Гербей Владимир Михайлович. Разработка конструкции сушилки для шпона пониженных толщин : диссертация ... кандидата технических наук : 05.06.02. - Львов, 1984. - 246 c. : ил. РГБ ОД, 61:85-5/2467

**Содержание к диссертации**

Введение

**Глава I. Состояние вопроса, и задачи исследования .. 7**

1.1. Вопросы возникновения и развития задачи 7

1.2. Методы и аппараты, оослуживающие процесс 10

1.3. Выбор объекта и направления исследований 15

**Глава 2. Исследование подобия процессов тепломассопереноса на барабанно-ленточной сушилке, моделирование и постановка задачи 19**

2.1. Уравнения, описывающие процесс 19

2.2. Определение основных числе и критериев подобия процессов 23

2.3. Анализ чисел подобия 24

2.4. Конкретизация целенаправленности исследований и постановка задачи 24

**Глава 3. Исследование процессов теплопередачи, связанных с переносом тепла в элементах сушилки и шпоне... 28**

3.1. Тепловой баланс барабанно-ленточной сушилки 28

3.2. Анализ теплопроводности транспортирующих лент 35

3.3. Анализ теплопереноса во влажном шпоне 41

**Глава 4. Исследование массопередачи в процессе сушки шпона на барабанно-ленточной сушилке 49**

4.1. Анализ массопереноса в шпоне 49

4.2. Исследование взаимодействия турбулентного пограничного слоя с поверхностью шпона 54

4.3. Исследование влияния шероховатости транспортирующих лент на турбулентность в пограничном слое

3 4.4. Составление уравнения массоотдачи шпона в пограничный турбулентный слой 60

4.5. Массоотдача шпона 63

**Глава 5. Исследование динамических, кинематических и геометрических характеристик барабанно-ленточной сушилки 74**

5.1. Определение предельного радиуса изгиба шпона 74

5.2. Анализ сил, действующих на шпон 81

**Глава б. Экспериментальные исследования тепломассопереноса и методов его интенсификации в процессах сушки ... 90**

6.1. Задачи экспериментальных исследований 90

6.1.1. План проведения экспериментальных исследований и планирование экспериментов 91

6.1.2. Выбор измерительной аппаратуры, ее тарировка и определение точности проведения экспериментов

6.2. Описание лабораторной экспериментальной установки... 104

6.3. Методика исследования тепломассопереноса на модельной лабораторной установке 1 6.3.1. Выбор и заготовка опытных образцов 107

6.3.2. Методика исследования массопереноса в процессе сушки шпона на лабораторной установке 108

6.3.3. Методика исследования температурного режима процесса сушки шпона на лабораторной установке 109

6.4. Экспериментальные исследования тепломассопереноса на модельной лабораторной установке НО

6.4.1. Анализ результатов экспериментальных исследований тепломассопереноса на модельной лабораторной установке НО

6.5. Экспериментальные исследования интенсификации процесса тепломассообмена 121

6.5.1. Экспериментальная установка 121

6.5.2. Методика экспериментального исследования теплообмена 122

6.5.2а. Методика исследования динамического пограничного слоя при обтекании пластины газом 123

6.5.26. Методика исследования теплового пограничного слоя при обтекании пластины 126

6.6. Результаты экспериментального исследования теплообмена 127

6.7. Исследования влияния турбулентных характеристик пограничного слоя на интенсивность протекания процессов тепломассообмена

6.7.1. Методика исследования теплообмена пластины в турбулентном потоке , , 134

6.7.2. Результаты экспериментального исследования теплообмена пластины в турбулентном потоке

6.8. Анализ результатов экспериментальных исследований интенсификации процесса теплообмена..., 139

6.9. Исследование влияния турбулентных характеристик пограничного слоя на массообмен 144

6.10. Внедрение результатов работы в производство 150

**Глава 7. Обоснование экономической эффективности использования в фанерной промышленности разработанных в диссертации научных предложений 154**

