

расчетные значения теплоотдачи на 35...50 % превышают опытные. Приемлемое согласование по сопротивлению расчетных с опытными значениями обеспечивает методика КПИ–ЦКТИ, однако в области  $Re > 15000$  расчетные значения сопротивления стесненных пучков II, III оказываются завышенными в среднем на 30 %.

Таким образом, выполненная работа показала необходимость дальнейшего накопления банка экспериментальных данных теплоаэродинамических характеристик стесненных пучков для корректировки существующих методик расчета теплоотдачи и потери давления воздуха в таких пучках из труб со спиральными поперечными ребрами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю д и н В. Ф. Теплообмен поперечно оребренных труб. – Л.: Машиностроение, 1982. – 189 с.
2. П и с ь м е н н ы й Е. Н., Л е г к и й В. М. К расчету теплообмена многорядных шахматных пучков с кольцевым поперечным оребрением // Теплоэнергетика. – 1984. – № 6. – С. 62–65.
3. К у н т ы ш В. Б. Теплообмен и аэродинамическое сопротивление шахматных стесненных пучков из труб с накатными ребрами // Известия вузов. Лесной журнал. – 1991. – № 2. – С. 74–80.
4. К у н т ы ш В. Б., К у з н е ц о в Н. М. Тепловой и аэродинамический расчеты оребренных теплообменников воздушного охлаждения. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 280 с.
5. Ж у к а у с к а с А., У л и н с к а с Р. Теплоотдача поперечно обтекаемых пучков труб. – Вильнюс: Мокслас, 1986. – 204 с.
6. Р у к о в о д я щ и й технический материал РТМ 108.030.140–87. Расчет и рекомендации по проектированию поперечно-оребранных конвективных поверхностей нагрева стационарных котлов /НПО ЦКТИ. – СПб., 1988. – 31 с.

Представлена кафедрой  
промышленной теплоэнергетики

Поступила 7.09.2000

УДК 635.9:631.563

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАСЫЩЕННОЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ГИПОБАРИЧЕСКОМ ХРАНИЛИЩЕ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ В НЕМ ДАВЛЕНИЯ

Докт. техн. наук ПИСАРЕВ В. Е., канд. техн. наук ДАВЫДЕНКО Б. В.

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры*

Из принятой ранее в [1] физической модели процесса вентилирования гипобарического хранилища сельскохозяйственной продукции следует, что при изменении в нем абсолютного давления могут периодически совершаться два политропных процесса: сжатие воздуха с его нагревом и увлажнением и расширение воздуха с понижением его температуры и выделением влаги. В [1] рассмотрена задача определения температуры воздушной среды в гипобарическом хранилище при изменении в нем давления с учетом линейной зависимости влагосодержания

среды от времени, которая справедлива при незначительных изменениях влагосодержания воздуха. При малых расходах вентилируемого воздуха или длительных периодах варьирования давления могут иметь место другие законы изменения влагосодержания среды хранения. Так, за счет влаговыделения сельскохозяйственной продукции или организованного увлажнения весьма возможно протекание тепловлажностных процессов в среде гипобарического хранилища при относительной влажности воздуха  $\phi = 1$ .

Дифференциальное уравнение политропного процесса изменения состояния воздуха имеет вид [2]

$$rdx = c_p dT - RT \frac{dp}{p}. \quad (1)$$

Пусть закон изменения давления описывается выражением

$$p = p_1 + \frac{\Delta p}{\Delta \tau} \tau, \quad (2)$$

где  $\Delta p$  — изменение давления за промежуток времени  $\Delta \tau$ .

Влагосодержание воздуха определяется известным выражением (при  $\phi = 1$ )

$$x = 0,622 \frac{p_s}{p - p_s}. \quad (3)$$

При условии  $p \gg p_s$ , согласно (2), можно принять

$$p - p_s \approx p_1 + \frac{\Delta p}{\Delta \tau} \tau - p_{\text{ср}}, \quad \text{где } p_{\text{ср}} = \frac{p_{s1} + p_{s2}}{2} \quad \text{или} \quad p_{\text{ср}} \approx p_{s1}.$$

Тогда (3) можно переписать в виде

$$x = 0,622 \frac{p_s}{p_1 + \frac{\Delta p}{\Delta \tau} \tau - p_{\text{ср}}}. \quad (4)$$

При малых изменениях температуры воздушной среды, что предположительно имеет место в нашем случае, зависимость давления насыщения от температуры может быть представлена линейным уравнением типа  $p_s = n(T - \varepsilon)$  [2], где  $n$  и  $\varepsilon$  — константы. С учетом этого (4) имеет вид

$$dx = \frac{0,622 n dT}{p_1 - p_{\text{ср}} + \frac{\Delta p}{\Delta \tau} \tau} - \frac{0,622 n (T - \varepsilon) \frac{\Delta p}{\Delta \tau}}{\left(p_1 - p_{\text{ср}} + \frac{\Delta p}{\Delta \tau} \tau\right)^2} d\tau. \quad (5)$$

Подставив выражение (5) в (1), учтя, что  $dp = \frac{\Delta p}{\Delta \tau} d\tau$ , и введя обозначения:

$$\frac{0,622rn\Delta\tau}{\Delta p R} = A; \quad \frac{c_p}{R} = B; \quad \frac{p_1\Delta\tau}{\Delta p} = C; \quad \frac{p_1\Delta\tau}{\Delta p} - p_{cp} \frac{\Delta\tau}{\Delta p} = C_1,$$

получим

$$\frac{dT}{d\tau} = -T \left[ \frac{1}{\left(-B + \frac{A}{C_1 + \tau}\right)(C + \tau)} - \frac{A}{\left(-B + \frac{A}{C_1 + \tau}\right)(C_1 + \tau)^2} \right] - \frac{A\varepsilon}{\left(-B + \frac{A}{C_1 + \tau}\right)(C_1 + \tau)^2}. \quad (6)$$

Рассмотрим два характерных примера режима эксплуатации гипобарического хранилища сельскохозяйственной продукции. Первый режим — поддержание в хранилище заданного давления хранения, осуществляемый с небольшими колебаниями давления. Второй режим — понижение давления в хранилище после загрузки охлажденной продукцией от атмосферного давления до давления хранения.

**Первый режим.** Выполним количественную оценку величин, входящих в (6) с учетом особенностей процесса гипобарического хранения сельскохозяйственной продукции и результатов опытных исследований, приведенных в [3].

Согласно опытным данным для процесса расширения воздуха, связанного с понижением абсолютного давления среды, можно принять:

$$\Delta p = -2350 \text{ Па}; \quad \Delta \tau = 480 \text{ с}; \quad p_1 = 18,35 \cdot 10^3 \text{ Па}; \quad p_{cp} = 610 \text{ Па}.$$

$$\text{Тогда } A = -0,63 \cdot 10^5 \text{ с}; \quad B = 3,49; \quad C = -3470 \text{ с}; \quad C_1 = -3616 \text{ с}.$$

Характерное время процессов при изменении давления при гипобарическом хранении сельскохозяйственной продукции согласно опытным данным мало, и можно принять, что  $|C| > \tau$  и  $|C_1| > \tau$ .

Тогда (6) запишем в виде

$$\frac{dT}{d\tau} = TL - N, \quad (7)$$

где

$$L = \frac{1}{\left(-B + \frac{A}{C_1}\right)C} - \frac{A}{\left(-B + \frac{A}{C_1}\right)C_1^2}; \quad N = \frac{A\varepsilon}{\left(-B + \frac{A}{C_1}\right)C_1^2}.$$

Решение (7) при начальных условиях  $\tau = 0$  и  $T = T_0$  имеет вид

$$T = \left(T_0 + \frac{N}{L}\right)e^{-L\tau} - \frac{N}{L}. \quad (8)$$

Для нашего примера (первый режим):  $L = 32,66 \cdot 10^{-5}$  1/с;  $N = 9,096 \cdot 10^{-5}$  град/с.

Из анализа (8) следует, что изменение абсолютного давления в гипобарическом хранилище в условиях насыщения воздуха влагой не приводит к заметным колебаниям температуры. Это позволяет заключить, что условия хранения при пониженном давлении насыщенной влагой среды близки к условиям атмосферного хранения.

**Второй режим.** Пусть давление в хранилище понижается от атмосферного ( $10^5$  Па) к значению давления хранения  $p_1 = 16 \cdot 10^3$  Па ( $\Delta p_1 = -84 \cdot 10^3$ ) Па. Согласно техническим характеристикам опытно-промышленного хранилища РОПХ [4] можно принять  $\tau = 900$  с. Тогда:  $A = 30900$  с;  $B = 3,49$ ;  $C = -1070$  с;  $C_1 = -1063$  с;  $A\varepsilon = -82 \cdot 10^5$  с · К.

