами — к повышению тепловосприятия шихты и стекломассы. Такое соотношение между постоянной нагрузкой топочного объема камеры сгорания и переменной величиной, коэффициента конвективной теплоотдачи, которая, в свою очередь, является функцией гидродинамического критерия Рейнольдса, можно объяснить влиянием гидродинамики потока на теплообмен между движущейся в пламенном пространстве печи излучающей средой и поверхностью нагрева. Этот вывод вытекает из факта наличия у тепловоспринимающей поверхности теплового пограничного слоя, термическое сопротивление которого является определяющим в суммарном процессе теплопереноса. Поэтому любое изменение гидродинамики потока, даже не связанное с изменением его скорости, должно оказать и, как показывают наши исследования, оказывает значительное влияние на интенсивность передачи тепла.

Таким образом, изменяя, например, только направление потока дымовых газов по отношению к поверхности шихты и стекломассы, т.е. изменяя общую гидродинамическую картину, можно при одинаковых расходах топлива определенным образом интенсифицировать теплообмен за счет увеличения доли конвекции в сложном теплообмене. Эта задача является практически важной, потому, что, как показали наши

расчеты, конвективная составляющая в сложном теплообмене, имеющем место в пламенном пространстве стекловаренных печей, составляет значительную величину — порядка $18+30\%$ от суммарного теплообмена, и поэтому, воздействия на нее, можно достичь определенной интенсификации общего теплового потока.

Выяснение закономерностей теплообмена в условиях соударения факела с поверхностью нагрева особо важно при установке газогорелочных устройств в своде стекловаренной печи. В работе 7 показано, что количество тепла, переданное поверхности нагрева, непосредственно зависит от угла встречи набегающего факела с этой поверхностью. Экспериментальное исследование теплообмена, проведенное на огневом стенде при изменении угла встречи в пределах $60+90^\circ$, подтвердило это обстоятельство. Было показано, что тепловой поток к поверхности нагрева увеличивается на $18+25\%$.

Одним из способов интенсификации внешнего теплообмена является повышение радиационных характеристик факела горения топлива.

В частности, увеличение светимости факела природного газа в стекловаренных печах позволяет значительно усилить его теплоотдачу, что приводит к повышению производительности и экономичности работы печей, а также к улучшению качества продукции.

Эффективность светящегося факела обусловлена тем, что стекломасса при низком коэффициенте теплопроводности обладает высокой способностью поглощать тепло. Интенсификация теплоотдачи излучением путем увеличения светимости факела заключается в ускорении прогрева как поверхностных, так и глубинных слоев стекломассы.

Однако применяющийся на практике способ отопления печей с самокарбурацией газа в факеле мало эффективен, т.к. при этом снижается температура факела, уменьшается его кинетическая энергия и, как следствие, теплоотдача конвекцией. В связи с этим особое значение приобретает использование реформированного газа, получаемого

в специальных вымерах. При этом температура факела не снижается и одновременно имеется возможность управлять теплообменом от факела к ванне по длине рабочего пространства печи.

Однако, в настоящее время отсутствуют четкие рекомендации в части методики расчета теплообмена в печах прямого нагрева и количественного учета лучистой и конвективной составляющих, что совершенно необходимо для разработки мероприятий, направленных на интенсификацию работы этого оборудования. Поэтому в настоящей работе поставлена задача теоретического, численного и экспериментального исследования сложного теплообмена в печных установках прямого нагрева (камеры с равномерно распределенным вводом теплоносителя), а также разработка на этой основе практических рекомендаций, направленных на интенсификацию протекающих тепловых процессов.

2. АНАЛИТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВИЖУЩИХСЯ ИЗЛУЧАЮЩИХ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА С ТЕПЛОВОСПРИНИМАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

2.1. Анализ системы уравнений сложного теплообмена

Анализ современного состояния проблемы сложного теплообмена показывает, что в настоящее время имеется необходимая база, на основе которой возможна разработка инженерных методов решения этой проблемы. Очевидно, что такая задача должна решаться как в теоретическом плане, так и с помощью специально поставленных экспериментов.

