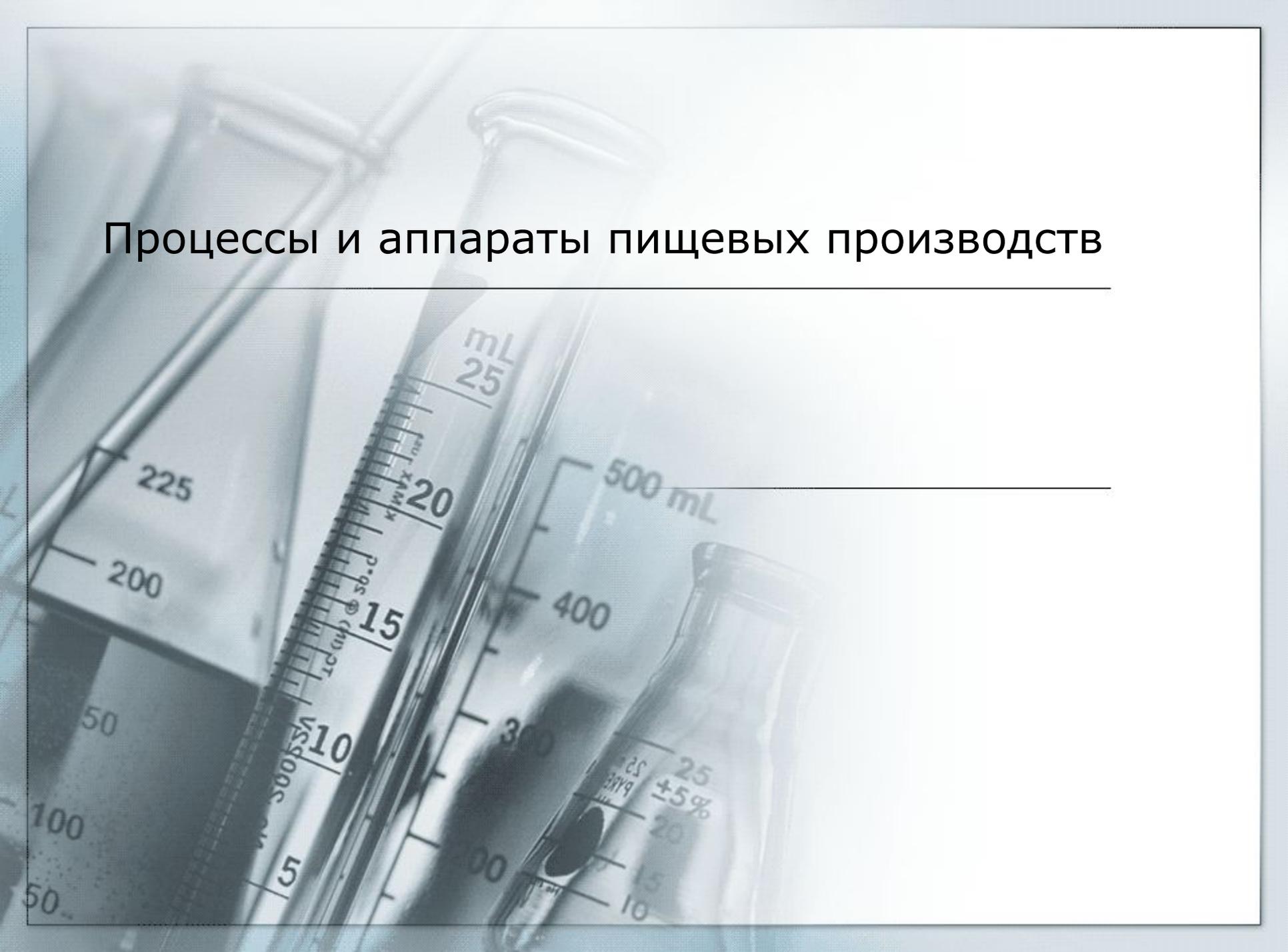


Процессы и аппараты пищевых производств



Сушка

Содержание лекции

- 1 Сущность процесса и его назначение**
- 2 Статика сушки**
- 3 Виды связи влаги с материалом**
- 4 Теплоносители**
 - 4.1 Водяной пар**
 - 4.2 Воздух**
 - 4.3 Топочные газы**

1 Сущность процесса и его назначение

Сушка - тепломассообменный процесс, предназначенный для обезвоживания различных материалов и продуктов.

По способу подвода тепла к высушиваемому материалу различают следующие виды сушки:

- конвективная сушка - путем непосредственного соприкосновения высушиваемого материала с сушильным агентом, в качестве которого обычно используют нагретый воздух или топочные газы (как правило, в смеси с воздухом);
- контактная сушка – путем передачи тепла от теплоносителя к материалу через разделяющую их стенку;
- радиационная сушка – путем передачи тепла инфракрасными лучами;
- диэлектрическая сушка – путем нагревания в поле токов высокой частоты;
- сублимационная сушка – сушка в замороженном состоянии при глубоком вакууме.

2 Статика сушки

- Если материал находится в контакте с влажным воздухом, то возможны два процесса:
- а) **сушка** - (десорбция влаги из материал) при парциальном давлении пара над поверхностью материала P_m , превышающим его парциальное давление в воздухе или газе P_n , т.е. $P_m > P_n$;
- б) **увлажнение** - (сорбция влаги материалом) при $P_m < P_n$.

В процессе сушки величина P_m уменьшается и приближается к пределу $P_m = P_n$. При этом наступает **состояние динамического равновесия**, которому соответствует **предельная влажность материала**, называемая **равновесной влажностью**.

