



ОСНОВЫ массообмена

Основные понятия и определения в теории массообмена. Молекулярная и конвективная диффузия. Основные уравнения. Тепло- и массообменные устройства, применяемые в легкой промышленности

Массообменные процессы

- Переход вещества из одной фазы в другую через разделяющую их поверхность, или передвижение вещества в пределах одной фазы: молекулярная диффузия, **масоотдача и массопередача**

Молекулярная диффузия

$$dM = -D \frac{\partial c}{\partial x} dF d\tau$$

где dM – количество продиффундировавшего вещества, кг;

$\frac{\partial c}{\partial x}$ - градиент концентрации, .

D – коэффициент молекулярной диффузии

Знак минус показывает, что при молекулярной диффузии концентрация убывает в направлении перемещения вещества, а градиент концентрации

.....

Коэффициент молекулярной диффузии

- Коэффициент молекулярной диффузии D зависит от природы диффундирующего вещества, не связан с динамикой процесса и характеризует способность вещества проникать в какую-либо среду.
- Коэффициент диффузии зависит от агрегатного состояния системы, температуры и давления.
- Показывает какое количество вещества диффундирует через поверхность 1 м^2 в течение 1 с при разности концентраций на расстоянии 1 м равной единице.
- Значения D находят по справочникам или рассчитывают:
 $D_{\text{газа}} = 0,1 - 1\text{ см}^2/\text{с}$
 $D_{\text{жид}} = 1\text{ см}^2/\text{сутки}$

Массоотдача

- Перенос вещества в объеме одной фазы за счет молекулярной и конвективной диффузий:

$$dM = \beta_x (x_{гр} - x) dF d\tau$$

Математическое описание массоотдачи

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} + \frac{\partial c}{\partial x} \omega_x + \frac{\partial c}{\partial y} \omega_y + \frac{\partial c}{\partial z} \omega_z = D \left(\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right)$$

$$-D \frac{\partial c}{\partial x} = \beta \Delta c$$

Критерии диффузионного подобия

- Критерий Нуссельта диффузионный:

$$Nu_D = \frac{\beta l}{D}$$

- Критерий Фурье диффузионный :

$$Fo_D = \frac{D\tau}{l^2}$$

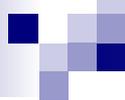
- Критерий Прандтля диффузионный:

$$Pr_D = \frac{\nu}{D}$$

Критериальное уравнение

$$Nu_d = f(Re; Gr; Pr_d; Fo_d)$$

- Т.е. уравнение аналогично теплообменному



Массопередача

- Переход вещества из одной фазы в другую через разделяющую их поверхность

Закон массопередачи

$$dM = K_y \Delta y dF dt$$

где M – количество вещества, перешедшего из одной фазы в другую, кг/с;

K_y – коэффициент массопередачи,

F – поверхность соприкосновения фаз, м²;

Δy - движущая сила процесса массопередачи.

Коэффициент массопередачи выражает количество вещества, переходящего из одной фазы в другую за единицу времени через единицу поверхности соприкосновения при движущей силе равной единице.

Классификация массообменных процессов

- **Массообменные процессы со свободной границей контакта фаз:**

Абсорбция, ректификация, экстракция

- **Массообменные процессы с неподвижной поверхностью контакта фаз:**

Сушка, адсорбция, ионный обмен, мембранное разделение, кристаллизация, экстрагирование

ОБЕЗВОЖИВАНИЕ

- Процесс обезвоживания материала за счет испарения влаги и отвода ее паров - **сушка**.
- Все тела обладают способностью поглощать влагу, отдавать влагу и интенсивно удерживать влагу.
- Количество влаги в теле меняется в значительных пределах в зависимости от условий.

Влажность материала

- Баланс влажного материала:

$$M_{\text{вл}} = M_{\text{с}} + W$$

- Относительная влажность

$$u = \frac{W}{M_{\text{вл}}} 100, \%$$

- Абсолютная влажность

$$u' = \frac{W}{M_{\text{с}}} 100, \%$$

Формы связи влаги с материалом

- **Химическая связь** влаги с материалом – влага входит в состав кристаллических решеток материала;
- **Физико-химическая связь** – осуществляется адсорбционными и осмотическими силами:
 - адсорбционная и осмотическая;
- **Физико-механическая связь** – влага, заполняющая макро- и микрокапилляры, и влага смачивания;

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ

- **Адсорбционная влага** захватывается внешней поверхностью структурных элементов материала под действием нескомпенсированного силового поля молекул, находящихся на этой поверхности.
- **Осмотическая влага** проникает в капиллярно-пористое тело через стенки пор за счет сил осмотического давления путем избирательной диффузии.

Физико – механическая связь

- **Капиллярная** – заполняет микрокапилляры, сорбируется из воздуха.
- **Смачивания** – макрокапилляры заполняются влагой при непосредственном соприкосновении с водой.