В основе математического описания сложного теплообмена в установках прямого нагрева производства стеклянного волокна, когда совместно протекают радиационный, конвективный и кондуктивный переносы энергии, лежит классическая система дифференциальных и интегро-дифференциальных уравнений, включающая в себя уравнения движения среды, неразрывности потока, сохранения энергии и переноса излучения в совокупности с соответствующими условиями однозначности.

В качестве теплоносителя примем селективно излучающую и рассеивающую среду, протекающую в канале, причем стенки канала будем считать также селективно излучающими и обладающими произвольной индикатрисой отражения. Будем полагать, что в среде отсутствуют внутренние источники тепла и изменение температуры потока происходит за счет процесса сложного теплообмена между текущей средой и граничной поверхностью канала, физические параметры среды зависят от температуры и давления, а радиационные параметры — кроме того, еще и от частоты. Спектральные радиационные характеристики граничной поверхности также являются функциями температуры и частоты, причем температура на входе в канал предполагается из-

Список литературы

1. Адрианов В.Н. Основы радиационного и сложного теплообмена, "Энергия", М., 1972.
2. Оцирик Н.Н. Сложный теплообмен (перевод с английского), "Мир", М., 1976.
3. *Gezmezdan R. Über die Größe des konvektiven Wärmeübergangs von der Flamme auf das Glas in Glasmelzwannenöfen, Glastechn. Berichte, Heft 3,5; 1963.*
4. Лебедев В.И., Шкляр Я.В. К расчету сложного теплообмена в стекловаренных печах, "Энергетика", Изв. ВУЗов, №12, 1966.
5. Шкляр Я.В., Писцов Ю.Н. и др. О теплообмене в пламенном пространстве стекловаренной печи, Сб. трудов МХТИ им. Менделеева, вып. 50, 1966.
6. Шкляр Я.В. и др. Об интенсификации теплообмена в стекловаренных печах прямого нагрева, "Стекло и керамика", №2, 1967.
7. Коробко В.И., Турин В.В. Зависимость теплообмена от угла встречи факела со стекломассой, "Стекло и керамика", №5, 1973.
8. Шорин С.Н. Теплопередача, "Высшая школа", М., 1964.
9. Шкляр Я.В. и др. Радиационно-конвективный теплообмен в пламенном пространстве стекловаренных печей, Сб. трудов КПИ, вып. 39, Краснодар, 1972.
10. Гухман А.А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло-массообмена, "Высшая школа", М., 1974.
11. Шкляр Я.В., Лебедев В.И. Физическое моделирование сложного теплообмена в стекловаренных печах прямого нагрева, Сб. трудов МИСИ им. Куйбышева, №70, М., 1970.
12. Шкляр Я.В. и др. Моделирование внешнего теплообмена в пламенном пространстве стекловаренных печей, Сб. трудов ВТИШ, том I, г. Витебск, 1970.

13. Шкляр Я.В. Условия физического моделирования сложного теплообмена в газoeлектрических печах производства стекловолокна, сб. "Легкая промышленность", том. I, г. Минск, 1973.
14. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи, "Энергия", М., 1973.
15. Шкляр Я.В., Фельдман М.А., Лебедев В.И. К расчету сложного теплообмена в печах прямого нагрева, "Стекло и керамика", №7, 1977.
16. Уоссел А.Т., Эдвардс Д.К. Труды американского общества инженеров-механиков, "Теплопередача" (перевод с англ.), "Мир", М., 1976.
17. Шкляр Я.В. Теоретическое и экспериментальное исследование сложного теплообмена в печных установках производства стеклянного волокна. Отчет по научно-исследовательской работе № 76033398, г. Витебск, 1978 г.

Библиотека ВГТУ



0 0 2 1 5 6 3 3