Для характеристики содержания влаги в материале используются понятия:

w – влажность материала, как содержание влаги выраженное в процентах от массы влажного материала:

$$w = \frac{m_{\text{вл}}}{m} \cdot 100\%$$

где $m_{\text{вл}}$ – масса воды, кг; m – общая масса материала, кг.

Определения

- В ряде случаев более удобно относить влагу к абсолютно сухому веществу. В этом случае влагосодержание ξ , представляет собой содержание влаги в килограммах на 1 кг материала:

$$\xi = \frac{m_{\hat{a}\ddot{e}}}{(m - m_{\hat{a}\ddot{e}})} 100\%$$

3 Виды связи влаги с материалом

П.А. Ребиндером предложена следующая классификация форм связи влаги с материалом:

1. химическая (ионная, молекулярная);
2. физико-химическая (адсорбционная, осмотическая, структурная);
3. механическая (влага в капиллярах и макрокапиллярах, влага смачивания).

3 Виды связи влаги с материалом

- *Химически связанная влага*, связанная с материалом химическими связями, может быть удалена прокаливанием или химическими методами. Сушка для ее удаления не пригодна. В других случаях связи влага может быть удалена сушкой.

Адсорбционно связанная влага удерживается у поверхности раздела коллоидных частиц с окружающей средой. Обладая значительной поверхностью, коллоидные структуры имеют большую адсорбционную способность. Адсорбционная влага удерживается молекулярным силовым полем. Адсорбция влаги сопровождается выделением теплоты, которая называется теплотой гидратации.

3 Виды связи влаги с материалом

- **Осмотически связанная** влага, или влага набухания, находится внутри скелета материала и удерживается осмотическими силами.
- **Капиллярно-связанная** влага находится внутри макро- и микрокапилляров. Эта влага механически связана с материалом и относительно легко удаляется. Давление пара над поверхностью материала тем меньше, чем прочнее связь между водой и материалом. Наиболее прочна эта связь у гигроскопичных веществ.

4 Теплоносители

- Теплоносителями в промышленных сушильных установках служат водяной пар, воздух и топочные газы.
- В сушильных установках малой производительности иногда используют электрический ток промышленной и высокой частоты, а также радиационный нагрев высушиваемого материала.

4.1 Водяной пар

- Водяной пар предназначается для сушки термочувствительных материалов. Его используют как для нагрева высушиваемых материалов через стенку в контактных сушилках, так и для подогрева в теплообменниках (калориферах) воздуха, который затем направляется в качестве теплоносителя в конвективные сушиллки.
- Пар - чистый теплоноситель. Температуру водяного пара легко регулировать путем дросселирования.

4.1 Водяной пар

- Пар, температура которого равна температуре кипения воды (t_K) при данном давлении, называется **насыщенным**.
- При отводе от него теплоты он постепенно превращается в воду - конденсируется, однако температура его при этом не изменяется.
- Перегретым называется пар, температура которого $t_{п.п}$ выше температуры кипения воды t_K при данном давлении. Получают его при перегреве насыщенного водяного пара в перегревателе. При охлаждении перегретый пар не будет конденсироваться до тех пор, пока его температура не станет равной температуре кипения воды при данном давлении.
- Обычно пар перегревают лишь настолько, чтобы он не конденсировался в паропроводе.

4.2 Воздух

- Воздух, нагретый в калорифере, является теплоносителем и одновременно переносчиком паров воды, испарившейся из влажного материала, т. е. в сушильных установках воздух влажный.
- Отдача теплоты нагретым воздухом стенке приблизительно в 500 раз ниже, чем насыщенным водяным паром, поэтому нагретый воздух используют для непосредственного соприкосновения с влажным материалом, а не отделяют стенкой.

Характеристики влажного воздуха

Влажный воздух характеризуется следующими параметрами:

- температурой t ,
- точкой росы t_p ,
- влагосодержанием x ,
- относительной влажностью φ ,
- энтальпией i .

4.2 Воздух

- Влагосодержание x - это количество содержащихся в воздухе водяных паров (в кг), отнесенное к 1 кг абсолютно сухого воздуха.
- Относительной влажностью φ называется массовое количество содержащихся в воздухе паров, отнесенное к содержанию их в состоянии насыщения при той же температуре. Относительную влажность воздуха определяют специальным прибором— психрометром.
- Точка росы t_p является температурой, которую будет иметь воздух с влагосодержанием x в результате охлаждения до состояния насыщения ($\varphi= 1$ или 100%).

