

УДК 697.94:631.563

**В. Е. Писарев**, *докт. техн. наук*  
Киевский национальный университет  
строительства и архитектуры

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ГИПОБАРИЧЕСКОМ ХРАНИЛИЩЕ ПРИ ЛИНЕЙНОМ ЗАКОНЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЕЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ

При хранении сельскохозяйственной продукции в гипобарическом хранилище в результате колебаний абсолютного давления могут иметь место незначительные колебания во влажностном состоянии среды. При этом относительная влажность изменяется в небольших пределах. В этом случае может быть принят линейный закон изменения относительной влажности в пределах одного периода повышения или понижения давления, что является одним из самых распространенных допущений, принимаемых при расчетах систем кондиционирования

$$\varphi = \varphi_1 \pm \frac{\Delta\varphi}{\Delta\tau} \tau. \quad (1)$$

Известная формула определения влагосодержания  $x$

$$x = 0,622 \frac{P_s \varphi}{P - P_s \varphi}$$

может быть преобразована с помощью аппроксимирующей зависимости  $P_s = n'(T - \varepsilon')$ , работающей в небольших пределах температур [1], и упрощения  $P - P_s \varphi \approx P_1 - P_{cp}$ , где  $P_{cp} = (P_{s1} + P_{s2})/2$ , к виду

$$x = \frac{0,622 \varphi n'(T - \varepsilon')}{P_1 - P_{cp}}. \quad (2)$$

Полагая  $\frac{0,622 n'}{P_1 - P_{cp}} = D_1$  и  $\frac{0,622 n' \varepsilon'}{P_1 - P_{cp}} = D_2$

выражение (2) для влагосодержания  $x$  с учетом допущения (1) представим в виде

$$x = \left( \varphi_1 + \frac{\Delta\varphi}{\Delta\tau} \tau \right) D_1 T - \left( \varphi_1 + \frac{\Delta\varphi}{\Delta\tau} \tau \right) D_2. \quad (3)$$

Запишем полный дифференциал влагосодержания в виде

$$dx = \frac{\partial x}{\partial \tau} d\tau + \frac{\partial x}{\partial T} dT. \quad (4)$$

После соответствующих преобразований выражения (3) получим

$$dx = D_1 \left( \varphi_1 + \frac{\Delta\varphi}{\Delta\tau} \tau \right) dT + \frac{\Delta\varphi}{\Delta\tau} (D_1 T - D_2) d\tau. \quad (5)$$

Подставляя выражение (5) в уравнение  $rdx = c_v dT + R \left( dT - T \frac{dp}{p} \right)$ , полученное из первого закона термодинамики с учетом процессов, протекающих в гипобарическом хранилище [2], имеем

$$rD_1 \left( \varphi_1 + \frac{\Delta\varphi}{\Delta\tau} \tau \right) dT + r \frac{\Delta\varphi}{\Delta\tau} (D_1 T - D_2) d\tau = c_p dT - RT \frac{dp}{p}. \quad (6)$$

С учетом закона изменения давления  $p = p_1 + \frac{\Delta p}{\Delta\tau} \tau$ , ранее принятого в работе [2] для упрощения анализа процессов в гипобарическом хранилище, получаем дифференциальное уравнение, описывающее процесс изменения параметров среды, в виде

$$rD_1 \left( \varphi_1 + \frac{\Delta\varphi}{\Delta\tau} \tau \right) dT + r \frac{\Delta\varphi}{\Delta\tau} (D_1 T - D_2) d\tau = c_p dT - \frac{RT \frac{\Delta p}{\Delta\tau} d\tau}{p_1 + \frac{\Delta p}{\Delta\tau} \tau}. \quad (7)$$

Введем обозначения

$$\frac{c_p}{R} = B; \quad \frac{p_1 \Delta\tau}{\Delta p} = c; \quad \frac{\varphi_1 r D_1}{R} = D_1'; \quad \frac{r D_1 \Delta\varphi}{R \Delta\tau} = D_1''; \\ \frac{r \Delta\varphi}{R \Delta\tau} D_1 = D_1'''; \quad \frac{r \Delta\varphi}{R \Delta\tau} D_2 = D_2'.$$

