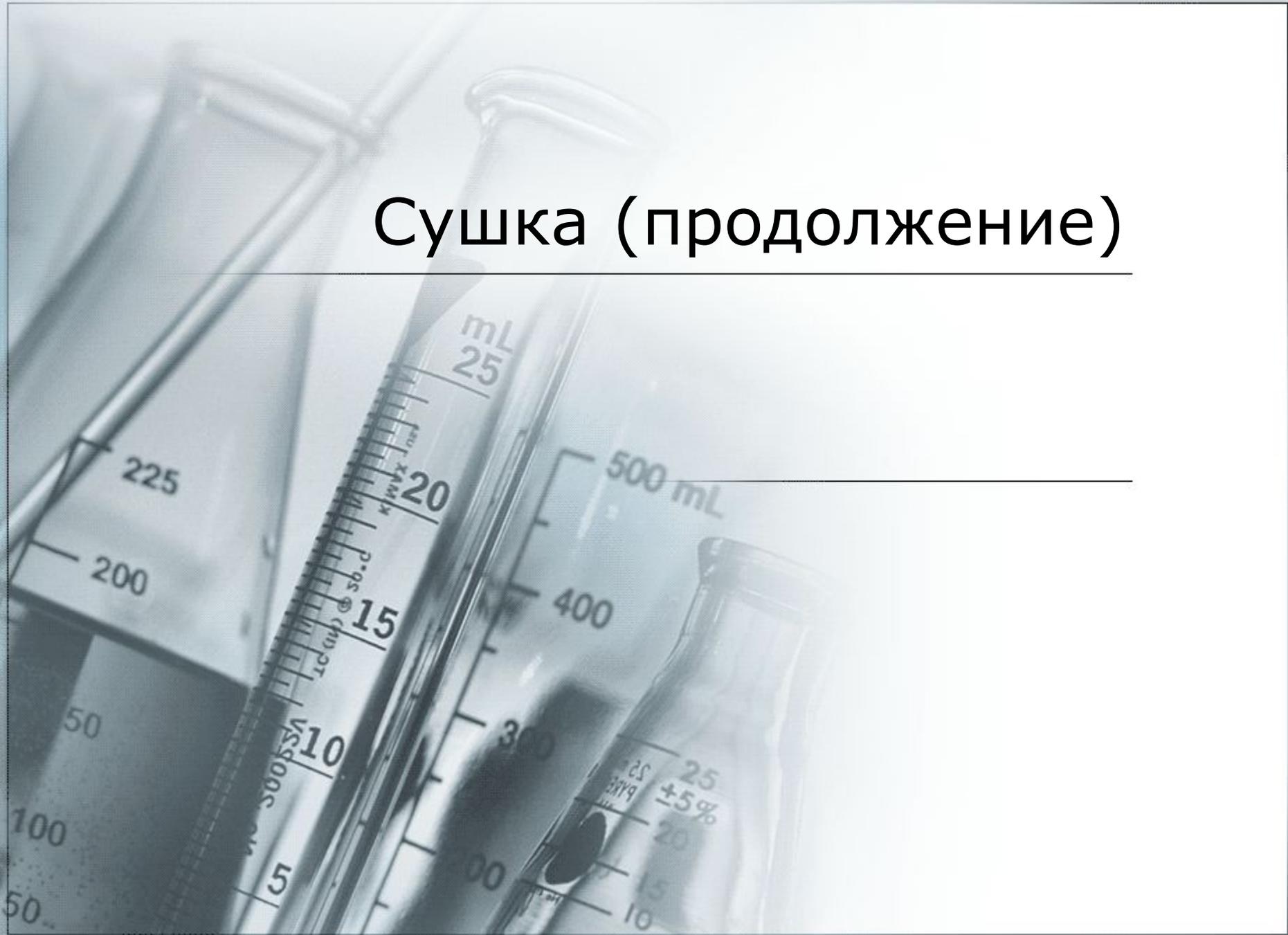


Сушка (продолжение)



Три этапа в сушке материала

- 1. Перемещения влаги внутри высушиваемого материала по направлению к его поверхности;
- 2. Парообразование;
- 3. Перемещения пара от поверхности материала в окружающий воздух.

Движущая сила диффузии

Движущая сила диффузии влаги из поверхностной пленки в окружающую среду:

$$\Delta P = P_n - P_v$$

где: P_n – парциальное давление насыщенного пара в пограничном паровом слое;

P_v – парциальное давление водяного пара в окружающей среде.