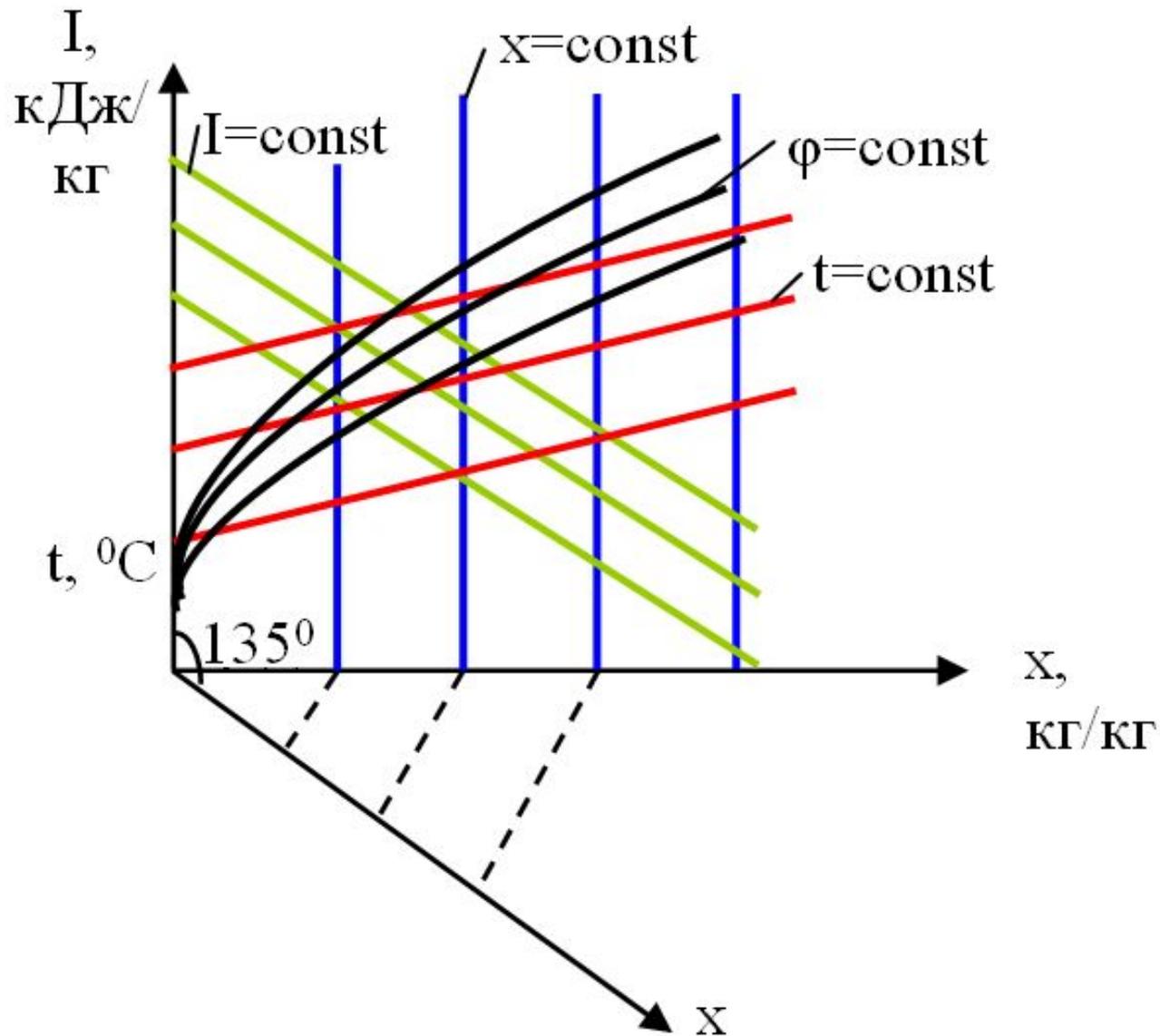
4.2 Воздух

- Энтальпия i влажного воздуха - это количество содержащейся в нем теплоты, отнесенное к 1 кг сухого воздуха. Отсчет ведут от 0°C . Величина i равна сумме энтальпий 1 кг сухого воздуха и x кг водяного пара:

$$i = i_v + i_n$$

- где i_v – энтальпия воздуха; i_n – энтальпия пара.

Диаграмма Рамзина I-x для влажного воздуха



I - x диаграмма влажного воздуха

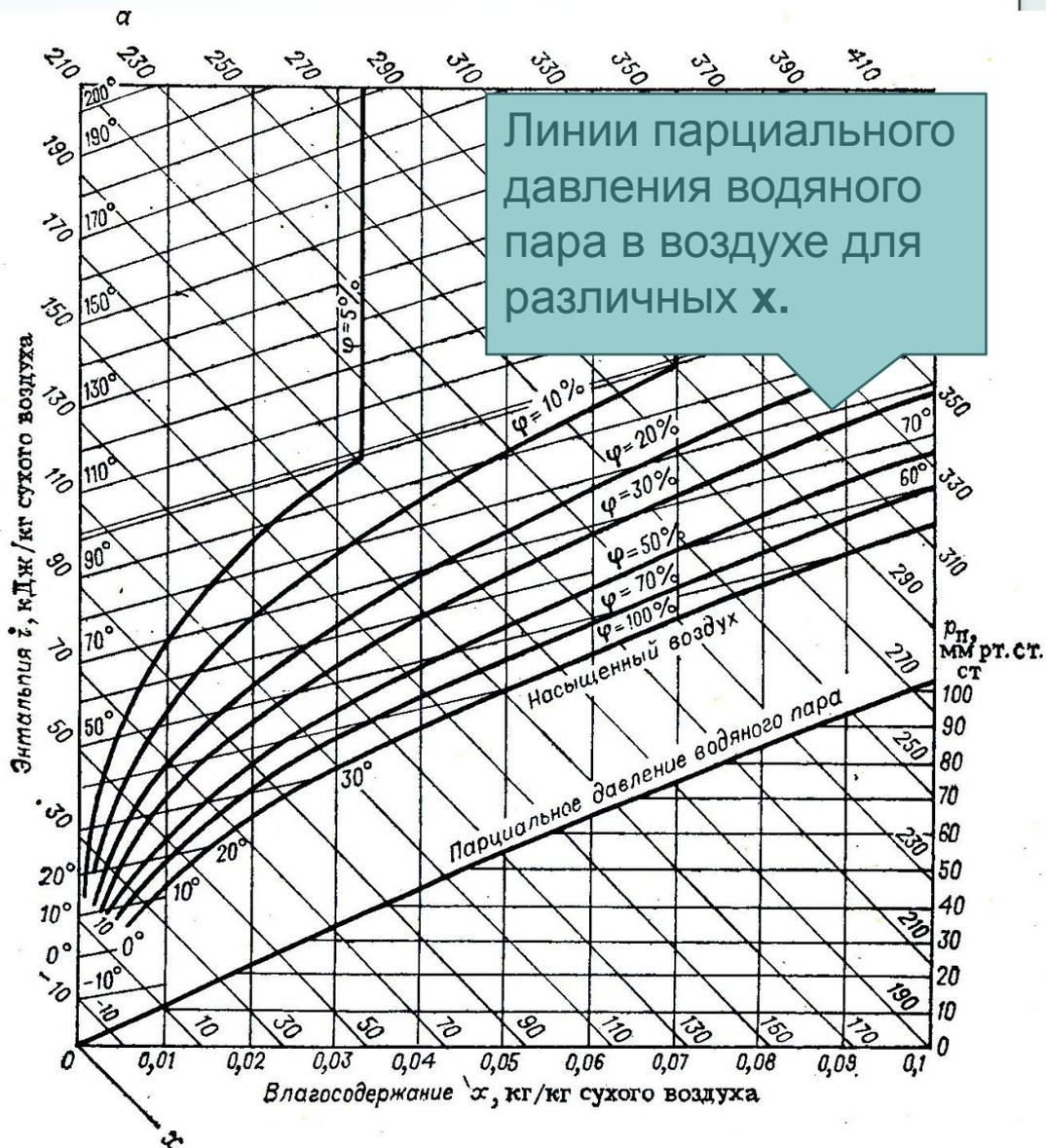
Диаграмма построена для
 $P_{бар} = 745 \text{ мм. р. ст.}$