Классификация влажного материала

- **Коллоидные тела** – сохраняют эластичные свойства после удаления из них влаги (желатин), преобладает осмотическая форма связи;
- **Капиллярно-пористые тела** – при удалении влаги становятся хрупкими (песок, древесный уголь), преобладает капиллярная форма связи;
- **Капиллярно-пористые коллоидные тела** – характерны процессы набухания и усадки (торф, зерно, кожа).

Равновесная влажность

- При долгом контакте материала с воздухом определенной t и φ , влажность материала постоянна – равновесная.
- Температура материала равна температуре влажного воздуха, давление паров воды у поверхности материала равно парциальному давлению водяного пара в воздухе: $p_m = p_{пв}$

Равновесная влажность

- Зависит
 - от свойств материала;
 - характера связи влаги с материалом;
 - параметров окружающей среды.
- Равновесная влажность материала при контакте с воздухом $\varphi=100\%$ - гигроскопическая точка материала.

Гигроскопическая точка

- Парциальное давление пара в воздухе и непосредственно над поверхностью материала равны парциальному давлению насыщенного пара при данной температуре: $p_m = p_{пв} = p_{нас}$;

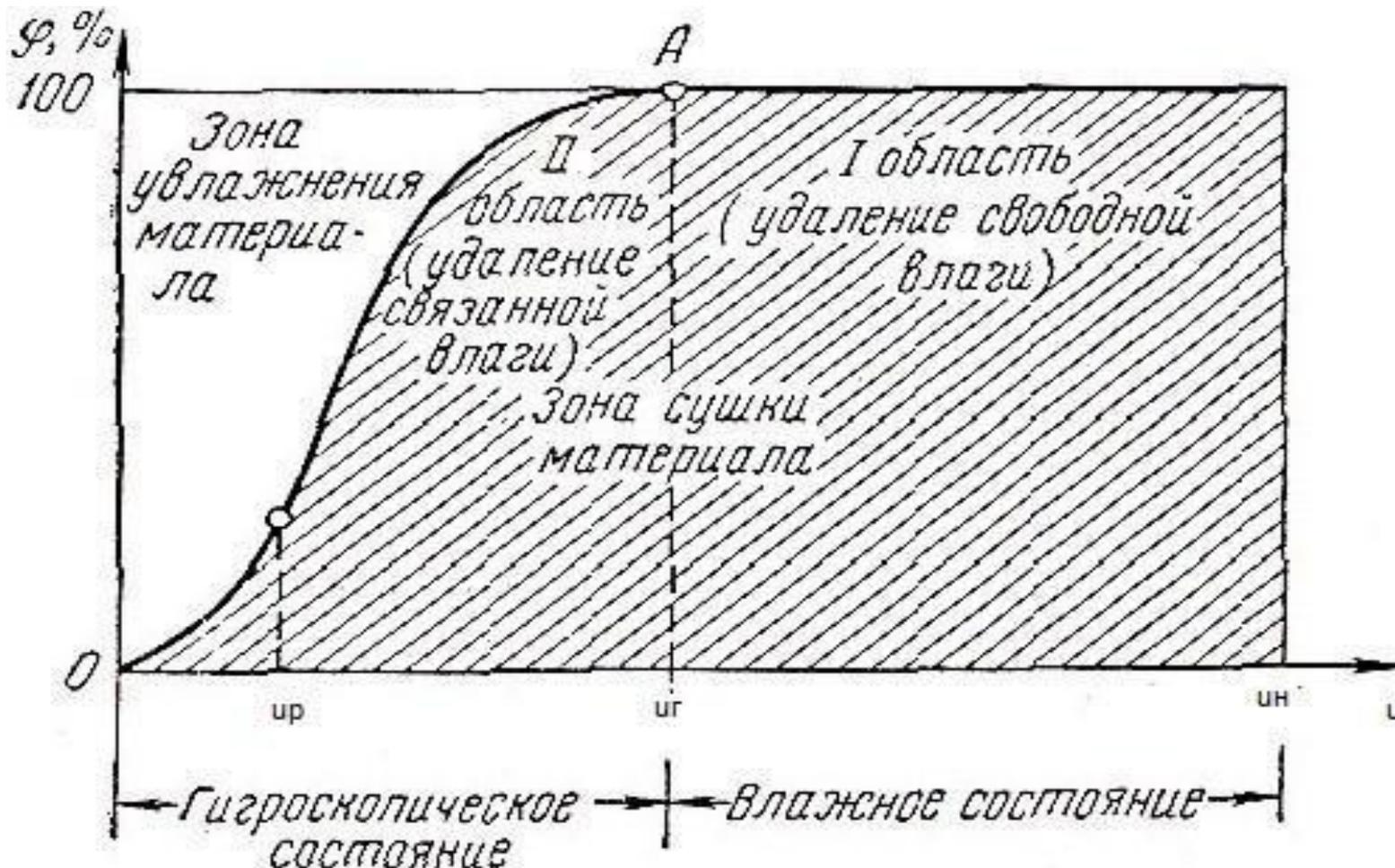
Состояние материала

- Если влажность материала больше влажности гигроскопической точки – материал находится во **влажном состоянии**: $\rho_m = \rho_{нас}$
- Сушка материала, находящегося во влажном состоянии, протекает при любых параметрах окружающей среды до ее полного насыщения.