Заключение 164

Список использованных источников

* [Методы и аппараты, оослуживающие процесс](http://www.dslib.net/les-mashyny/razrabotka-konstrukcii-sushilki-dlja-shpona-ponizhennyh-tolwin.html#1836681)
* [Анализ чисел подобия](http://www.dslib.net/les-mashyny/razrabotka-konstrukcii-sushilki-dlja-shpona-ponizhennyh-tolwin.html#1836682)
* [Анализ теплопроводности транспортирующих лент](http://www.dslib.net/les-mashyny/razrabotka-konstrukcii-sushilki-dlja-shpona-ponizhennyh-tolwin.html#1836683)
* [Исследование влияния шероховатости транспортирующих лент на турбулентность в пограничном слое](http://www.dslib.net/les-mashyny/razrabotka-konstrukcii-sushilki-dlja-shpona-ponizhennyh-tolwin.html#1836684)

## Методы и аппараты, оослуживающие процесс

Как уже отмечалось выше, одним из наиболее интенсивных способов сушки является контактный способ. В связи с высокой интенсивностью процесса этот способ широко применяется в пищевой, целлюлозно-бумажной, химической, текстильной, энергетической и др. отраслях промышленности. Многоотраслевое применение контактного способа сушки привело к большому разнообразию сушильных агрегатов. Это - барабанные, вальцовые сушилки, шкафные с нагре вательными полками, дыхательные пресса и т.д. В деревообрабатывающей промышленности для сушки шпона контактньм способом применяются, в основном, дыхательные пресса, передача тепла в которых происходит путем непосредственного соприкосновения шпона с поверхностью горячих плит \SSjMkj 97 9 і О Z. J

Ввиду высокой интенсивности процесса сушки, экономичности, контактньм способом сушилось до 60-х годов у нас в стране 70% всего вырабатываемого сырого шпона I 38 \ .В дальнейшем из-за ряда недостатков, присущих дыхательным прессам, они вытеснялись более производительными роликовьми сушилками. Недостатки, присущие дыхательным прессам, которые в дальнейшем ограничили их распространение, состоят в следующем: довольно низкое качество сушки из-за гофристости шпона, трудности загрузки и выгрузки шпона, отсутствие охлаждения шпона.

Кроме того, сушка шпона в дыхательных прессах не предполагает организации производства шпона непрерывно-поточным методом. Все это привело к созданию как у нас, так и за рубежом новых конструкций агрегатов контактной сушки непрерывного действия. В частности, фирмой "Меррит" (США) выпускались сушилки, принцип действия которых основан на 2-х стороннем контакте плит со шпоном 3 7 J . Однако, в силу большой сложности кинематики эти сушилки не нашли широкого распространения.

У нас в стране контактную сушилку непрерывного действия разработал ЩИШІ 37 .В сушилке ЩИИіа, в отличие от сушилки фирмы "Меррит", передача тепла к шпону осуществляется путем од ностороннего контакта с нагревательными плитами, что позволило более эффективно использовать площадь нагрева плит, за счет чего повысилась производительность агрегата. Однако, вместе с тем, наблюдается значительное увеличение продолжительности сушки шпо на по сравнению с 2-х сторонним контактом, на что большое влия ние оказывает площадь контакта шпона с плитой. При такой схеме шпон имеет хороший контакт с нагревательными плитами фактически только по линии прижима шпона роликом. В пространствах между роликами шпон или провисает, или имеет весьма слабый прижим, что значительно увеличивает термическое сопротивление передачи тепла. ЩИШом были проведены также исследования контактной сушки массивной древесины. [ dOZ \ .На основании проведен ных исследований была доказана целесообразность данного способа сушки и разработан полуавтомат для сушки тонких дощечек. По сравнению с камерной сушкой себестоимость сушки в контактной полуавтоматической сушилке снижается в 2 раза, кроме того, в 5-6 раз сокращается производственная площадь. ІЩИИШом предложен еще один вариант поточной линии, которая работает по схеме: лущение, сушка шпона с одновременной рубкой, сортировка, где используются контактные сушилки в виде нагревательных плит. Однако, эти линии не нашли широкого применения в производстве.

