

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СУШИЛЬНОГО АГЕНТА ДЛЯ РЕАЛЬНОЙ СУШИЛКИ

М.К.Захаров, В.В.Карасев

Предложенный метод позволяет аналитически рассчитать параметры сушильного агента на выходе из реальной сушилки при одной известной характеристике воздуха без использования I - x диаграммы.

При расчетах процессов сушки возникает необходимость использования диаграмм I - x , где I – относительная энтальпия, кДж/кг абсолютно сухого воздуха (асв); x – влагосодержание воздуха, кг влаги/кг асв.

При переходе от расчетов идеальных процессов к расчетам реальных процессов сушки используется уравнение теплового баланса сушильной камеры, которое связывает параметры воздуха на входе в сушилку (точка 1: x_1, I_1) и на выходе из нее (точка 2: x_2, I_2) [1]:

$$I_2 - I_1 = \frac{\Delta q}{l} = \Delta q(x_2 - x_1) \quad (1)$$

В уравнении (1) Δq – параметр процесса сушки, определяемый разностью между подводом и отводом (потерями) теплоты в сушильной камере, кДж/кг удаляемой влаги; l – удельный расход сушильного агента, кг асв/кг влаги.

На основании приведенного уравнения возможно графическое определение параметров воздуха (сушильного агента) на выходе из сушильной камеры, однако этот метод трудоемок и неточен. Дело в том, что неопределенность положения точки 2 для реального процесса сушки не позволяет рассчитать удельный расход воздуха $l = 1/(x_2 - x_1)$, а следовательно, и относительную энтальпию I_2 уходящего воздуха по левому равенству уравнения (1). Наличие двух неизвестных x_2, I_2 в одном уравнении также не позволяет их однозначно определить.

Известный графический метод [1] нахождения точки 2 в диаграмме I - x базируется на определении промежуточной точки $\Pi(x_n, I_n)$ реального

процесса сушки по видоизмененному уравнению (1):

$$I_n = I_1 + \Delta q(x_n - x_1) \quad (1a)$$

Задаваясь произвольным значением влагосодержания x_n , находят энтальпию I_n воздуха. Через найденную точку $\Pi(x_n, I_n)$ и точку 1 (рис.1) проводят прямую до пересечения с заданным параметром уходящего воздуха (температуры t_2 или относительной влажности ϕ_2). Точка пересечения (т. 2) характеризует все свойства уходящего воздуха.

Нами предлагается аналитическое определение параметров сушильного агента (СА) на выходе из сушилки при заданной хотя бы одной его характеристике: температуре t_2 или относительной влажности ϕ_2 . При **заданной конечной температуре t_2** (частично этот случай рассмотрен в [2]) дополнительное уравнение, связывающее I_2 и x_2 , вытекает из определения относительной энтальпии воздуха [1]:

$$I_2 = c_e t_2 + i_n x_2, \quad (2)$$

где c_e – удельная теплоемкость абсолютно сухого воздуха, кДж/(кг·К); i_n – энтальпия водяного пара, $i_n = 2493 + c_n t_2$, кДж/кг пара; c_n – теплоемкость водяного пара, кДж/(кг·К).

Совместное решение системы двух уравнений (1) и (2) позволяет найти I_2 и x_2 .

Подставляя (2) в (1), получаем:

$$c_e t_2 + i_n x_2 - I_1 = \Delta q(x_2 - x_1) \quad (3)$$

или

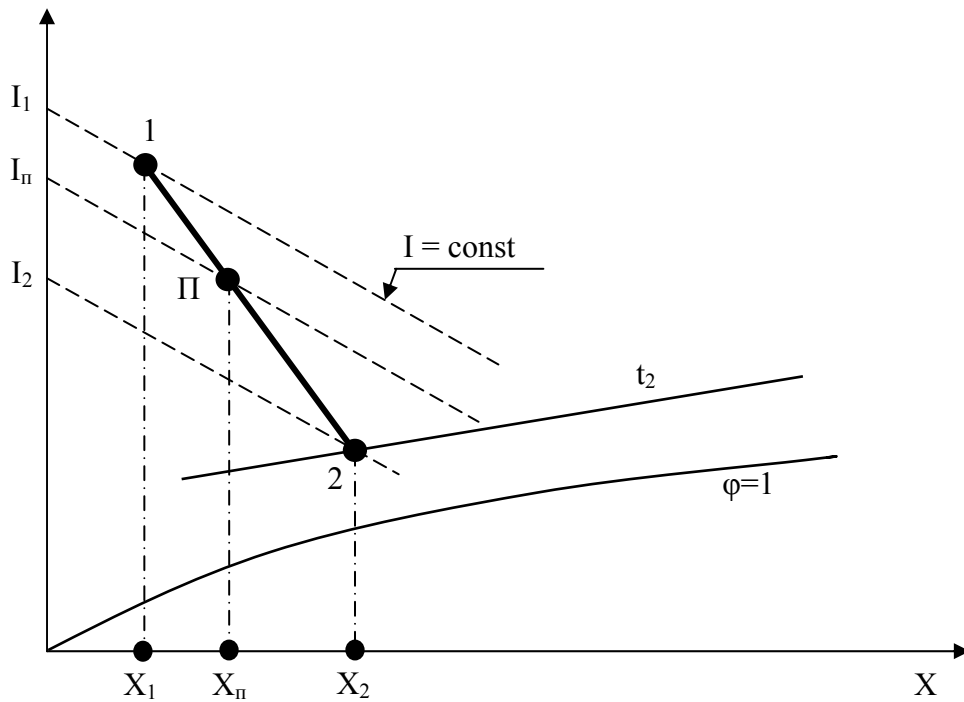


Рис. 1. Графическое определение параметров сушильного агента на выходе из сушильной камеры при заданной температуре уходящего воздуха.