Состояние материала

- Если влажность материала меньше влажности гигроскопической точки – материал находится в **гигроскопическом состоянии**: $\rho_m < \rho_{нас}$
- Сушка материала, находящегося в гигроскопическом состоянии, зависит от давления водяного пара в окружающей среде и возможна только при влажности материала больше равновесной.

Равновесная влажность



Особенности тепло-массообмена

- Если парциальное давление водяных паров у поверхности материала больше, чем в окружающем воздухе, **материал отдает влагу** воздуху.
- Парциальное давление водяных паров у поверхности материала меньше, чем в окружающем воздухе, -**материал сорбирует влагу** из воздуха

Процесс сушки

- При сушке жидкость испаряется и переходит в газовую фазу в виде пара, передавая от жидкости к воздуху (газу) тепло, равное теплоте испарения жидкости:

$$Q_2 = Wr$$

- Т.к. сушка – массообменный процесс:

$$W = KF(p_M^* - p_{ПВ})$$

Влияние температуры

- Чем выше температура материала, тем больше давление пара над материалом p_m , т.е. для интенсификации процесса необходимо тепло.

Тепловая сушка

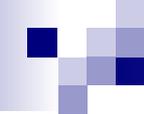
- Контактная сушка;
- Воздушная или газовая сушка;
- Терморрадиационная сушка;
- Высокочастотная сушка

Тепло- массообмен

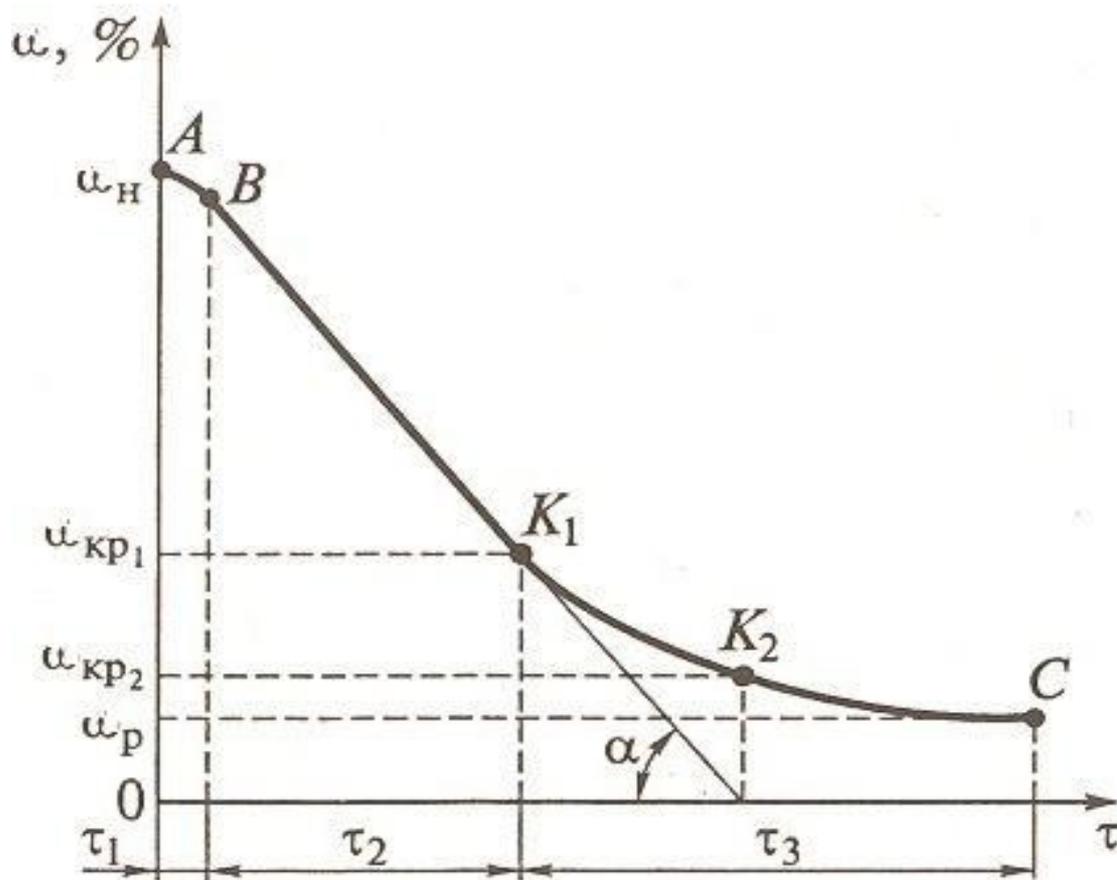
- При тепловой сушке процесс передачи влаги (вещества) из одной фазы в другую сопровождается процессом теплопередачи.
- Температура фаз не одинакова.
- Количество тепла, передаваемого от газообразного сушильного агента к жидкости за счет конвекции при $t_{\Gamma} > \Theta_M$:

$$Q_1 = \alpha F (t_{\Gamma} - \Theta_M)$$

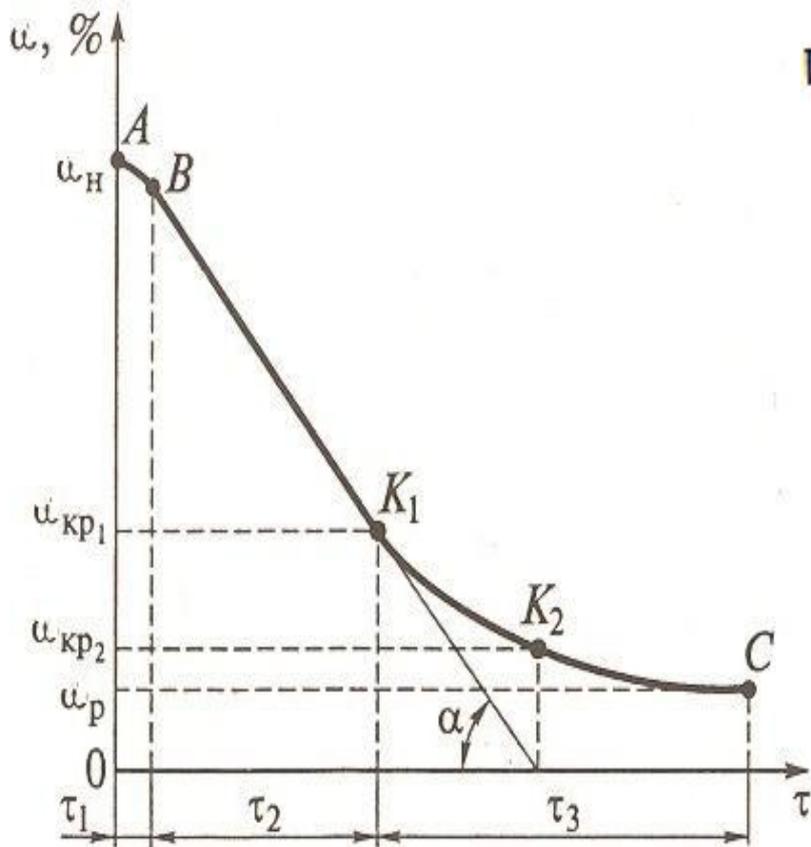
- Процесс испарения сопровождается передачей тепла от жидкости в окружающую среду;
- Жидкость соприкасается с горячим теплоносителем и нагревается;
- Когда $Q_1=Q_2$ наступает тепловое равновесие, идет испарение при постоянной температуре.

- 
- 
- Температура, принимаемая жидкостью при испарении после достижения теплового равновесия, - температура мокрого термометра.
 - Процесс сушки при данных параметрах газа (воздуха) происходит до достижения равновесной влажности материала.

Кривая сушки



Первый период сушки



- Кинетический закон

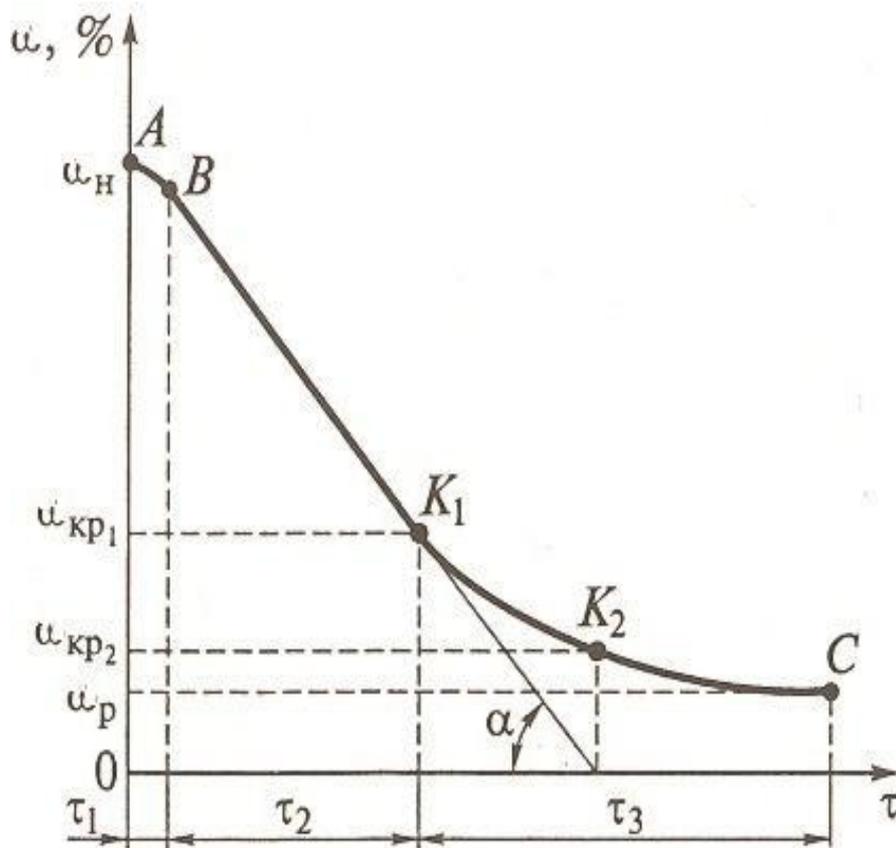
$$W = \beta_x F(x_{\text{нас}} - x) = \beta_p F(p_{\text{нас}} - p)$$