Решению вопросов высокоэффективной сушки шпона пониженных толщин много внимания уделяется в УкрНИИМОДе и Львовском лесотехническом институте. В результате совместной работы указанных коллективов были предложены новые конструкции контактно-конвективных и контактных сушилок [ 103 J , 104 . В предложенной контактно - конвек -15 тивной сушилке {OB J, сушка шпона происходит между паропро-ницаемыми лентами, выполняющими роль и тешгопередающей среды и эвакуатора влаги. Сушка шпона в такой системе представляет большой интерес, так как при этом возможно совместное решение таких важных вопросов, как ведение высокоинтенсивного процесса сушки за счет контактного подвода тепла, получение продукта высокого качества, так как ленты, обжимая шпон с двух сторон, предупреждают появление гофра, кроме того, создаются благоприятные условия для получения равномерного температурного поля, что обусловливает минимальный разбег влажности по площади поверхности шпона и, что очень важно, создается возможность сушки шпона практически любой минимальной толщины и шпона в ленте.

Исходя из выше сказанного, объектом исследования выбрано барабанно-ленточную сушилку проходного типа, рис. I.I. авт.свид. № 395255 [ 103 ] .

Сушилка включает натяжные ролики I, несущие элементы транспортирующего устройства - капиллярно-пористые ленты 2 и 3, опорные ролики 4, нагревательные и охлаждающие органы (барабаны) 5, приточную трубу б, вентиляционный орган 7 и корпус 8. Сушилка работает следующим образом: натяжные ролики I, опорные ролики 4 и принудительно вращающиеся барабаны 5 обеспечивают продвижение транспортирующего устройства - капиллярно-пористых лент 2 и 3 через всю сушилку. Загрузка и выгрузка шпона производится на одном этаже. Шпон поступает на ленту 2 и затем между лентами 2 и 3 огибает все барабаны поочередно контактируя с ними. Пары влаги из шпона через транспортирующие ленты поступает внутрь корпуса установки и удаляются вентиляционным органом

## Анализ чисел подобия

Полученное выражение 3.1.16. представляет собой зависимость между скоростью сушки [у , мощностью, расходуемой собственно на сушку и теплофизическими параметрами сушимого материала. Из анализа зависимости 3.1.16. видно, что увеличения скорости сушки можно добиться двумя путями - или увеличением мощности, расходуемой на сушку, или уменьшением изменения энтальпии в процессе сушки. Для увеличения мощности, расходуемой на сушку без роста энергетических затрат необходимо уменьшать непроизводительные потери энергии, чего можно достичь совершенствованием конструкций сушилок или разработкой новых, в которых тепловые потери сводились бы к минимуму. Важньм фактором для уменьшения изменения энтальпии в процессе сушки является предварительный прогрев сушимого материала.

Для вывода показателя количественной оценки качества использования энергии сушилкой воспользуемся зависимостью 3.1.15., которую можно записать в следующем виде:

Разделив обе части уравнения на СУпопн , получим: Как видно из уравнения 3.1.18., число г\т определяет качество процесса сушки на установке с точки зрения распределения тепла. Чем больше число Кт процесса сушки на данной установке, тем меньше тепловых потерь, а, значит, качественнее установка и экономичнее процесс.