Линии постоянной
относительной влажности
 $\varphi = \text{const}$

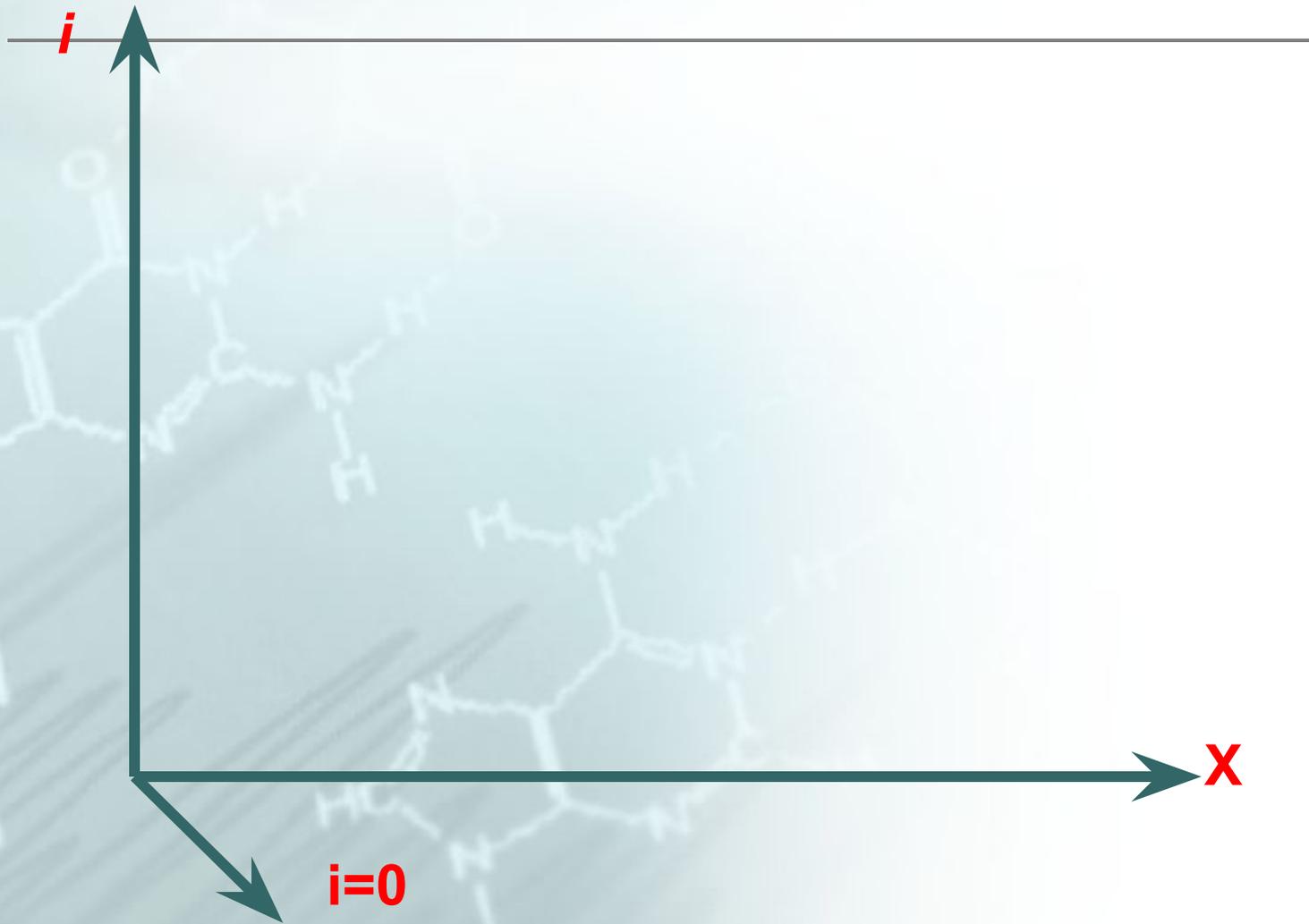
Энтальпия i , кДж/кг сухого
воздуха

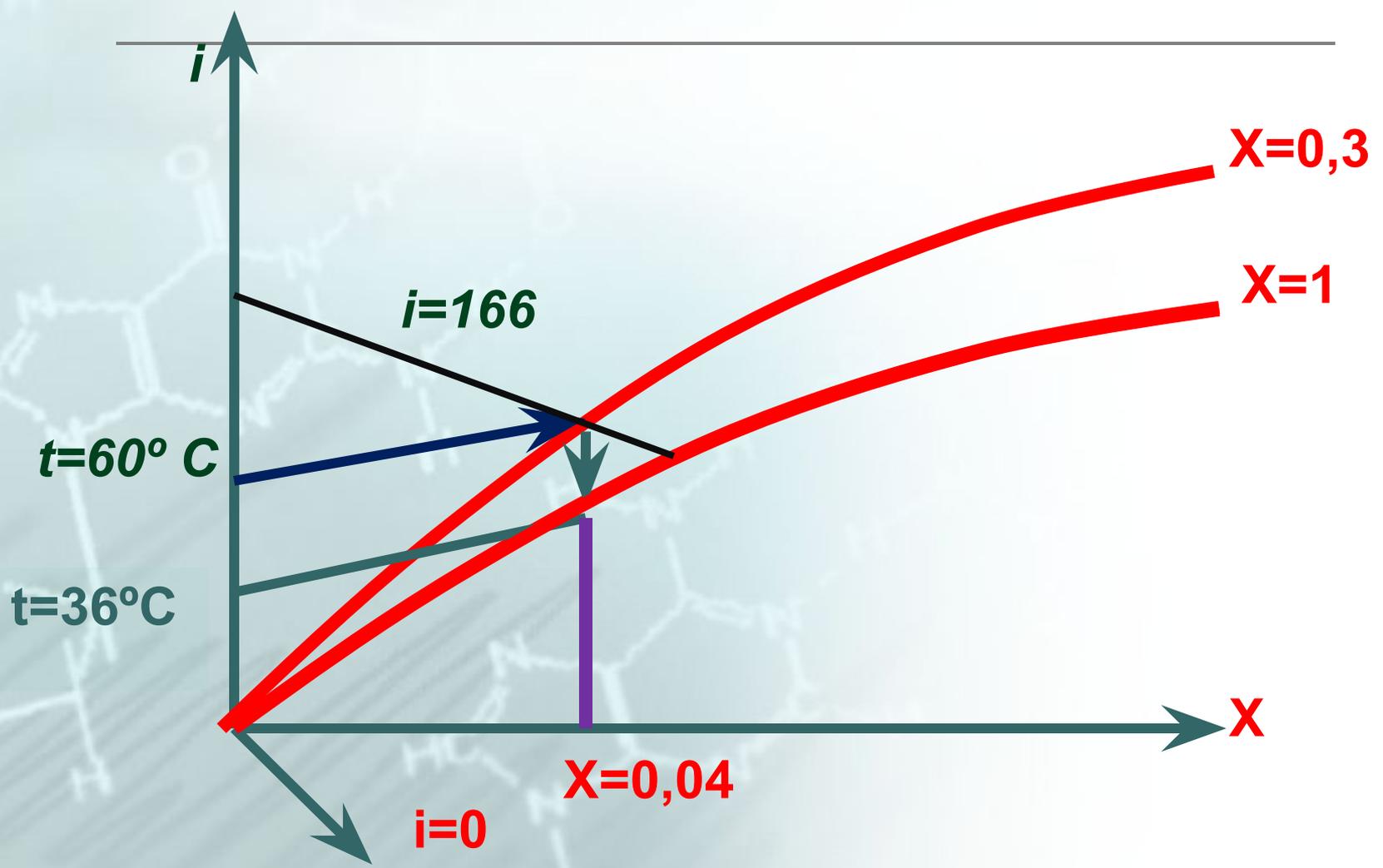
Изотермы - линии
постоянных температур