$$x_2(i_n - \Delta q) = I_1 - c_6 t_2 - \Delta q x_1 \quad (3a)$$

Откуда

$$x_2 = \frac{I_1 - c_6 t_2 - \Delta q x_1}{i_n - \Delta q} \quad (4)$$

Далее в соответствии с уравнением (2) находим:

$$I_2 = c_6 t_2 + i_n \frac{I_1 - c_6 t_2 - \Delta q x_1}{i_n - \Delta q} \quad (5)$$

или

$$I_2 = c_6 t_2 + \frac{I_1 - c_6 t_2 - \Delta q x_1}{1 - \frac{\Delta q}{i_n}} \quad (5a)$$

После приведения к общему знаменателю получим:

$$I_2 = \frac{I_1 - \Delta q \left(x_1 + \frac{c_6 t_2}{i_n} \right)}{1 - \frac{\Delta q}{i_n}} \quad (6)$$

Естественно, что при $\Delta q = 0$ имеем

$$I_2 = I_1, \text{ а } x_2 = \frac{I_1 - c_6 t_2}{i_n}.$$

Условие $\Delta q = 0$ соблюдается при идеальной сушке, а также в реальных условиях сушки, когда подвод теплоты в сушильной камере равен отводу (потерям) теплоты с материалом, в окружающую

среду и с транспортными приспособлениями.

При заданной конечной относительной влажности СА (φ_2) система уравнений (1), (2), в которых фигурируют три неизвестные величины: I_2 , x_2 и t_2 , должна быть дополнена выражением для влагосодержания воздуха

$$x_2 = 0.622 \frac{\varphi_2 D_{i,2}}{\hat{A} - \varphi_2 D_{i,2}} \quad (7)$$

где $P_{n,2}$ - давление насыщенного водяного пара при температуре t_2 (Па).

В диапазоне рабочих температур СА на выходе из аппарата (от 20 до 100° С) давление насыщенных паров хорошо аппроксимируется зависимостью [3]:

$$\ln p = \frac{23.3t + 1477}{t + 230} \quad (8)$$

или

$$p = \exp \left(\frac{23.3t + 1477}{t + 230} \right) \quad (8a)$$

Подставляя (8a) в (7), получаем:

$$x_2 = 0.622 \frac{\varphi_2 \exp \left(\frac{23.3t_2 + 1477}{t_2 + 230} \right)}{\hat{A} - \varphi_2 \exp \left(\frac{23.3t_2 + 1477}{t_2 + 230} \right)} \quad (7a)$$

Система трех уравнений (1), (2) и (7а) с тремя неизвестными легко решается. Подставляя (2) в (1) и x_2 по (7а), имеем:

$$c_2 t_2 + (2493 + c_i t_2) 0.622 \frac{\varphi_2 \exp\left(\frac{23.3 t_2 + 1477}{t_2 + 230}\right)}{\hat{A} - \varphi_2 \exp\left(\frac{23.3 t_2 + 1477}{t_2 + 230}\right)} - I_1 =$$

$$= \Delta q \left[0.622 \frac{\varphi_2 \exp\left(\frac{23.3 t_2 + 1477}{t_2 + 230}\right)}{\hat{A} - \varphi_2 \exp\left(\frac{23.3 t_2 + 1477}{t_2 + 230}\right)} - x_1 \right] \quad (9)$$

Температура t_2 в уравнении (9) может быть найдена численными методами. Затем определяют p по уравнению (8а), x_2 - по (7) и I_2 - по (2). При $\Delta q = 0$ (для

идеальной сушки и реальной, когда подвод теплоты компенсирует потери теплоты в сушилке) $I_2 = I_1$, а температура t_2 может быть найдена из уравнения:

$$c_2 t_2 + (2493 + c_i t_2) 0.622 \frac{\varphi_2 \exp\left(\frac{23.3 t_2 + 1477}{t_2 + 230}\right)}{\hat{A} - \varphi_2 \exp\left(\frac{23.3 t_2 + 1477}{t_2 + 230}\right)} = I_1 \quad (10)$$

Влагосодержание СА на выходе из сушилки $x_2 = \frac{I_1 - c_6 t_2}{2493 + c_n t_2}$.

тическое определение параметров сушильного агента на выходе из реального аппарата при заданной одной конечной его характеристике: температуре или относительной влажности воздуха.

Таким образом, предложено анали-

ЛИТЕРАТУРА:

1. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии /В.Г. Айнштейн В.Г. [и др.] – М. : Логос, Высшая школа, 2002. – 1760 с.
2. Сажин, Б.С. Научные основы техники сушки /Б.С. Сажин, В.Б. Сажин. – М.: Наука, 1997. – 448 с.
3. Перри, Дж. Справочник инженера-химика /Дж. Перри: пер. с англ. / Под ред. Н.М.Жаворонкова. – Л. : Химия, 1969. – Т.1. – 640 с.