Количество протиффундировавшего пара:

$$M = V(P_n - P_v)F\tau$$

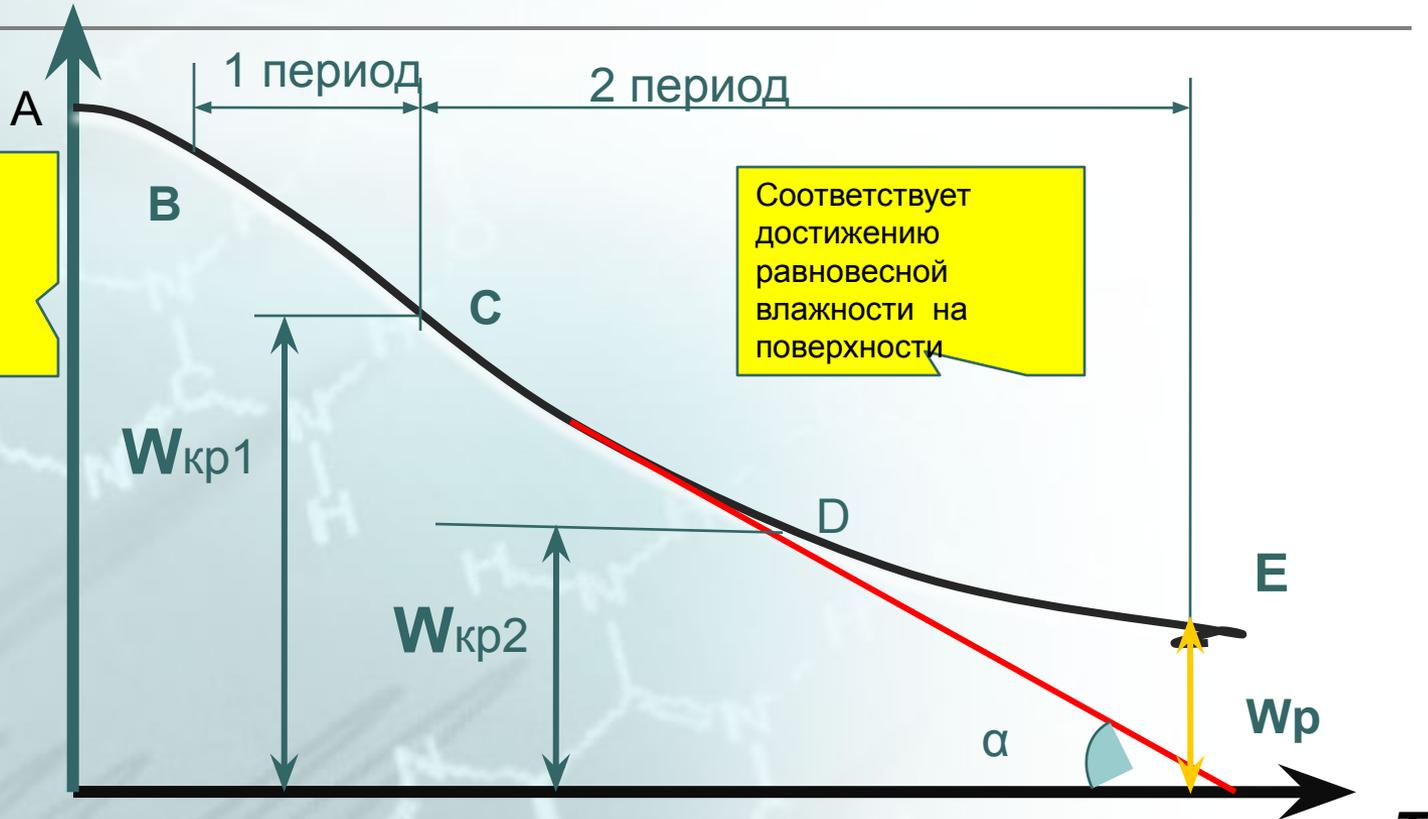
где: V – коэффициент испарения;

F – площадь поверхности испарения.

Количество влаги, прошедшее через пограничный слой в окружающую среду, должно быть равно количеству влаги, подведенной к этому слою из материала. Скорость сушки может лимитироваться этими обоими процессами и зависит от свойств материала и режима сушки.