Результаты расчетов по (6) свидетельствуют о том, что при понижении давления от атмосферного к значению давления хранения в насыщенной среде возможно небольшое уменьшение температуры. Для большинства случаев хранения сельскохозяйственной продукции эти изменения температуры допустимы [5].

Таким образом, изменения температуры в гипобарическом хранилище сельскохозяйственной продукции в зависимости от абсолютного давления среды при условии полного насыщения ее влагой незначительны. В соответствии с этим выпадения капельной влаги из ее среды также незначительны, что благоприятствует длительному хранению сельскохозяйственной продукции [5]. При реализации гипобарических технологий хранения сельскохозяйственной продукции можно рекомендовать режимы с высокой относительной влажностью среды.

#### ОБОЗНАЧЕНИЯ

$x$  — влагосодержание воздуха;  $r$  — удельная теплота испарения;  $\tau$  — текущее время процесса; 1 и 2 в индексах — начальное и конечное состояние;  $s$  — условия насыщения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Писарев В. Е. Анализ температур воздушной среды в гипобарическом хранилище сельскохозяйственной продукции при изменении в нем давления / Ин-т технической теплофизики НАН Украины. — К., 1993. — 14 с.: ил. — Библиограф.: 5 назв. — Деп. в ГНТБ Украины 16.09.93, № 1887 — Укр93.
2. Кремнев С. А., Журавленко В. Я. Тепло- и массообмен в горном массиве и подземных сооружениях. — М.: Наукова думка, 1980. — 383 с.

3. Писарев В. Е., Варавкин В. П., Бойко В. С. Температурно-влажностные условия в гипобарическом хранилище срезанных цветов // Холодильная техника. – 1990. – № 1. – С. 20–22.

4. Хранилище с пониженным давлением среды / В. Я. Журавленко, В. Е. Писарев, Э. Р. Гросман, Н. П. Очеретянко // Холодильная техника. – 1986. – № 4. – С. 12–13.

5. Жадап В. З. Влагообмен в плодоовощехранилищах. – М.: Агропромиздат, 1985. – 197 с.

Представлена кафедрой ТГПтаВ

Поступила 7.09.2000

УДК 621.433

## ГАЗОДИНАМИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ УДАРНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Канд. техн. наук, доц. КАЧАНОВ И. В., инж. КОНДРАТОВИЧ А. Н.,  
канд. техн. наук, доц. ИВАШЕЧКИН В. В.

*Белорусская государственная политехническая академия*

В настоящее время в металлообработке начинают внедряться технологии, основанные на ударном воздействии инструмента на деформируемый объект (скоростная штамповка, резка, брикетирование стружки и т. д.). Практика показала, что наиболее эффективно разгон инструмента осуществляется в машинах (установках), приводная часть которых работает по принципу двигателя внутреннего сгорания. Рабочим телом в этих машинах являются продукты сгорания смеси воздуха с топливом – газообразным [1, 2] или жидким [3].

Критический анализ, проведенный в [4], показывает, что конструктивные схемы машин [1–3] и используемые в них энергоносители не в полной мере отвечают современным требованиям по надежности, энергоемкости, безопасности труда, автономности, габаритным размерам, экологии.

Учитывая актуальность отмеченных требований, в НИЛ «Энергострой» БГПА была разработана и создана на базе технических решений [5, 6] газодинамическая установка ГДУ-1, предназначенная для ударной обработки материалов. Принцип ее работы основан на разгоне ударных частей за счет сгорания энергоносителя, в качестве которого используется водородно-кислородная смесь (ВКС) с соотношением компонентов 2 : 1 ( $2\text{H}_2 + \text{O}_2$ ). Для получения ВКС в установке применяется процесс электролиза электролита (20-процентный раствор КОН).

Принципиальная схема ГДУ-1 представлена на рис. 1. Установка выполнена по бесшаботной схеме и состоит из рамы 1, жестко соединенной с основанием 2. В верхней части рамы имеются оси 3, на которых смонтирована камера сгорания 4 (в дальнейшем просто камера). В свою очередь камера через промежуточные фланцы 5, 6 соединена с корпусом электролизера 7 и стволом 8. Корпус электролизера частично