- Скорость процесса

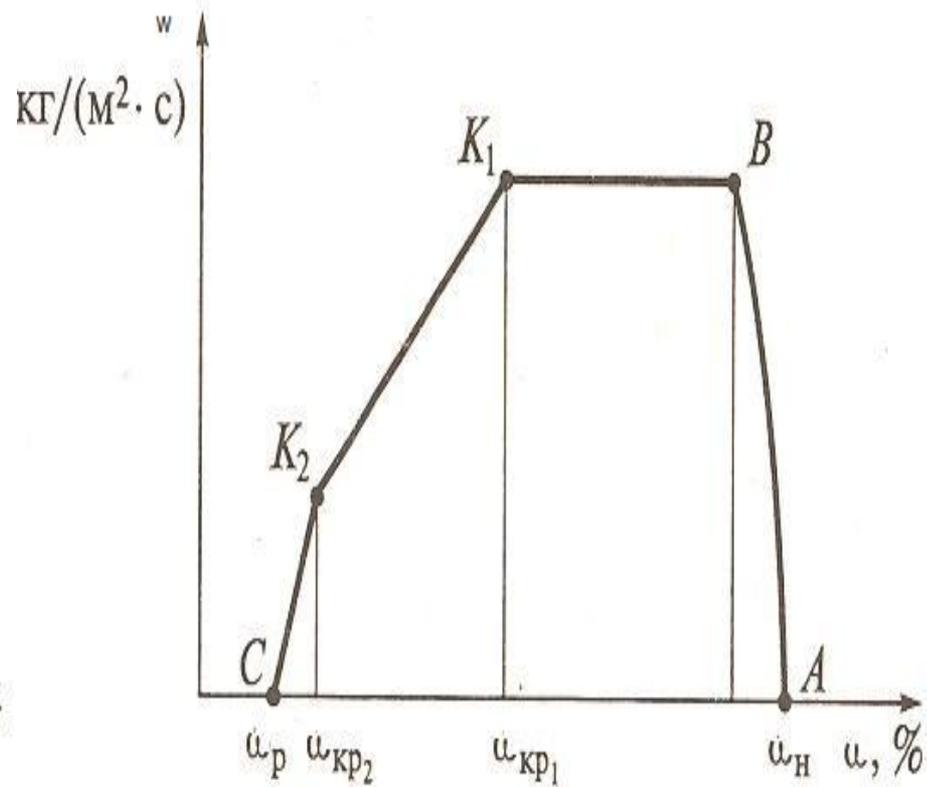
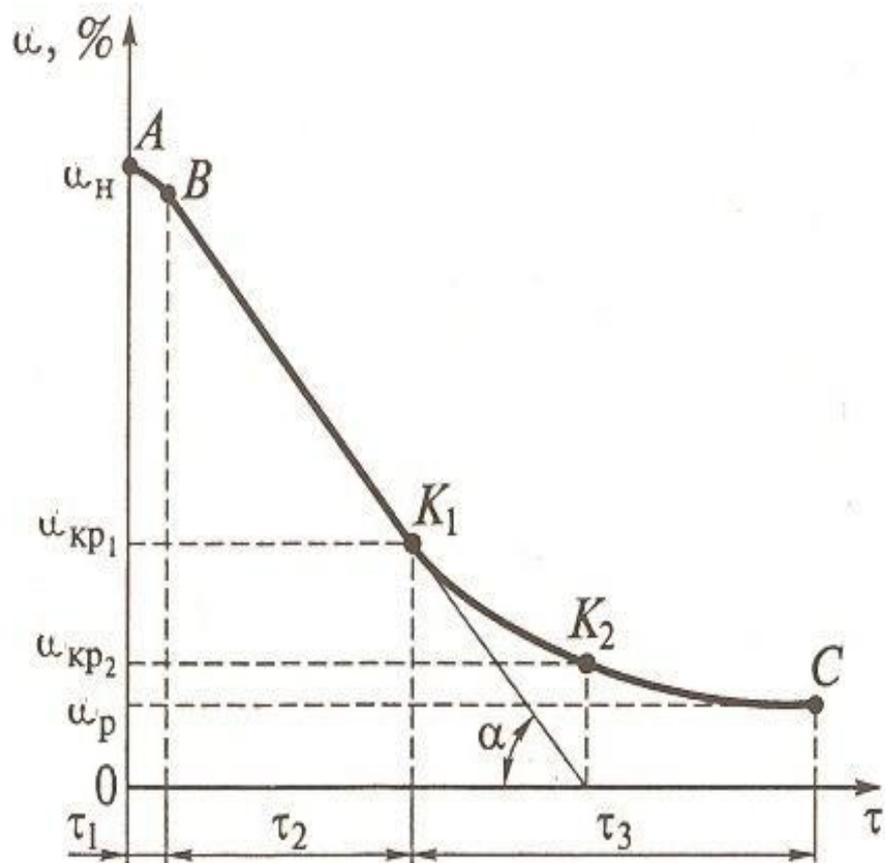
$$\omega = \frac{W}{F\tau} = \beta_p \Delta p_{\text{ср}}$$