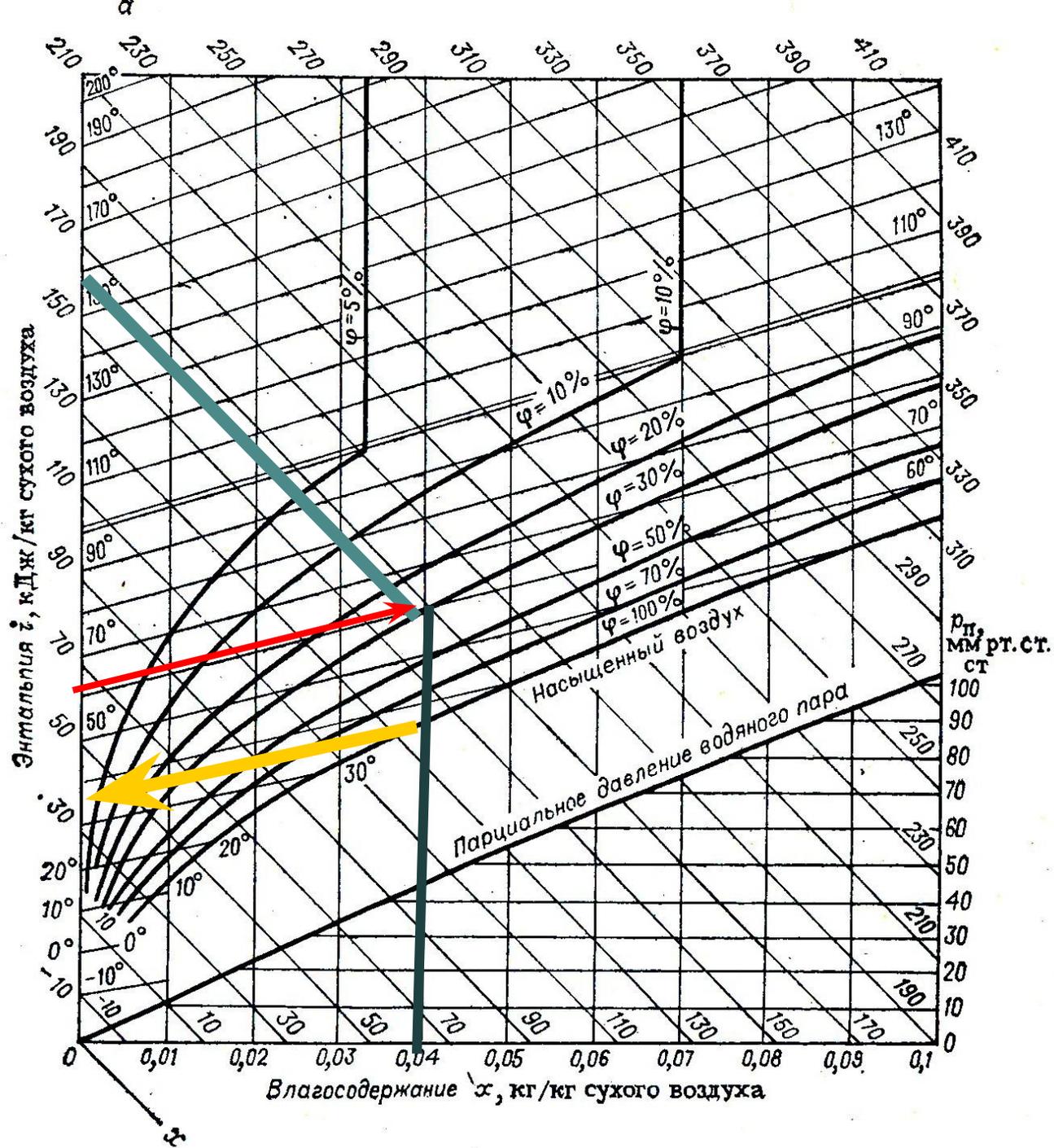
Влагосодержание x ,
кг/кг сухого воздуха



-
- **Пример 1.** Определить энтальпию, влагосодержание и точку росы влажного воздуха при $t = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\phi = 30\%$.