Кривая сушки

W, %

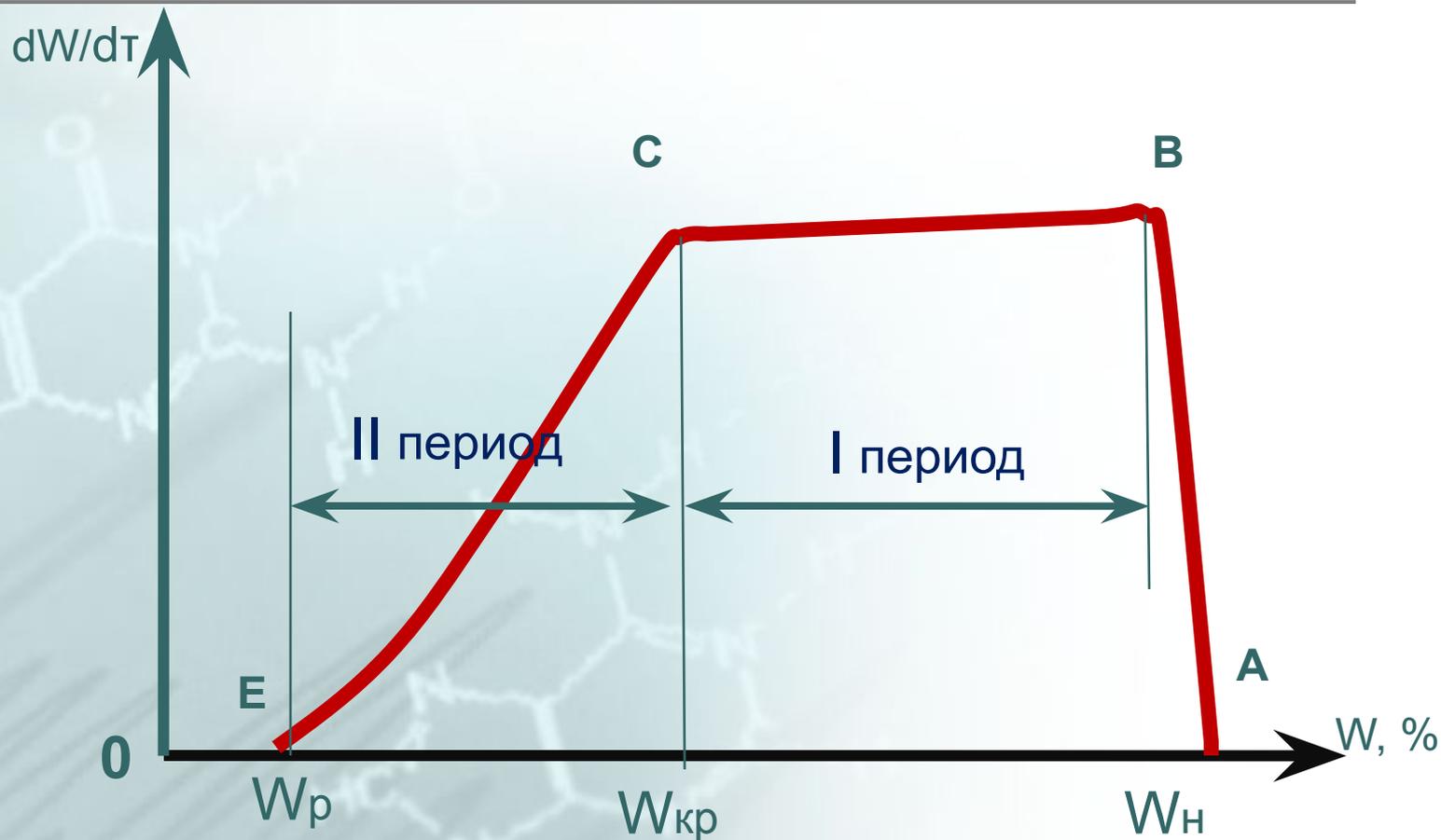


В начале сушки в течение небольшого промежутка времени линия сушки имеет вид кривой прогрева материала.