- Температура материала $\Theta_M = t_M$

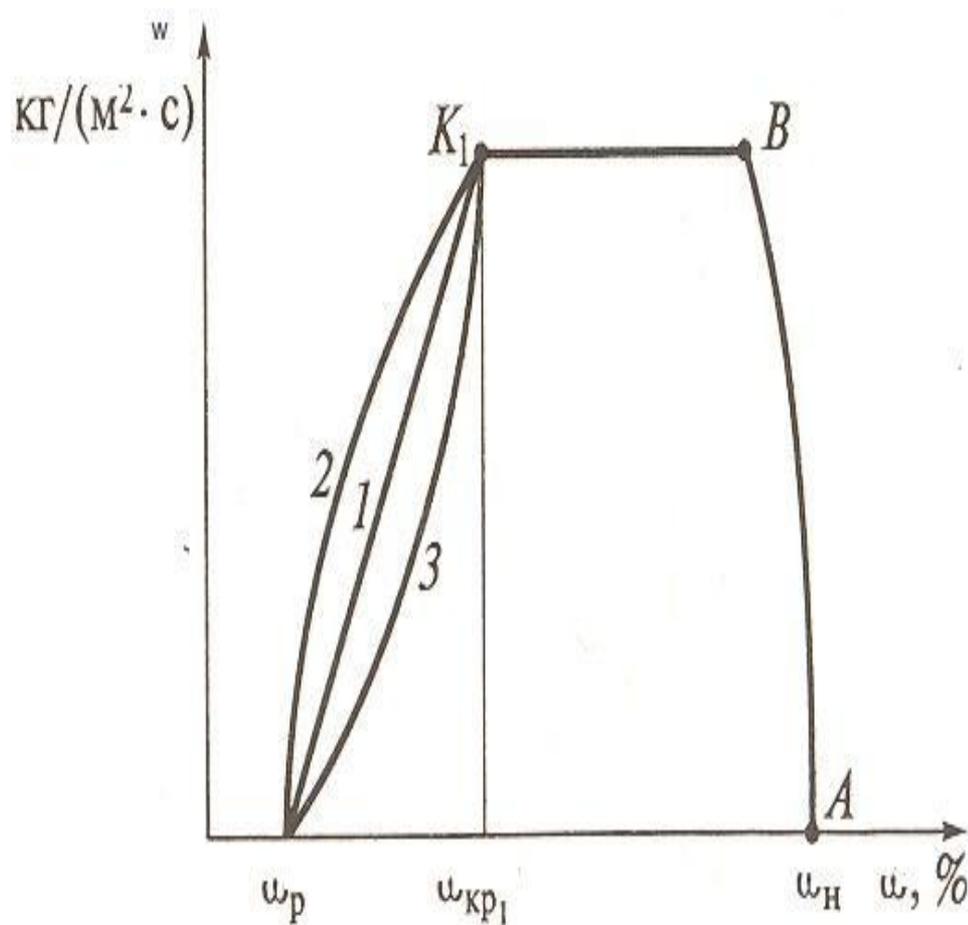
Второй период сушки



- Кинетический закон
$$W = KF(u - u_p)$$
- Скорость процесса — равномерно падающая и неравномерно падающая
- Температура материала повышается до t_B



- 1- для тонких материалов с большой удельной поверхностью;
- 2 – для пористых материалов (ткань, кожа, бумага)
- 3 – для материалов с небольшой удельной поверхностью (керамика)



Факторы, влияющие на скорость

- Природа высушиваемого материала;
- Размеры;
- Начальная и конечная влажность материала;
- Относительная влажность, температура и скорость воздуха:
 - 1 период – скорость и направление движения
 - 11 период – температура и относительная влажность воздуха
 - Характер и условия обтекания материала воздухом

Тепло- и массообменные процессы

- Закономерная совокупность теплового и массообменного воздействия на материал для придания ему заданных свойств.
- Установки, в которых проходят эти процессы, - тепловые установки.
- В тепловой установке тепловая энергия используется для технологической переработки материала.

Тепловая обработка

- Тепловая обработка материалов и изделий определяет качество готовой продукции:
 - ❖ происходят физико-химические превращения;
 - ❖ формируется структура;
 - ❖ идут процессы тепло- и массообмена;
 - ❖ возникают напряженные состояния.

Классификация способов тепловой обработки

- **Тепловлажностные** –предусматривают тепловую обработку материала с сохранением в нем влаги.
- **Сушка** – тепловая обработка начинается с удаления влаги (конечная или промежуточная стадия).

Тепловой режим

- Совокупность создаваемых для обработки материалов и изделий тепловых, массообменных и гидродинамических процессов.
- При тепловом режиме рабочее тело (газ, воздух, пар) воздействует на обрабатываемый материал – тепло- и массообменный процесс.

Влажный материал, подвергаемый тепловой обработке

- Неоднородные (гетерогенные) системы с тремя фазами агрегатного состояния:
 - ❖ Основа структуры – твердая фаза;
 - ❖ Поры материала заполняет:
 - вода;
 - Воздух, пары воды и газы.
- В процессе тепловой обработки три фазы в количественном отношении все время меняются.

.

- Обмен теплотой между теплоносителем и материалом протекает в тепловой установке:
 - влага испаряется с поверхности материала и поглощается теплоносителем, место испаренной влаги (поровое пространство) занимает влажный воздух из теплоносителя;
 - при конденсации влаги на поверхности материала влага диффундирует в поры материала, вытесняя из них воздух.
 - происходят в материале процессы термического расширения, ускоряются возможные химические реакции и т.д.

Особенности тепло-массообмена

- Если парциальное давление водяных паров у поверхности материала больше, чем в окружающем воздухе, **материал отдает влагу** воздуху.
- Парциальное давление водяных паров у поверхности материала меньше, чем в окружающем воздухе, -**материал сорбирует влагу** из воздуха

Влажно-тепловая обработка

- Под влажно-тепловой обработкой швейных изделий понимают специальную обработку деталей или изделия влагой, теплом и давлением с помощью специального оборудования.
- При изготовлении одежды влажно-тепловая обработка составляет приблизительно 15-25% (в зависимости от вида изделия и материала) всей трудоемкости изделия.

- Влажно-тепловая обработка может проводиться
 - в процессе обработки изделий (**внутрипроцессная**) на утюжильном столе с помощью **пароэлектрического утюга**
 - при отделке готовой продукции (**окончательная**) на специальных **столах, прессах или на паровоздушных манекенах.**
- применяют для придания объемно-пространственной формы деталям изделия, обработки различных швов, окончательной отделки и соединения деталей клеевым методом.

Стадии влажно-тепловой обработки

- размягчение волокна влагой и теплом;
- придание определенной формы давлением;
- закрепление полученной формы путем удаления влаги теплом и давлением.
- Методами указанной обработки являются утюжка, прессование и отпаривание.

Оборудование ВТО

- электрический, электропаровой и паровой обогрев.

Режимы обработки материалов зависят от применяемого оборудования:

- Прутюжилыники - температура нагрева гладильной поверхности может быть повышена на 5-10°C.
- На утюжилыных операциях используют утюги массой 2,4-6 кг.

Режимы влажно-тепловой обработки

Материалы.	Температура нагрева гладильной поверхности.	Давление прессования (Па).	Продолжительность воздействия утюга, с.	Продолжительность воздействия пресса, с.	Увлажнение %.	Примечание.
Ткани шелковые.	160	---	60	---	10	---
Ткани ацетатные или с лавсановыми волокнами.	140 - 150	$5 \cdot 10^4$	10 - 20	5	15 - 20	---
Ткани и капроновые.	150-160	---	30	---	---	допускается небольшое увлажнение.
Ткани хлопчатобумажные и льняные.	180-200	$(3-5) \cdot 10^4$	30	5-10	20	---
Ткани хлопчатобумажные в смеси с лавсановыми волокнами.	150-160	$3 \cdot 10^4$	40-30	10-15	20	---

Увлажнение в производстве изделий из кожи

- Одной из самых ответственных технологических операций является **формование** заготовки верха обуви на колодке. От выполнения этого процесса зависит, как долго обувь будет сохранять хороший внешний вид и форму.
- Чтобы тратить меньше усилий, заготовку увлажняют, и она становится эластичной, послушной, т.е. увеличивается деформационная способность материала.

Увлажнение заготовок верха обуви перед формованием

- уменьшает вероятность разрыва кожи и прежде всего ее лицевого слоя во время обтяжно-затяжных операций;
- позволяет больше деформировать материал, что является одним из основных условий хорошей формоустойчивости обуви;
- дает возможность уменьшать размеры заготовок и снизить расход материала.

Свойства увлажненных материалов

- обладают лучшей релаксационной способностью по сравнению с неувлажненными.
- при формовании быстрее протекают процессы релаксации напряжений, уменьшается величина остаточных напряжений, и увеличиваются остаточные удлинения.
- способствует облегчению выполнения операций формования верха обуви и одновременно достижению наилучшей формоустойчивости.

Способы увлажнения материалов, применяемых для изделий из кожи

- в жидкой фазе,
- сорбционный,
- термодиффузионный (контактный).

Увлажнение в жидкой фазе

- При атмосферном давлении,
- в вакууме
- под давлением.

Увлажнение в жидкой фазе при атмосферном давлении

- Намокание
- кратковременное погружение в воду с последующей пролежкой

Намокание

- детали, погруженные в воду, увлажняются в течение определенного времени.
- кожа поглощает только влагу намокания. Затем из крупных капилляров кожи влага начинает перемещаться в более мелкие. Объем крупных капилляров в 10 раз превышает объем мелких, поэтому значительная часть воды остается в крупных капиллярах, т.е. в коже накапливается большое количество влаги намокания, которая не изменяет механические свойства кожи, является балластной и требует в дальнейшем дополнительных расходов энергии на сушку.