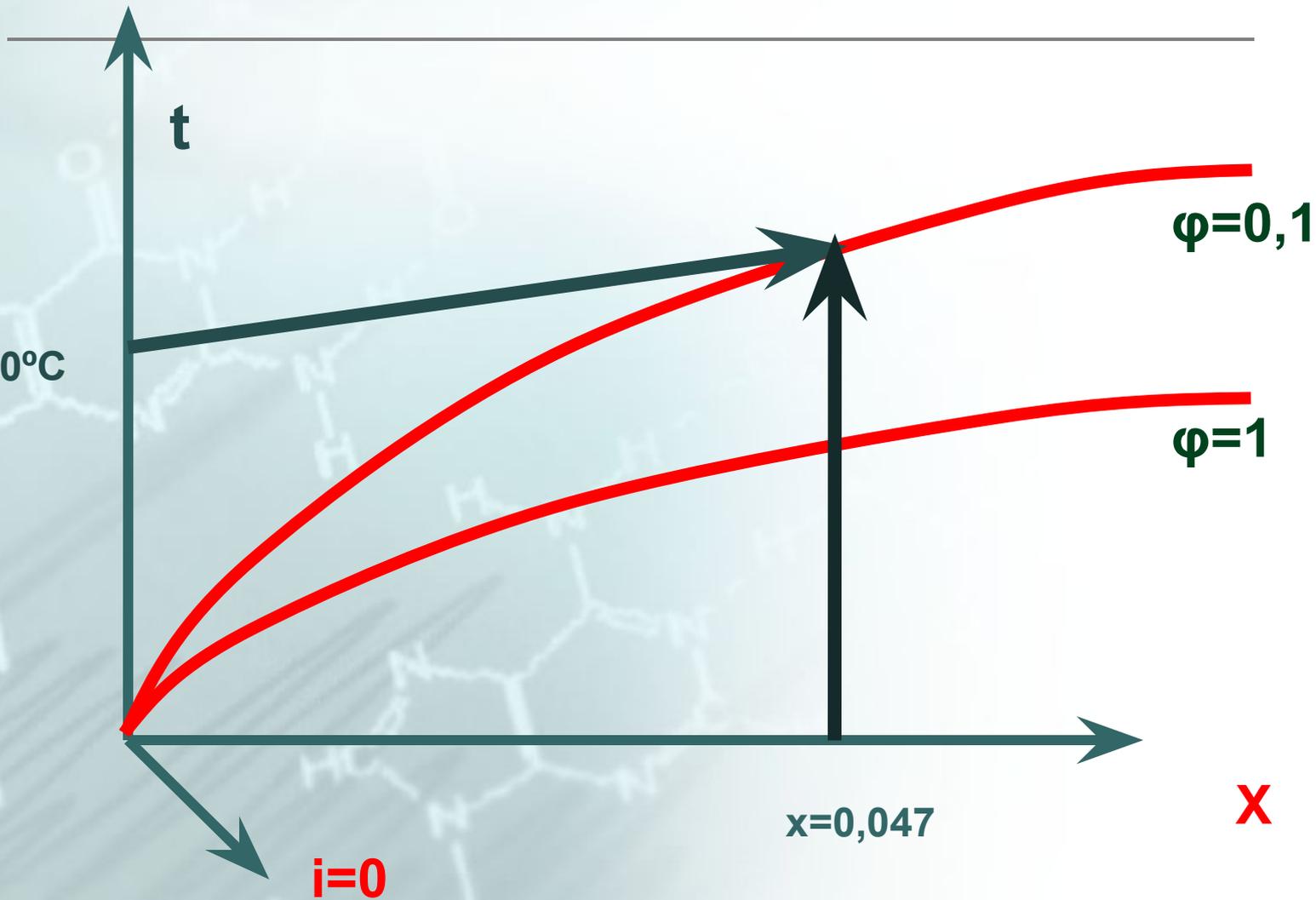


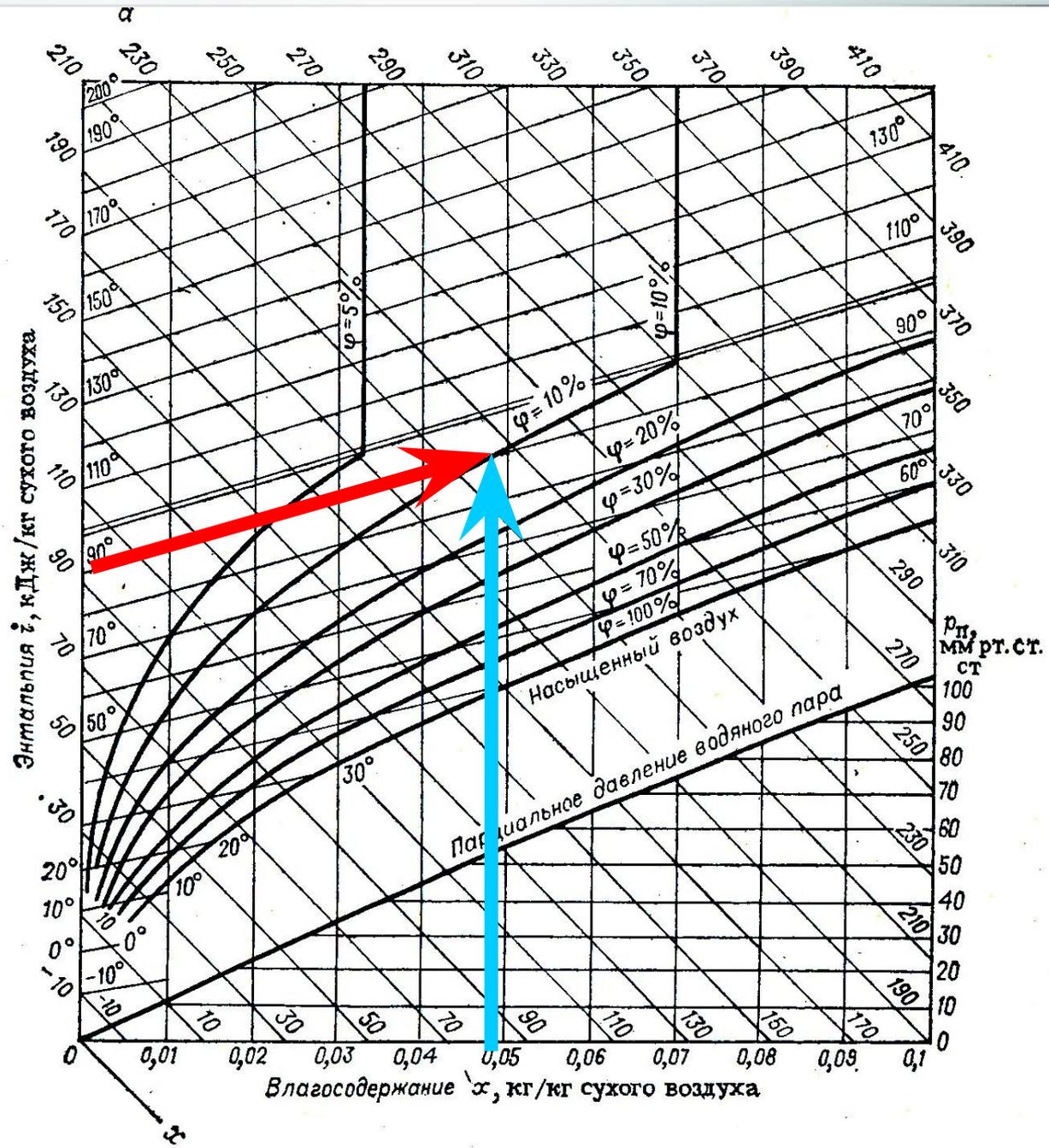




Пример 2.

Определить относительную влажность воздуха при $t = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ и влагосодержании $x = 0,047$ кг/кг сухого воздуха.