I период - постоянная сушка

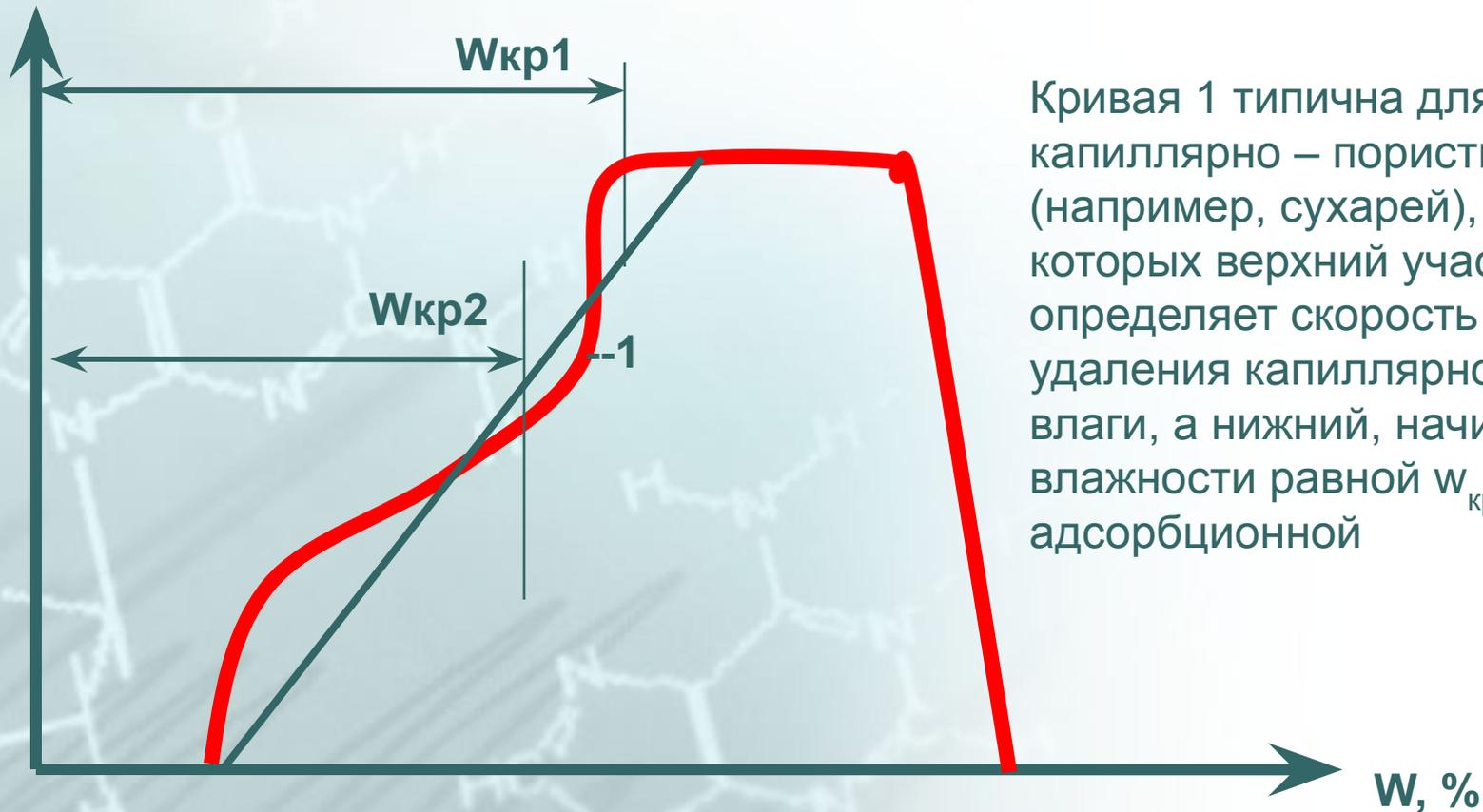
II период – падающая скорости сушки

Кривая скорости сушки



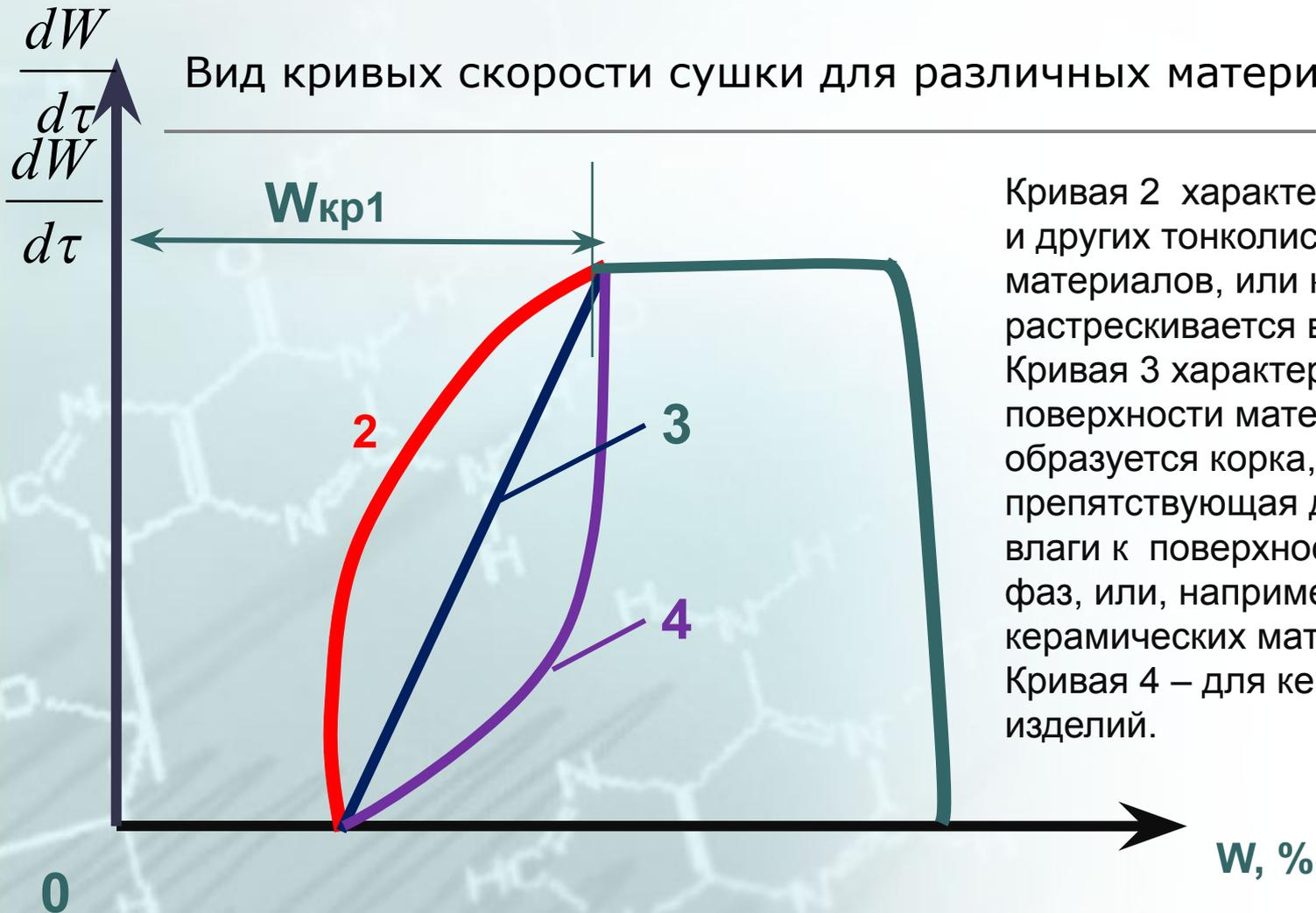
$$\frac{dW}{d\tau}$$

Разнообразие кривых сушки



Кривая 1 типична для капиллярно – пористых тел (например, сухарей), для которых верхний участок определяет скорость удаления капиллярной влаги, а нижний, начиная с влажности равной $w_{кр2}$ – адсорбционной

Вид кривых скорости сушки для различных материалов



Кривая 2 характерна для тканей и других тонколистовых материалов, или когда материал растрескивается во время сушки. Кривая 3 характерна когда на поверхности материала образуется корка, препятствующая диффузии влаги к поверхности раздела фаз, или, например, для керамических материалов. Кривая 4 – для керамических изделий.

- Точка перегиба, соответствующая $W_{кр}$ может быть выражена нечетко.

Уравнения скорости сушки

- Движущей силой процесса в первый период сушки будет
$$(P_H - P_B)$$

где: P_H – парциальное давление насыщенного пара в пограничном паровом слое; P_B – парциальное давление водяного пара в окружающей среде.

В первый период скорость сушки, отнесенная к единице поверхности, зависит от $(P_H - P_B)$, плотности сушильного агента и его скорости.

Уравнения скорости сушки

Во второй период сушки начинает удаляться связанная вода. При этом парциальное давление водяных паров на поверхности материала становится меньше давления чистой воды при той же температуре. В этот период давление водяного пара является функцией температуры материала и его влажности на поверхности.