Если преобразовать 3.1.18., умножив числитель и знаменатель на время сушки L с , то получим: Км А/лАс /3.1.19./ где А/у - полная удельная мощность процесса. Учитывая, что качество процесса и установки улучшается при увеличении числа К» , можно прийти к выводу, что с одной стороны необходимо уменьшать расходуемую на процесс мощность при сохранении на том же уровне скорости сушки и с другой стороны для увеличения числа К необходимо увеличивать скорость сушки. На величину скорости сушки существенное влияние оказывает температурный режим процесса, который в основном определяется температурой греющей поверхности и услввиями взаимодействия сушимого материала с окружающей средой. С ростом температуры греющей поверхности скорость сушки увеличивается. Однако, чтобы этого достичь необходимо увеличивать расходуемую на процесс мощность, вследствие чего число Км мало изменяется. Кроме того, рост температуры греющей поверхности ограничен из-за возможного подгорания древесины. Поэтому, увеличение скорости сушки при сохранении на том же уровне расходуемой мощности является проблемой, тесно связанной с задачами интенсификации процессов тепломассообмена.

В процессе сушки шпона в барабанно-ленточной сушилке он постоянно находится в контакте с двумя транспортирующими лентами. Нагрев шпона в сушилке осуществляется посредством контактной передачи тепла от греющих барабанов к транспортирующим лентам и от лент к шпону. Поэтому, температурный режим процесса сушки будет определяться не только температурой греющих поверхностей барабанов, но и температурой поверхностей лент, прилегающих к шпону. Таким образом, ленты являются не только транспортирующим, но и теплопередающим органом сушилки. В этой связи, представляется целесообразным исследовать процесс переноса тепла через пористые транспортирующие ленты с целью установления функциональной зависимости температуры поверхности ленты, прилегающей к шпону, от ее теплофизических характеристик, температуры греющей поверхности барабана и угла его поворота. При выводе уравнения температурного поля применялся метод,предложенный Рачинским А.В., Балахонцевым Е.В. и Вересом A.A. 46 J . Так как транспортирующие ленты представляют собой пористый материал, учет этого фактора значительно уточнил бы результат решения. С этой целью воспользуемся понятием пористости: где JLc- коэффициент теплопроводности скелета материала; Я б- коэффициент теплопроводности воздуха. Дифференциальное уравнение теплопроводности в цилиндрической системе координат с учетом зависимости коэффициента /L от температуры запишется в форме 35 j :

## Анализ теплопроводности транспортирующих лент

Процессы массопереноса внутри материала тесно связаны с условиями массоотдачи материала в пограничном слое, т.е. массо-обменом. Массопередачу мы понимаем как процесс комплексный, учитывающий массоперенос внутри тела и массообмен с окружающей средой.

В данной главе исследование ведется с целью уяснения физической сути процесса, нахождения зависимостей для основных параметров сушки от геометрических характеристик сушилки и определения путей интенсификации процесса.

Исследование ведется с помощью дифференциальных уравнений массопереноса.

Дополнительно использовано дифференциальное уравнение связи пульсаций скорости в пограничном слое с геометрическими характеристиками стенки и зависимости для массообмена в турбулентном пограничном слое.

Постоянную интегрирования С определим из условия: при = О, J = 0, тогда С = О Для описания процесса переноса влаги в шпоне воспользуемся уравнением потока /3.3.2./. Учитывая малую толщину шпона, примем, что параметры массопереноса не зависят от координаты 7 . Тогда уравнение /3.3.2./ в цилиндрических координатах запишется:

Примем в первом приближении, что для единичного объема: AP RnAT /4.1.17./ где [\п - газовая постоянная.пара. / -52 Подставив уравнение /4.1.16./ с учетом /4.1.17./ в уравнение /4.1.15./, получим: о1и uJPwdou J rd f K J / dt + /4.I.18./ Так как координата V изменяется лишь в пределах толщины шпона, примем, Т = Тер , где Tcf - усредненное значение. Тогда уравнение /4.1.18./ запишем: fr +J )M=J + \_\d\_t /4.I.I9./ Проинтегрируем уравнение /4.1.19./ в пределах изменения влажности шпона и температуры: Wj = г - / /4.1.20./ или, обозначив: СО -Осц UP -ficf-St а с-3 ХР- R. Л запишем: %lK= Uo-Jl(tKo) , /4.I.2I./ где UK- конечное влагосодержание шпона; tfJo- начальное влагосодержание шпона; /,- конечная температура шпона; 0 - начальная температура шпона. -53 Учитывая, что в практических расчетах влажности шпона более удобно пользоваться температурой греющей поверхности, которая является режимным параметром, примем: где п, - величина, определяемая экспериментально; Ьгр - температура греющей поверхности. Тогда уравнение /4.1.21./ примет вид: Для более точных расчетов величину игр можно заменить полученным ранее выражением 3.2.24. для определения темпера туры транспортитующих лент. Так как величина произведения jf}n В процессе сушки будет изменяться и является функцией времени сушки, можно записать: /

