

УДК 536.24 : 677.68

№ гос. регистрации 76033400
Инв. № Б963051 01.10.1981



" УТВЕРЖДАЮ "

Проректор по научной работе,
кандидат техн. наук, доцент

Горбачик В. Е.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОМАССООБМЕНА В ТЕХНОЛОГИ -
ЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

(промежуточный отчёт)

Шифр темы : ГБ - 76 - 42

Начальник научно-исследовательского сектора , инж.

Зав. кафедрой, к. т. н., доцент

Руководитель темы, к. т. н., доцент

И. Е. ПРАВДИВЫЙ

С. Г. КОВЧУР

Я. В. ШКЛЯР

Витебск, 1980

Библиотека ВГТУ



СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

к.т.н. доцент Я.В. ШКЛЯР -

разделы 2.1, 2.2 и 2.4 ;

к.т.н. доцент А.И. ОЛЬШАНСКИЙ -

разделы 3.1, 3.3 и 3.4 ;

Раздел 2.3 написан совместно доц. Я.В. ШКЛЯРОМ

и доц. В.П. ТЕРЕНТЬЕВЫМ ;

Раздел 3.2 написан совместно доц. Я.В. ШКЛЯРОМ

и доц. А.И. ОЛЬШАНСКИМ.

Введение и выводы написаны совместно

доц. Я.В. ШКЛЯРОМ и доц. А.И. ОЛЬШАНСКИМ

РЕФЕРАТ

научно - исследовательской работы "ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛО - МАССООБМЕНА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ".

В работе приведены результаты теоретического, численного и экспериментального исследования некоторых закономерностей сложного теплообмена в камере с равномерно распределённым вводом теплоносителя, которая является моделью различных типов теплотехнологических установок, в том числе и установок прямого нагрева производства стеклянного волокна. Сравнительный анализ численного и экспериментального исследований задачи подтвердил достаточную надёжность разработанного аналитического аппарата, что даёт основание рекомендовать его для использования в тепловых расчётах соответствующих установок.

Проанализирована качественная картина и получены количественные соотношения, устанавливающие зависимость производительности установок сткловолокна от температурного уровня процесса, условий отопления, расхода топлива и радиационных характеристик факела и поверхности теплообмена. Показаны возможности роста производительности установок за счёт воздействия на эти параметры.

Разработаны приближенные методы расчёта кривой скорости сушки и температуры материала в периоде падающей скорости. Полученные уравнения позволяют определять основные кинетические характеристики процесса сушки по одной известной величине - скорости сушки в первом периоде.

Проведено решение дифференциальных уравнений тепломассообмена при граничных условиях третьего рода и различных значениях теплообменного критерия Био.

На основе анализа полученных решений проведено исследование влияния основных критериев подобия тепломассопереноса на

температурный коэффициент сушки, что позволяет распространить полученные закономерности на процессы сушки материалов различной толщины.

Рис. 25 , табл. 6 , библи. 3Г

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.	
2. ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНОГО ТЕПЛООБМЕНА В УСТАНОВКАХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛЯННОГО ВОЛОКНА	10
2.1 Теоретическое исследование основных закономерностей сложного теплообмена в камере с равномерно распределённым вводом теплоносителя	10
2.2 Экспериментальное исследование сложного теплообмена в камере с равномерно распределённым вводом теплоносителя	25
2.3 Численное исследование влияния различных факторов на интенсивность сложного теплообмена	37
2.4 Исследование влияния основных характеристик сложного теплообмена на производительность установок стекловолокна	55
3. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛО - И МАССООБМЕНА В ПРОЦЕССЕ СУШКИ ВЛАЖНЫХ МАТЕРИАЛОВ	69
3.1 Исследование кинетики процесса сушки влажных материалов в периоде падающей скорости сушки материалов и приближённые метода расчёта кривой скорости сушки	69
3.2 Тепло - и массообмен при сушке обуви в конвективно - радиационных сушильных установках типа АРКС - 0	89
3.3 Кинетика сушки подошвенных кож	101
3.4 Зависимость температурного коэффициента сушки от критериев подобия тепло- массообмена при различных значениях теплообменного критерия Био	115

4. УСТАНОВКА И МЕТОДЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕКОТО-
РЫХ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕКС-
ТИЛЬНЫХ И ОБУВНЫХ МАТЕРИАЛОВ

4.1 Описание установок 124

4.2 Основные расчётные соотношения 126

4.3 Методика проведения эксперимента 129

5. ВЫВОДЫ 131

ЛИТЕРАТУРА 134

I. 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 экономичность и, в конечном итоге, производительность оборудования и качество выпускаемой продукции.