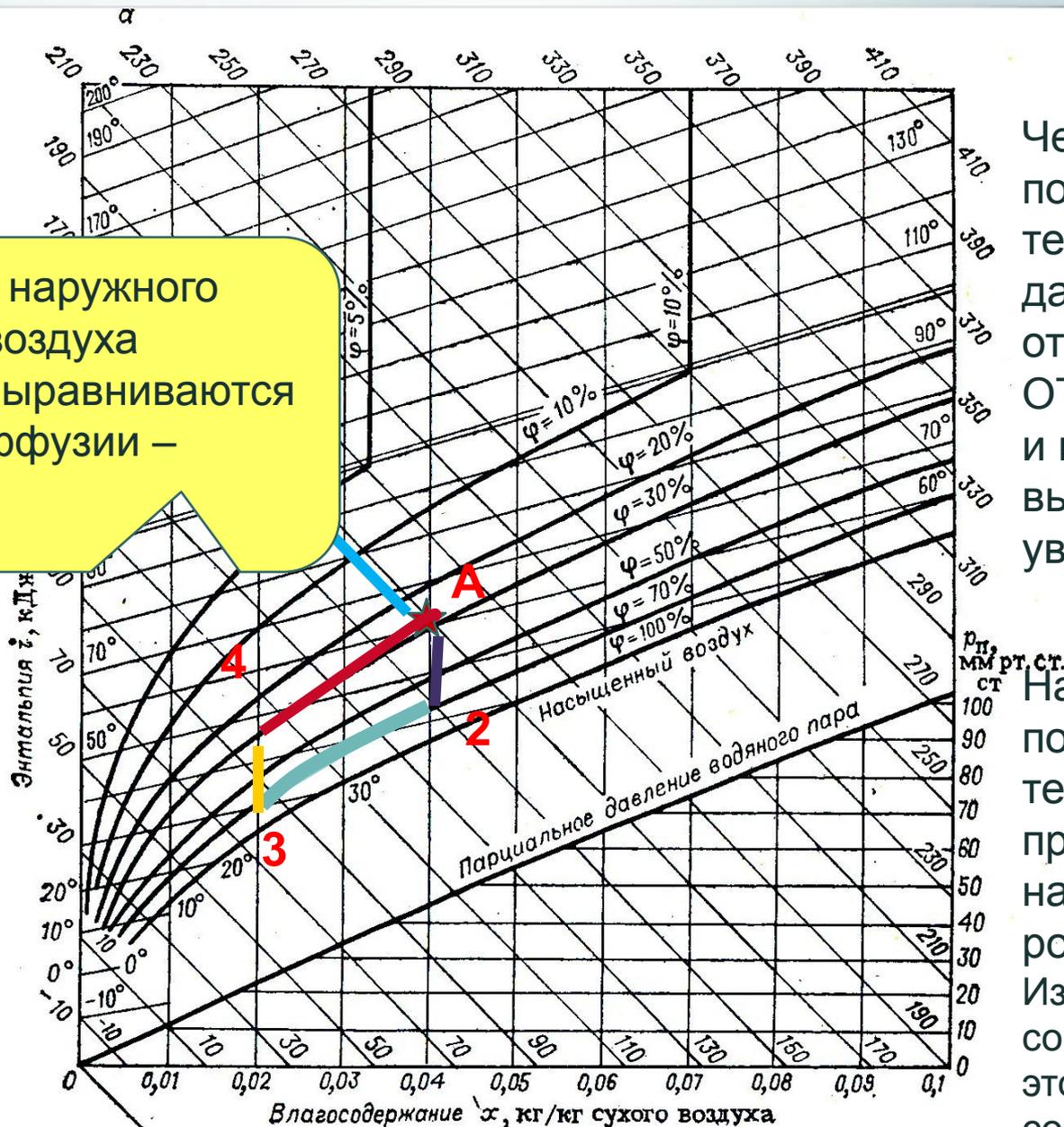




Увлажнение продуктов в негерметичной упаковке

- Феномен появления влаги в упаковке можно объяснить, рассматривая естественные изменения состояния воздуха внутри упаковки на i -х-диаграмме.
- Пусть исходное состояние воздуха характеризуется точкой A и температура окружающей среды уменьшается в соответствии с ее естественным суточным ходом.
- Вследствие затрудненного обмена воздуха в упаковке с окружающей средой его абсолютная влажность при понижении температуры сохраняется, а относительная - увеличивается. Если в этом процессе достигается 100%-я влажность, то по мере дальнейшего понижения температуры излишняя влага выпадает в виде росы на внутренней поверхности упаковки и состояние воздуха переходит вначале к точке 2, потом - к точке 3.

Влажности наружного воздуха и воздуха упаковки выравниваются за счет диффузии – переход 4-А.



Изменение состояния наружного воздуха происходит иначе. Он увлажняется за счет климатических факторов.

Чем больше понижается температура, тем дальше отступает точка 3 От точки 2 влево и количество выпавшей влаги, увеличивается.

Наконец, понижение температуры прекращается и начинается ее рост. Изменению состояния воздуха в этом процессе соответствует вертикаль 3-4-диаграммы.

4.3 Топочные газы

- Топочные газы в смеси с атмосферным воздухом широко используют при сушке различных материалов, в том числе и органических продуктов.
- Преимущества сушки топочными газами: возможность получения высоких температур; простота топочных устройств; возможность непосредственного применения отработанных газов котельных установок, печей и других агрегатов.
- Недостатки сушки топочными газами: возможность попадания на высушиваемый материал сажи или капель несгоревшего жидкого топлива, наличие в газах вредных сернистых соединений, что может вредно повлиять на качество высушенных материалов, а также возникновение пожаров в газоходах и пылеулавливающей аппаратуре при догорании угольной пыли или капель жидкого топлива.



7

МАРТА

Воскресенье впервые объявлено
выходным днем

 РИАНОВОСТИ

Друзья, пусть сегодня не воскресенье, но настроение все равно предпраздничное. Когда-то в воскресный день трудились, но 7 марта 321 года римский император Константин I Великий провозгласил его выходным.