Полученное уравнение /4.1.25./ может использоваться и для определения такого важного режимного фактора как время сушки L с . Используя уравнение /4.1.25./, получим:

Большое влияние на величины коэффициентов тепло- и массо обмена оказывают турбулентные характеристики пограничного слоя, такие как: интенсивность пульсаций скорости, давления, масштаб турбулентности, корреляционные характеристики потока в погранич ном слое. В свою очередь, большое влияние на структурные харак теристики пограничного слоя оказывает шероховатость обтекаемой поверхности. Для получения зависимости между пульсационными составляющими скорости и геометрическими характеристиками повер хности используем уравнение Рейнольдса. При условии ЧГу Uk Oy —j-S O уравнение Рейнольдса запишется 14 9 J: где Р - усредненное давление в пограничном слое; Фк,ц - среднее значение скорости потока в пограничном слое в направлении соответствующих координат X,y,Z ; /х,у, - пульсационные составляющие скорости потока в пограничном слое для соответствующих направлений координат ХМ,% ; р - плотность обтекающего потока (воздуха); N - коэффициент динамической вязкости. Согласно допущений теории турбулентности запишеш 66 6 7 0 75] 76J: д Г -fWiiq-pZT f , /4.2.2./ где Ет- коэффициент турбулентного перемешивания. Тогда уравнение 4.2.1. с учетом допущения 4.2.2. примет вид: -55 Эх f ду +РЫду Л dj W fy /4.2.3./ Примем в уравнении 4.2.3. Го = С /4.2.4./ где С - некоторая постоянная величина; Тогда: "Ж = СI/ /4.2.5./ где о - толщина пограничного слоя. Подставляя 4.2.5. в уравнение 4.2.3., получим: Продифференцировав уравнение 4.2.6. по "и" и умножив на масштаб турбулентности ь , найдем: Постоянную С найдем из равенства 4.2.5. С = Чр /4.2.8./ Используя равенство 4.2.8., уравнение 4.2.7. примет вид: Я- 5? г$г« /—/ -56 Учитывая, что на поверхности 4=0 , уравнение 4.2.9, перепишем: дЩ I Х+ГГГ Ux /4.2.Ю./ Полученное уравнение 4.2.10. отражает связь между пуль-сационными составляющими скорости и изменениями давления при стенке, т.е. вблизи поверхности шпона. В уравнении 4.2.10. давление г аппроксимируем согласно \9 I : Р РоЄ COs(pLx) /4.2.П./ где ОС - параметр, связанный с круговой частотой, т.е. сХ-х = Если обозначить - шаг шероховатости; /2 - количество шероховатостей. и принять, что масштаб турбулентности -о равен радиусу вихря, получим: = / ь=- рг- /4.2.12./ где СО - угловая скорость вихря. Используя равенства 4.2.12., определим: 2S-n СХ-х или r 2-S-n - - = ,х /4.2.13./ Уравнение 4.2.II. после преобразований при условии Ч - примет вид: -57 &P = P0OC&StnfoC-x) /4.2.14./ axoy - Теперь, подставляя равенство 4.2.13. в уравнение 4.2.14., получим: Уравнение 4.2.15. отображает связь давления в пристенной области пограничного слоя с геометрическими характеристиками шероховатости поверхности материала. Однако, в исследуемой сушильной установке шпон транспортируется между металлическими лентами, которые искусственно наводят шероховатость на поверхности шпона. Поэтому, для решения уравнения 4.2.10. в уравнении

## Исследование влияния шероховатости транспортирующих лент на турбулентность в пограничном слое

Задачи экспериментальных исследований В предыдущих главах на основании теоретических исследований выполнен анализ конструктивных особенностей барабанно-ленточной сушилки, процесса сушки в ней и методов интенсификации тепломассообмена.