В связи со значительным развитием промышленности стеклянного волокна актуальной является задача исследования тепловой работы одного из важнейших звеньев технологической цепочки производства — стекловаренной печи. Несмотря на имеющийся значительный опыт эксплуатации этих установок, до сих пор нет надежных способов расчёта теплопередачи в них, т.к. ввиду сложности протекающих процессов точное 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 последние годы было проведено значительное количество теоретических и экспериментальных исследований теплообмена, но практическое применение результатов этих работ встречает определенные затруднения. Однако имеется реальная возможность развивать на их базе полуэмпирические и приближенные методы расчёта теплообмена в установках для производства стеклянного волокна, обобщая эти данные на основе теории подобия.

Стекловаренные печи являются значительными потребителями топлива. В настоящее время на заводах по выработке стекловолокна и технического стекла ежегодно сжигается свыше 4 млн тонн условного топлива. Поэтому особую важность приобретает задача разработки мероприятий по интенсификации протекающих в печах теплообменных процессов с целью повышения производительности этих установок и снижения удельных расходов тепла и топлива.

В настоящей работе приводятся некоторые результаты теоретичес-

кого, экспериментального и численного исследования сложного теплообмена в установках прямого нагрева для производства стеклянного волокна, а также исследования возможностей интенсификации процессов теплового переноса с целью увеличения производительности этих установок и экономии топливно - энергетических ресурсов.

В технологических установках текстильной и легкой промышленности широкое распространение получили процессы обезвоживания обрабатываемых материалов, в том числе - процессы сушки и термообработки различных изделий.

Процесс сушки влажных материалов является одновременно и технологическим процессом, при котором могут изменяться структурно-механические, технологические и физико - биохимические свойства материала. Изменение этих свойств обусловлено тем обстоятельством, что в процессе сушки происходит изменение форм связи с материалом и её частичное удаление путем испарения.

К основным важным параметрам кинетики сушки, влияющим на качество готовой продукции и расход топлива на сушку, относится длительность процесса. Установление однозначной зависимости длительности процесса от влагосодержания имеет большое практическое значение, особенно для технологии сушки, поскольку основные технологические свойства материала определяются её температурой и временем её воздействия на материал. Эти зависимости позволяют выбрать оптимальные параметры процесса, а также методы расчёта длительности сушки. Однако, получить указанные зависимости из решения системы дифференциальных уравнений переноса тепла и массы оказывается достаточно трудной задачей, так как процесс сушки отличается большой сложностью. Поэтому большой интерес представляет возможность получить приближенные экспериментальные соотношения, которые позволяли бы определять продолжительность процесса сушки в любой момент времени.

В настоящей работе поставлена задача, на основе анализа экспериментальных данных и существующих приближенных методов расчёта длительности сушки, получить новые методы приближенного расчёта продол-

жительности процесса. В работе был использован обширный экспериментальный материал, накопленный в литературных источниках и обработанный по предлагаемым методикам.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНОГО ТЕПЛООБМЕНА В УСТАНОВКАХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛЯННОГО ВОЛОКНА .

За последние годы в Советском Союзе и за рубежом появи-
лось значительное число работ ,посвященных различным аспектам
вопроса исследования сложного (комбинированного) теплообмена
для широкого круга задач теплоэнергетики и промышленной теп-
лотехники 1,2 .

Определенный интерес представляет сложный теплообмен в
камере с равномерно распределенным вводом теплоносителя , так
как он соответствует условиям работы установок прямого наг-
рева, получившим в настоящее время широкое распространение в
промышленности стеклянного волокна.

2.1 Теоретическое исследование основных закономерностей сложного теплообмена в камере с равномерно распре- деленным вводом теплоносителя .

Анализ современного состояния проблемы сложного теплооб-
мена показывает, что имеется необходимая база ,на основе ко-
торой 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 камере с равномерно распределенным вводом теплоносителя,
когда совместно протекают радиационный, конвективный и кондук-
тивный переносы энергии, лежит классическая система дифферен-
циальных и интегро - дифференциальных уравнений , включающая
в себя уравнения движения среды ,неразрывности потока ,сох-

ЛИТЕРАТУРА

1. АНДРИАНОВ В.Н. Основы радиационного и сложного теплообмена, "Энергия", М., 1972.
2. ОЦИСАК Н.Н. Сложный теплообмен(перевод с английского), " Мир ", М., 1976
3. ГУХМАН А.А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло - массообмена. "Высшая школа"М., 1974.
4. ШОРАН С.Н. Теплопередача, "Высшая школа", М., 1964.
5. ШКЛЯР Я.В., ФЕЛЬДМАН М.А., ЛЕБЕДЕВ В.И. К расчёту сложного теплообмена в печах прямого нагрева", "Стекло и керамика", № 7, 1977.
6. ШКЛЯР Я.В., ЛЕБЕДЕВ В.И. К расчёту конвективной составляющей сложного теплообмена в условиях прямого нагрева производства стекловолкна. Сб. трудов МИСИ им.Куйбышева, № 176, г.Москва.
7. ШКЛЯР Я.В., ЛЕБЕДЕВ В.И., ПИСЦОВ Ю.Н. Исследование теплообмена в камере с равномерно распределённым по длине вводом теплоносителя. "Энергетика"; Изв.ВУЗов, №1, 1980.
8. ШКЛЯР Я.В., ПИСЦОВ Ю.Н. и др. Экспериментальное исследование теплообмена в ванной печи прямого нагрева. Сб.трудов ГИС, № 6, г.Ярославль, 1978.
9. ШКЛЯР Я.В. Сложный теплообмен в ваннах печах прямого нагрева, Сб. "Стекло; таллы и силикаты", №6, г.Минск, 1977.
10. ШКЛЯР Я.В., ЩЕРБАКОВ В.И. О некоторых закономерностях сложного теплообмена в установках производства стеклянного волокна. Сб.трудов Всесоюзной научно - технической конференции "Повышение эффективности тепло- массообменных и гидродинамических процессов в текстильной промышленности и производстве хим-волокон", г.Москва, 1978.

11. ШКЯР Я. В., ПИСЦОВ Ю. Н. Интенсификация теплообмена в печах прямого нагрева при варке алюмоборосиликатного стекла. Сб. трудов Всесоюзного научно-исследовательского института стекловолокна.
12. ЛЫКОВ А. В. Теория сушки. "Энергия", 1968.
13. КРАСНИКОВ В. В. Кондуктивная сушка "Энергия", 1973.
14. ДОКУЧАЕВ Н. Ф., СМИРНОВ М. С. "Скорость сушки некоторых материалов", Известия вузов, "Пищевая технология", №3, 1959.
15. ЛЫКОВ А. В., КУЦ П. С., ОЛЬШАНСКИЙ А. И. Кинетика теплообмена в процессе сушки влажных материалов", ИФЖ Т 23, №3, 1972.
16. КУЦ П. С., ОЛЬШАНСКИЙ А. И. К вопросу приближенной методики расчёта кинетики конвективной сушки плоских материалов. ИФЖ, т. 28, № 4, 1975.
17. ОЛЬШАНСКИЙ А. И., БРОМ Е. Л. К определению скорости сушки материалов. Известия вузов, "Технология легкой промышленности", № 4, 1975.
18. ЛЫКОВ А. В., ШЕЙМАН В. А., КУЦ П. С., СЛОБОДКИН Л. С. Приближенный метод расчёта кинетики процесса сушки. ИФЖ, т. 13, № 5, 1967.
19. ЛЫКОВ А. В., ШЕЙМАН В. А., КУЦ П. С., СЛОБОДКИН Л. С. Приближенный метод расчёта температуры материала в процессе сушки Сб. "Тепло - и массообмен", т. 6, часть I, Изд-во "Навукова думка", 1968.
20. ОЛЬШАНСКИЙ А. И. Приближенные методы расчёта кривой скорости сушки. Сб. "Тепло - и массообмен в сушильных и термических процессах", Минск, 1971.
21. КУЦ П. С., ОЛЬШАНСКИЙ А. И. "Экспериментальное исследование зависимости критерия Ребиндера от режимных параметров. Сб. трудов 3-ей конференции по сушке. Будапешт, 1971.

22. ЛЫКОВ А.В. Кинетика и динамика процессов сушки и увлажнения. М., Гизлегпром, 1938.
23. КАВКАЗОВ Ю.Л. Взаимодействие кожи с влагой. М., Гизлегпром, 1952.
24. КАВКАЗОВ Ю.Л. Тепло - и массообмен в технологии кожи и обуви. М., "Легкая индустрия", 1973.
25. ЛЫКОВ А.В., МИХАЙЛОВ Ю.А. Теория тепло - и массопереноса. Госэнергоиздат, 1963.
26. МИХАЙЛОВ М.Д. Нестационарный тепло - и массоперенос в одномерных телах. Изд. ИТМО АН БССР, Минск, 1969.
27. КУЦ П.С., ОЛЬШАНСКИЙ А.И. Зависимость между критериями подобия тепло- и массообмена и температурным коэффициентом сушки. ИФЖ, т.23, № 6, 1972.
28. КУЦ П.С., ОЛЬШАНСКИЙ А.И., БРОМ Е.Л. Зависимость температурного коэффициента сушки от критериев подобия тепло - и массообмена при различных значениях теплообменного критерия Био. ИФЖ, т.33, № 1, 1977.
29. ШКЛЯР Я.В., ЩЕРБАКОВ В.И. Метод определения температурной зависимости эффективных коэффициентов излучения и теплопроводности текстильных материалов, "Новые методы исследования строения свойств и оценки качества текстильных материалов". Минск, "Высшая школа", 1977.
30. ФУКС Г.Ц., БОЙКОВ Г.П. Определение степени черноты методом двух эталонов. "Известия ВУЗов", "Энергетика", №11, 1962.
31. ШКЛЯР Я.В., ЩЕРБАКОВ В.И. Исследование терморadiационных свойств тканей. Межвузовский сборник, посвященный 60-летию МТИ, М., 1979.

Библиотека ВГТУ