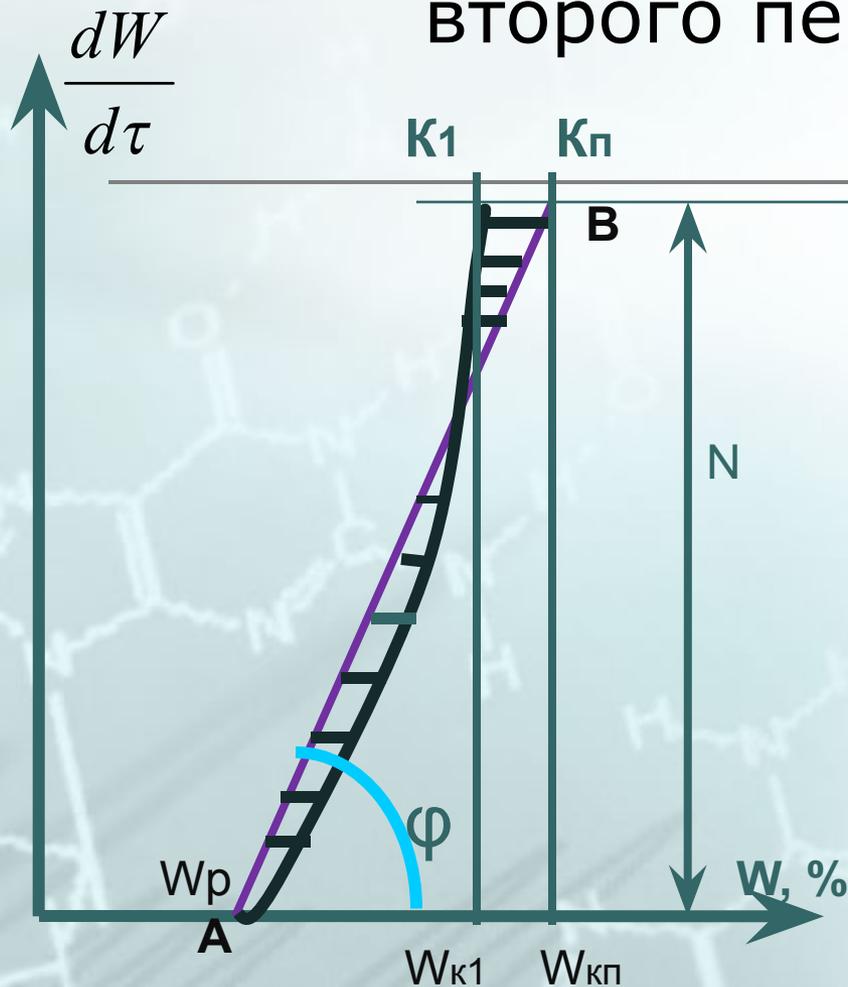
Последняя же зависит от скорости перемещения влаги в материале. Значит, скорость сушки в этот период зависит не только от диффузии влаги в окружающий воздух, но также от влагопроводности материала.

Скорость сушки во втором периоде:

$$dw/d\tau = K \cdot (w - w_p)$$

где K – коэффициент сушки, характеризующий интенсивность влагообмена.

Расчет продолжительности второго периода сушки



Для второго периода сушки начальная влажность материала соответствует **критической** влажности $w_{к1}$ (см. рис.) или, точнее, **приведенной критической** влажности.

Принимают, что линия сушки во второй период является прямой. Для построения этой прямой проводят линию АВ так, чтобы она отсекала равновеликие площади (заштрихованы).

Точка $K_{п}$ может лежать вправо или влево от точки K_1 в зависимости от типа кривой сушки. Точке $K_{п}$ соответствует приведенная критическая влажность $w_{кп}$.

Проинтегрируем уравнение
в пределах от $w_{кп}$ до w_2 :

$$dw/d\tau = K \cdot (w - w_P)$$

$$\ln \left[\frac{(w_{кп} - w_P)}{(w_2 - w_P)} \right] = K \cdot \tau$$

где w_2 – конечная влажность материала. Из последнего выражения получаем продолжительность второго периода сушки:

$$\tau_2 = 1/K \cdot \ln \left[\frac{(w_{кп} - w_P)}{(w_2 - w_P)} \right].$$

Коэффициент сушки K должен быть найден экспериментально. Если принять, что во второй период кривая скорости сушки может быть заменена прямой, то коэффициент сушки может быть представлен:

$$K = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{1/\beta + 4/\pi^2 \cdot R/a_m},$$

где R – определяющий геометрический размер высушиваемого тела; для пластины R равен $1/2$ ее толщины; β – коэффициент внешнего влагообмена, м/ч; a_m – коэффициент массопереноса, м²/ч.

Этот коэффициент аналогичен коэффициенту температуропроводности, зависит в основном от формы связи влаги с материалом и температуры материала и определяет внутренний перенос влаги.