После преобразования уравнения (7) имеем

$$\frac{dT}{d\tau} = T \frac{\frac{1}{c+\tau} + D_1'''}{B - D_1' - D_1''\tau} - \frac{D_2'}{B - D_1' - D_1''\tau}. \quad (8)$$

Для гипобарического хранения сельскохозяйственной продукции в ряде случаев характерным является условие  $|c| \gg \tau$ . Расчеты, выполненные для условий гипобарического хранения свидетельствуют, что в большинстве случаев значение  $|D_1''\tau|$  составляет не более 10% величины  $|B - D_1'|$ . Для оценочных расчетов можно пренебречь слагаемым  $D_1''\tau$ .

На ряде примеров рассмотрим правомерность условия  $|B - D_1'| \gg |D_1''\tau|$ . В период эксплуатации промышленного гипобарического хранилища, соблюдался такой режим его работы:  $P_1 = 16000$  Па;  $\Delta p = -2000$  Па;  $\Delta t = 750$  с;  $\Delta \varphi = 0$ ;  $\varepsilon' = 262$  К;  $n' = 63$  Па/К;  $\varphi_1 = 0,60$ ;  $T_0 = 273$  К;  $P_{cp} = 510$  Па. В соответствии с расчетами имеем  $B = 3,49$ ;  $C = -6000$  с;  $D_1 = 2,54 \cdot 10^{-3}$  1/К;  $D_2 = 0,666$ ;  $D_1' = 13,24$ ;  $D_1'' = 0$ ;  $D_1''' = 0$ ;  $D_2' = 0$ . Согласно расчетам при любом  $\tau$  выполняется условие  $|B - D_1'| \gg |D_1''\tau|$ . Рассмотренный пример характеризуется слишком низким значением  $\varphi$ , соответствующим случаю среды при хранении сельскохозяйственной продукции в полимерной упаковке. Рассмотрим случай открытого хранения сельскохозяйственной продукции. Пусть  $\varphi = 0,9$ , остальные первоначальные параметры оставим без изменения. Тогда  $B = 3,49$ ;  $C = -6000$  с;  $D_1 = 2,54 \cdot 10^{-3}$  1/К;  $D_2 = 0,666$ ;  $D_1' = 19,86$ ;  $D_1'' = 0$ ;  $D_1''' = 0$ ;  $D_2' = 0$ . Согласно расчетам также выполняется условие  $|B - D_1'| \gg |D_1''\tau|$ .

Выражение (8) переписывается в виде

$$\frac{dT}{d\tau} = TL_1 - L_2,$$

где

$$L_1 = \frac{\frac{1}{c} + D_1'''}{B - D_1'}, \quad L_2 = \frac{D_2'}{B - D_1'}.$$

Общий интеграл приведенного дифференциального уравнения находится по формуле

$$T = e^{\int L_1 d\tau} \left[ -L_2 \int e^{-L_1 \tau} d\tau + K \right].$$

После преобразований имеем

$$T = e^{L_1\tau} \left[ \frac{L_2}{L_1} e^{-L_1\tau} + K \right].$$

Для начальных условий  $\tau = 0$  и  $T = T_0$  получим

$$K = T_0 - \frac{L_2}{L_1}.$$

Окончательно

$$T = \left( T_0 - \frac{L_2}{L_1} \right) e^{L_1\tau} + \frac{L_2}{L_1}. \quad (9)$$

Расчеты, выполненные по формуле (9), свидетельствуют о том, что в гипобарическом хранилище сельскохозяйственной продукции при линейном законе изменения относительной влажности изменения температуры воздуха весьма малы.

### Использованная литература

1. *Кремнев О. А., Журавленко В. Я.* Тепло- и массообмен в горном массиве и подземных сооружениях. – К.: Наукова думка, 1986. – 341с.
2. *Писарев В. Е.* Влияние изменения давления на температуру воздуха в гипобарическом хранилище сельскохозяйственной продукции. – Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – К., КНУБА, 2002. Вип. 5.