Намокание

- не происходит равномерное распределение влаги по топографическим участкам кожи вследствие неравномерного распределения крупных капилляров по площади кожи: полы и вороток поглощают влаги больше, чем чепрак и огузок.
- происходит вымывание из кожи растворимых веществ и жира, появляются пятна, подтеки.

метод окунания с последующей пролежкой

- заготовка на короткое время погружается в слегка нагретую воду и затем подвергается длительной пролежке для равномерного послойного распределения влаги, или провяливание в течение 1,5-2 часов во влажной мешковине, полиэтиленовых мешках или закрытых шкафах.

Увлажнение под давлением

- Вода, находящаяся *под давлением* поршня 300 МПа, сжимает воздух в капиллярах кожи, быстро заполняет их на значительную глубину и адсорбируется поверхностью капилляров. После снятия внешнего давления сжатый воздух расширяется и выбрасывает излишки воды.
- Увлажненные детали не содержат балластной влаги, увлажняются равномерно по площади и толщине, но вымывание растворимых веществ не устраняется.

Увлажнение в вакууме

- Детали загружают в герметичную камеру, из которой воздух откачивается до необходимого разрежения. В вакууме детали выдерживают 1-2 минуты. Затем камеру заполняют водой комнатной температуры и восстанавливают атмосферное давление. Вода быстро проникает в капилляры кожи, давление в которых ниже атмосферного. Время выдержки деталей в воде 1-2 минуты.
- Недостатком, кроме сложности создания и эксплуатации вакуумных установок, является значительное количество балластной влаги, которая остается в крупных порах и увеличивает продолжительность сушки.

Увлажнение сорбцией влаги из насыщенного влажного воздуха

- Сорбционный метод увлажнения обеспечивает равномерное обводнение капиллярной структуры, поскольку мелкие и средние капилляры, в которых конденсируется капиллярная влага, распределены равномерно и почти независимо от топографии кожи и, кроме того, позволяют полностью увлажнить заготовку в целом, что улучшает условия формирования всех ее деталей, повышает формоустойчивость обуви.

Условия процесса увлажнения сорбцией влаги из воздуха

- Увлажняющий воздух должен иметь высокую насыщенность (не ниже 97%).
- увлажнительная камера должна быть достаточно герметичной
- необходимо создать движение паровоздушной смеси в камере 0,5 м/с, это способствует диффузии молекул пара через слой воздуха, прилегающий к поверхности кожи;
- Воздух должен насыщаться не примешиванием к влаге **готового** пара, а испарением влаги, в противном случае произойдет конденсация пара на увлажняемых деталях, вызывающая подтеки и изменяющая окраску кожи;
- В увлажнительную установку камеры должна подаваться паровоздушная смесь, подогретая до температуры 35-45⁰С. При более высокой температуре наблюдается перепад температуры заготовки, вынутой из увлажнительной камеры, и атмосферного воздуха (18-20⁰С): влага начнет перемещаться путем термодиффузии из внутренних слоев на поверхность материала, с которой будет быстро испаряться.

увлажнения сорбцией влаги из воздуха

Достоинства

- не происходит растворения и миграции водорастворимых веществ.

Недостатки

- процесс увлажнения характеризуется значительной продолжительностью во времени;
- увлажняются не только кожаные детали, но и текстильная подкладка;
- наблюдается неравномерность привеса влаги между отдельными заготовками, т.к. в большинстве конструкций установок заготовки верха увлажняются пачками.

Установки для сорбционного метода увлажнения:

- установки, в которых воздух увлажняется испарением подогретой воды со свободной поверхности;
- распыленная форсунками вода испаряется струей движущегося воздуха;
- подача пара, пропущенного через воду в рабочее пространство;
- распыление воды форсунками и образование тумана в рабочей камере;
- предварительное вакуумирование заготовок верха обуви.

Режимы увлажнительных установок

- при высокой температуре влажного воздуха или при температуре влажного воздуха, равной температуре окружающей среды;
- с принудительным движением воздуха (0,5-1,5 м/с) или с чрезвычайно малой скоростью движения воздуха, обусловленной разной плотностью воздуха в различных частях установки;
- с транспортирующим устройством для увлажняемых деталей, т.е. установки непрерывного действия; и без транспортирующего устройства, т.е. установки периодического действия.

Термостаты

- Заготовки с верхом из текстильных материалов, из синтетических и искусственных материалов, а также из натуральных кож с легко повреждаемым лицевым слоем рекомендуется увлажнять не в увлажнительных камерах, а непосредственно перед формованием в термостатах.
- Температура пара 60-70⁰С, время увлажнения заготовок из кожи 15-20 с, из текстиля—45-60 с.
- Качество формования заготовок на колодке после увлажнения в термостатах-увлажнителях улучшается.
- ТУВ-О предназначен также для размягчения подносков и термоактивации затяжной кромки на заготовке и стельке непосредственно перед выполнением обтяжно-затяжных операций.