Основы расчёта сушилок

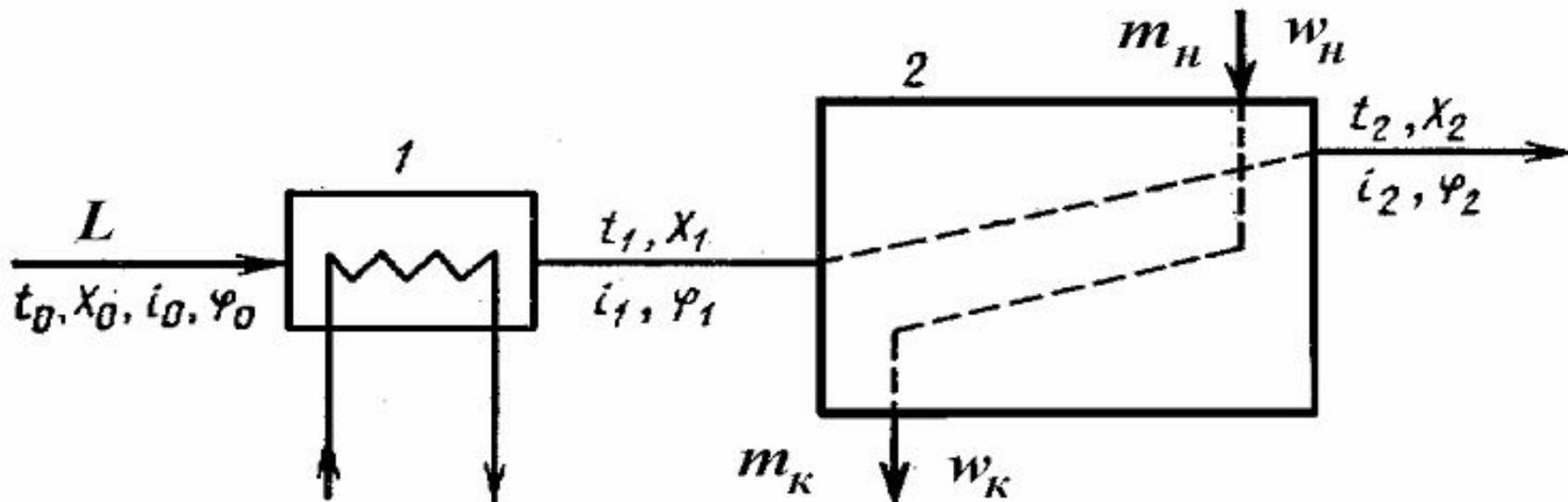
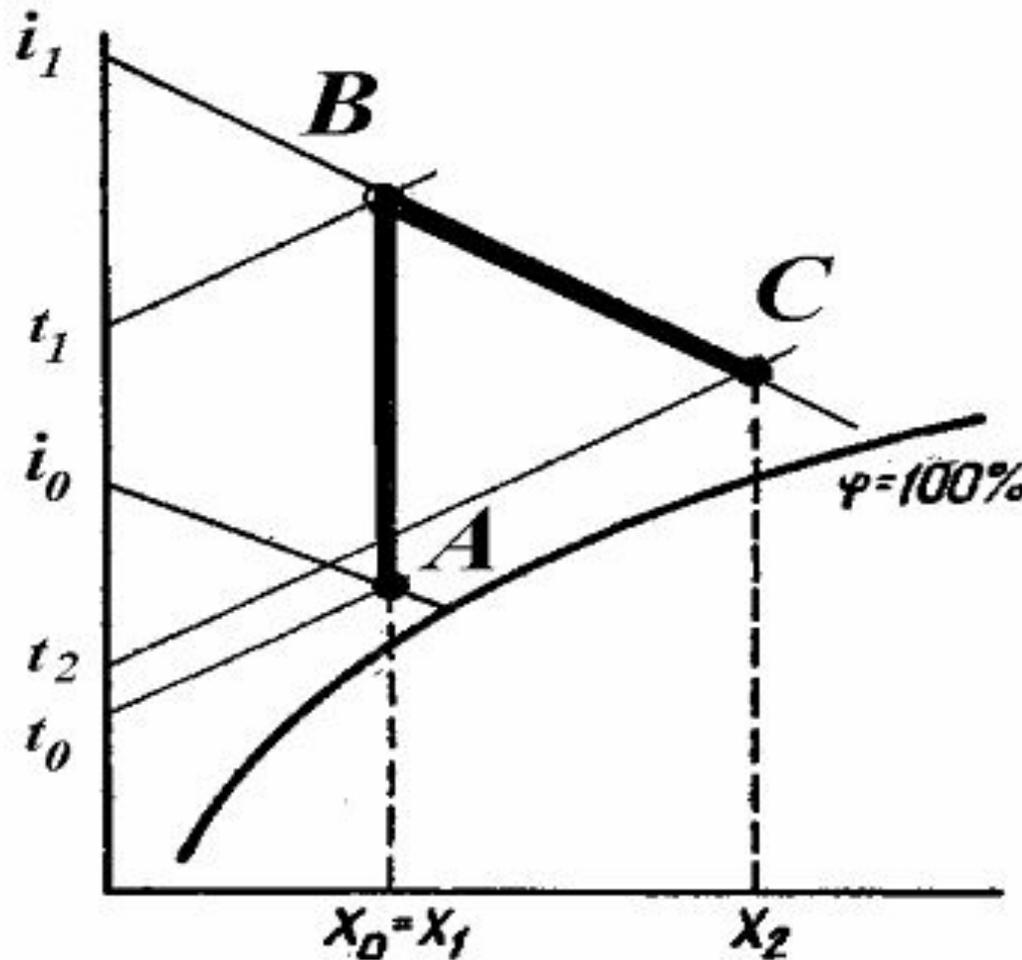