Для использования выведенных теоретических зависимостей при проектировании и эксплуатации барабанно-ленточных сушилок необходимо оценить достоверность полученных выражений, то есть сравнить результаты теоретических исследований с экспериментальными данными. Указанное положение и определило главную задачу экспериментальных исследований, которую можно сформулировать следующим образом: оценить достоверность аналитических зависимостей и проверить правильность основных выводов и рекомендаций. Исходя из этого, планом проведения экспериментальных исследований предусматривалось: - исследование тепломассопереноса на модельной установке в лабораторных условиях с учетом ее подобия реальной сушилке; - исследование параметров теплового и газодинамического пограничных слоев в условиях свободного течения и при искусственной их турбулизации; - выбор и исследование нового метода интенсификации процессов тепломассопереноса; - оценка достоверности полученных ранее аналитических зависимостей на основании результатов, указанных выше экспериментальных исследований; - внедрение пилотной установки в производство с определением ее эксплуатационных характеристик и качества получаемого

В соответствии с поставленными задачами для проведения экспериментальных исследований созданы специальные экспериментальные установки:

1. Стационарная экспериментальная установка лабораторного типа, рис. 6.1. для исследования процессов тепломассопереноса.

2. Экспериментальная установка, смонтированная в аэродинамической лаборатории Львовского ордена Ленина имени Ленинского комсомола политехнического института для исследования методов интенсификации процессов сушки, рис. 6.2.

3. Производственная пилотная установка, рис. 6.3.

В процессе создания модельной установки был проведен патентный поиск и принято участие в разработке новой установки для сушки шпона. На одну из них получено авторское свидетельство № 914270,[iOk].

Для решения поставленных задач экспериментальные исследования разделены на три этапа. На первом этапе проведены исследования процессов тепломассопереноса на лабораторной стационарной установке с учетом влияния на них особенностей конструкции сушилки.

На втором этапе исследовано влияние параметров турбулентного пограничного слоя на интенсивность протекания процессов тепломассообмена.

На третьем этапе проведены исследования эксплуатационных характеристик пилотной установки в производственных условиях.

Планирование экспериментальных исследований произведено, считая, что все эксперименты воспроизводимы. Из двух типов планов выбран последовательный. Для сохранения точности экспе і

Экспериментальная лабораторная установка для исследования тепломассопереноса: I « греющая поверхность; 2, 3 - натяжные ленты; 4 - натяжной блок; 5 - направляющие ролики; б - натяжной груз; Т - станина; 8 - тэны; 9 - шпон. риментов предусмотрен постоянный контроль за параметрами среды и внешними факторами, влияющими на его результаты. С целью проверки работоспособности установок и наладки приборов предусмотрено проведение проверочных экспериментов. Для определения границ области исследования был проведен ряд экспериментов по изучению диапазона изменения определяемых параметров. В результате установлено, что влажность древесины изменяется в пределах \Х/= 60 6%t время сушки Ьс - 2,5 6,5 мин., температура греющей поверхности барабана Ът/ 120 200G. Кроме того, в предварительных экспериментах установлены последовательность и интервалы снятия данных, и обращено внимание на возможные неточности экспериментов и ошибки измеряемых величин. Исходя из точности проведения экспериментов количество измерений и интервалы снятия данных в каждом случае выбирались с учетом величины диапазона изменений исследуемого параметра. Так как нами принят классический план, в котором все переменные, кроме одной, принимают постоянные значения, а переменная изменяется во всем интервале значений, то в результате можно найти зависимость: