Юнусов Ленар Ринатович. Исследование процессов конвективного тепломассообмена в условиях вакуумно-конвективных сушильных камер : диссертация ... кандидата технических наук : 05.17.08 / Юнусов Ленар Ринатович; [Место защиты: Иван. гос. хим.-технол. ун-т]. - Казань, 2008. - 166 с. : ил. РГБ ОД, 61:08-5/776

Казанский государственный технологический университет

На правах рукописи

04200850669

Юнусов Ленар Ринатович

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНВЕКТИВНОГО

ТЕПЛОМАССООБМЕНА В УСЛОВИЯХ ВАКУУМНО-

КОНВЕКТИВНЫХ СУШИЛЬНЫХ КАМЕР

05.17.08 - Процессы и аппараты химических технологий

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный консультант - доктор технических наук, профессор, Заслуженный изобретатель РФ САФИН Р.Г.

Казань - 2008

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ И МЕХАНИКИ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ

КОНВЕКТИВНОМ ПОДВОДЕ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ 11

1.1. Анализ способов сушки древесины, основанных

на конвективном методе подвода тепловой энергии 11

1.2. Анализ конвективного тепло- и массообмена

в процессе сушки древесины 17

1.3. Анализ исследований древесины как объекта сушки 27

Выводы 39

Глава И. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛОМАССООБМЕНА В УСЛОВИЯХ ВАКУУМНО-КОНВЕКТИВНОЙ СУШИЛЬНОЙ КАМЕРЫ 41

2.1. Физическая картина процесса 41

2.2. Формализация процесса 44

2.3. Математическое описание процессов сушки

пиломатериалов при конвективных способах подвода тепла 45

2.5. Алгоритм расчета процесса конвективной

сушки пиломатериалов 54

2.6. Инженерная методика расчета вакуумно-конвективной

сушильной камеры 57

Выводы 64

Глава III. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ПРИ КОНВЕКТИВНОМ ТЕПЛОПОДВОДЕ 66

3.1. Экспериментальная установка для исследования материальных и тепловых потоков в конвективных

з

сушильных камерах 67

2.2. Установка для исследования кинетики вакуумной сушки материала с под-водом тепла от газообразного теплоносителя 71

2.3. Математическое моделирование и экспериментальное исследование процессов, протекающих при сушке древесины

в вакуумно-конвективных камерах 74

Выводы 88

Глава IV. ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ВАКУУМНО-КОНВЕКТИВНОЙ СУШКЕ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ 91

4.1. Разработка вакуумно-конвективной сушильной камеры

с продольной циркуляцией теплоносителя 92

4.2. Разработка вакуумно-конвективной камеры

с поперечной циркуляцией 100

4.3. Результаты испытаний вакуумно-конвективных

сушильных камер ВОСК-1 и ВОСК-2 103

4.4. Разработка аппарата вакуумно-конвективной сушки,

реализующей энергосберегающую технологию 114

4.5. Модернизация существующих конвективных камер 116

Выводы 120

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 122

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ 125

ЛИТЕРАТУРА 128

ПРИЛОЖЕНИЯ 144

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современных условиях при наблюдаемой тенденции роста тарифов на энергоносители, особенно актуальной становится проблема энергосбережения в наиболее энергоемких процессах, к каковым на многих предприятиях относится сушка материалов. Особенное значение данный технологический процесс приобретает в условиях, когда необходимо сохранение определенных свойств высушиваемого материала. В частности, продолжительность сушки массивной древесины, являющаяся наиболее ярким представителем капиллярнопористых коллоидных материалов, занимает от двух недель до двух месяцев в зависимости от сортамента высушиваемого пиломатериала, что обусловлено развитием внутренних сушильных напряжений, приводящих к нарушению целостности и снижению качества сушки. Подобная длительность процесса приводит к значительному потреблению тепло- и электроэнергии. Но даже при высоких издержках рассматриваемого процесса не удается избежать низкого качества высушиваемого пиломатериала, вследствие развития высоких внутренних напряжений при традиционных конвективных способах удаления влаги.

В связи с этим наиболее перспективными в области сушки древесины многими исследователями признаются вакуумные технологии сушки древесины, поскольку позволяют значительно сократить продолжительность по сравнению с традиционными способами, а значит, снизить себестоимость процесса. Кроме того, возможность ведения сушки при более низких температурах позволяет исключить потемнение древесины и снижение её механических характеристик. При этом наиболее перспективным направлением как с позиций себестоимости процесса, так и с позиций качества получаемой продукции считаются вакуумно-конвективные - технологии сушки. ' ----- - -- ------­

Несмотря на все преимущества вакуумных технологий на этапе их аппаратурного оформления возникают серьезные затруднения, связанные с

выбором рациональной конструкции аппаратов и режимов их работы. Поэтому разработка методов расчета процессов, протекающих при вакуумно­конвективной сушке пиломатериалов, совершенствование действующих и создание новых высокоэффективных ресурсо- и энергосберегающих технологий и их аппаратурного оформления является актуальной задачей.

Возможность проведения исследований данных процессов по единой методике связана, как показал обзор литературы, с общностью дифференциальных уравнений переноса потенциала, структуры движущей силы и идентичностью выражений для межфазных потоков переноса. При этом движущей силой является разность парциальных давлений паров удаляемой жидкости над поверхностью влажного материала и в парогазовой фазе.

В результате всесторонних исследований разработаны инженерная методика расчета аппаратурного оформления и математическая модель процессов, протекающих при вакуумной сушке пиломатериалов с конвективными способами подвода тепла, основанные на общей системе дифференциальных уравнений, характеризующейся упрощающими условиями для рассматриваемых физических ситуаций, а также формулировкой начальных и граничных условий. Адекватность методов расчета подтверждена экспериментами, проведенными на лабораторных и промышленных установках.

Разработанная инженерная методика расчета аппаратурного оформления позволяет обоснованно рассчитать оборудование и конструктивные особенности сушильной камеры.

Разработан алгоритм расчета исследуемых процессов и компьютерная программа для моделирования. По известным экспериментальным данным получены функциональные зависимости теплофизических, массопроводных и-механических~характеристик~древесины~сГ'целью увеличения точности и повышения автоматизации расчетов.

Созданы экспериментальные установки для исследования указанных процессов. Отдельные решения, положенные в основу лабораторных установок, в дальнейшем нашли использование в аппаратурном оформлении процессов сушки. Экспериментальные установки используются в учебном процессе и позволяют оперативно готовить опытные образцы и осуществлять всестороннее изучение процессов сушки древесины.

В результате математического моделирования были получены рекомендации по режимным параметрам исследуемых процессов и конструктивным особенностям вакуумно-конвективных аппаратов сушки.

Разработанные методы расчета и представленные конструктивные решения позволили создать новые и усовершенствовать существующие промышленные установки, которые позволили сократить продолжительность процесса сушки без ущерба качеству пиломатериалов. Внедрены в производство промышленные вакуумные сушильные камеры, на базе которых разработана принципиально новая конструкция вакуумной сушилки с большой производительностью.

Проведенные исследования легли в основу модернизацией существующих конвективных сушильных камер, которые позволили сократить продолжительность и предотвратить неравномерность высушивания штабеля пиломатериалов.

Научные и прикладные результаты исследований переданы предприятиям и проектным организациям в виде методик расчетов процессов сушки, отчетов, проектов и рекомендаций для реконструкции и проектирования сушильного процесса и оборудования. Суммарный годовой экономический эффект от внедрений результатов исследований, подтвержденных соответствующими актами, составил более 2,2 млн. руб.