Схема сушильной установки: 1 – калорифер;
2 – сушильная камера

Воздух, поступающий в подогреватель, имеет температуру t_0 , влагосодержание x_0 , удельную энтальпию i_0 и относительную влажность φ_0 . Выходя из подогревателя, воздух будет иметь параметры t_1, i_1, x_1, φ_1 . При этом $x_2 > x_1, \varphi_2 > \varphi_1, t_2 > t_1$, но $i_1 = i_2$.

I-x диаграмме теоретического процесса сушки



Точка А соответствует состоянию воздуха на входе в подогреватель. Процесс подогрева воздуха изобразится линией АВ при $x_1 = x_0$. Точка В - состоянию воздуха на выходе его из подогревателя.

Влажностное содержание этого воздуха $x_1 = x_0$. Теоретический процесс сушки - это линия ВС, которая параллельна линии постоянной энтальпии, т.е. $i = \text{const}$.

Точка С характеризует воздух при выходе его из сушильной камеры.

По I-x – диаграмме можно определить количество воздуха и тепла, расходуемых на 1 кг влаги, испаренной в сушилке.

Расход сухого воздуха на 1 кг испаренной воды l :

$$l = 1/(x_2 - x_1) = 1/(x_2 - x_0)$$

Влагосодержание x_1 и x_2 легко определяется по I-x - диаграмме. На нагрев в подогревателе 1 кг сухого воздуха, поступающего в сушилку, расходуется $i_2 - i_0$, кДж. Расход тепла на 1 кг испаренной влаги (в кДж):

$$q = l/(i_1 - i_0) = (i_1 - i_0)/(x_2 - x_1)$$

Материальный баланс сушильного процесса

Для составления уравнения материального баланса введем обозначения :

- m_n – количество влажного материала, поступающего на сушку, кг/с;
- m_k – количество высушенного материала, кг/с;
- w_k w_n – начальная и конечная влажность материала, считая на сухую массу, %;
- W – количество влаги, удаляемой из материала при сушке, кг/с;
- L – расход сухого воздуха, кг/с.

Уравнения материального баланса

а) по всему материалу, подвергаемому сушке

$$m_H = m_K + W,$$

б) по абсолютно сухому веществу в высушиваемом материале

$$m_H = \frac{100 - w_H}{100} = m_K \frac{100 - w_K}{100}$$

Откуда: $m_H = m_K \frac{100 - w_H}{100 - w_K}$ $m_K = m_H \frac{100 - w_H}{100 - w_K}$

Количество удаляемой влаги: $W = m_H - m_K$

Уравнения материального баланса

$$W = m_H - m_K \frac{100 - w_K}{100 - w_H} = m_H \frac{w_H - w_K}{100 - w_K}$$

$$W = m_K \frac{w_H - w_K}{100 - w_K}$$

При расчете конвективных сушилок кроме баланса по высушиваемому материалу составляется уравнение материального баланса по влаге, из которого определяют расход сухого воздуха на сушку: $W + L \cdot x_1 = L \cdot x_2$

Уравнения материального баланса

- Из последнего уравнения определяют расход абсолютно сухого воздуха на сушку:

$$L = \frac{W}{x_2 - x_0}$$

- Удельный расход воздуха на испарение из материала 1 кг влаги равен

$$l = \frac{L}{W} = \frac{1}{x_2 - x_0}$$

- Учитывая, что $x_1 = x_0$, можно записать $l = \frac{1}{x_2 - x_1}$

В час работы иль досуга книга - лучшая подруга!



Спасибо за внимание!