

различных аппаратов, при возможных незначительных доработках самих аппаратов. Следовательно затраты на создание и исследования системы также будут минимальны.

Созданные на основе полученных результатов унифицированные функциональные блоки типов БФ и БВ по техническим параметрам превышают мировой уровень [7].

#### Список использованных источников

1. Оксененко А.Я., Наумчук Ш.А., Филатов Р.А. и др. Модульный монтаж гидравлических приводов. - М.: НИИМАЗ. 1979. - 38 с.
2. Пинчук В.В. Создание гидроприводов машин на основе современной элементной базы и прогрессивных способов монтажа//Материалы межд. НТК ГПИ. Гомель: ГПИ. 1996. - С. 172
3. Пинчук В.В. Способы монтажа гидроблоков управления//Вестник БНТУ. -2004, №5 – С47-50.
4. Пинчук В.В. Формирование компоновочных решений гидроблоков управления//Теория и практика машиностроения, -2004, -№1, С. 51 – 53.
5. ГОСТ 26890-86 (СТ СЭВ 5195-85). Гидроаппаратура. Присоединительные размеры стыковых полостей монтажных плит. Введ. 11.05.86. -М.: Изд-во стандартов, 1986-29с.
6. ГОСТ 27790-88. Гидроаппараты вставные. Присоединительные размеры монтажных отверстий. Введ. 01.07.89. -М.: Изд-во стандартов, 1988-4с.
7. Пинчук В.В. Синтез гидроблоков управления на основе унифицированной элементной базы. - Мн.: Технопринт, 2001-140с.

#### SUMMARY

In hydro equipment of late 30 years one can mainly observe tendency to receive the best performance in each separate element without taking into account their conjoint use. Existing standards of joining sizes impel designers and researchers to choose obviously not the best ways of creating control hydro blocks design.

In the article requirements on transformation of joining sizes of hydro devices are proved and ways of solving the existing problem are planned.

УДК 685.31.001.5

### ТЕПЛОВЫЙ БАЛАНС И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С СОПЛОВЫМ ОБДУВОМ ДЛЯ СКОРОСТНОЙ СУШКИ ОБУВИ

А.И. Ольшанский, В.И. Ольшанский,  
Е.Ф. Макаренко

Для интенсификации процесса формообразования и термофиксации верха обуви, затянутой на колодку, широко используется влажно-тепловая обработка, предварительно увлажненной обуви, горячим воздухом с температурой 70-130 °С. Она позволяет значительно повысить качество обуви, обеспечить необходимую формоустойчивость и снизить напряжения в кожах на 50-60 %. [1]

В УО «Витебский государственный технологический университет» разработана установка проходного типа, предназначенная для скоростной сушки, предварительно увлажненной обуви, затянутой на колодку. [2]

Установка обеспечивает сушку и термофиксацию верха, увлажненной обуви из натуральных, искусственных кож и синтетических материалов.

Оптимальный режим сушки должен давать наилучшие технологические качества обуви, минимальную продолжительность сушки при минимальных энергозатратах на процесс термообработки. [3]

Для определения оптимального режима сушки различных обувных материалов верха обуви [2] был проведен комплекс экспериментальных исследований на сушильной установке.

Обработка экспериментальных данных по сушке увлажненных заготовок верха обуви с сопловым обдувом горячим воздухом показала, что процесс обезвоживания происходит в периоде постоянной скорости сушки вплоть до равновесного влагосодержания независимо ни от режима сушки ни от вида и типа кож. При предварительном увлажнении верха обуви перед сушкой вся влага связана с материалом физико-механической связью. Это капиллярно связанная вода и энергия связи влаги с материалом (энергия отрыва) минимальна. Механически удержанная свободная вода легко испаряется из материала как со свободной поверхности жидкости. [3]

Внутренний тепловой баланс установки для большинства случаев сушильных камер можно записать [4]:

$$\Delta = t_{M1} c_M - (q_u + q_H + q_{TP} + q_5) \quad (1),$$

где  $\Delta$  - внутренний тепловой баланс установки, Дж/кг влаги;  $c_M$  - теплоемкость материала по средней температуре в сушильной камере, кДж/кг влаги;  $t_{M1}$  и  $t_{M2}$  - температура обуви на входе и выходе установки, °С;  $q_u$  и  $q_H$  - удельные расходы тепла на 1 кг влаги и на нагрев материала, Дж/кг влаги;  $q_{TP}$  и  $q_5$  - удельные расходы тепла на нагрев транспортного устройства и в окружающую среду, Дж/кг влаги;

Все расходы тепла на сушку относят к 1 кг испаряемой влаги. Удельные расходы тепла на испарение и нагрев материала определяются уравнением:

$$q_u = \frac{Q_u}{W} = \frac{2500 + 1,97t_2 - c_{вл} t_{M1}}{W} \quad (2),$$

где  $W$  - количество испаренной влаги, кг/с;  $t_1$  и  $t_2$  - температура воздуха на входе и выходе из установки, °С;  $c_{вл}$  - теплоемкость воды, кДж/кг.

$$q_H = \frac{Q_H}{W} = \frac{G_2}{W} c_M (t_{M2} - t_{M1}) \quad (3),$$

где  $G_2$  - масса высушиваемой обуви на выходе из установки, кг/ч;

Удельные расходы тепла на нагрев транспортного устройства и потери тепла сушилкой в окружающую среду:

$$q_{TP} = \frac{Q_{TP}}{W} = \frac{G_{TP}}{W} c_{TP} (t_{TP2} - t_{TP1}) \quad (4),$$

где  $t_{TP1}$  и  $t_{TP2}$  - температура транспортного устройства на входе и выходе, °С;  $c_{TP}$  - теплоемкость материала транспортного устройства, кДж/кг;

$$q_5 = \frac{Q_5}{W} = \frac{KF}{W} (t_B - t_0) \quad (5),$$

где  $t_B$  и  $t_0$  температура воздуха в сушильной камере и окружающей среды, °С;  $K$  - коэффициент теплопередачи через ограждения установки, Вт/м<sup>2</sup>град;  $F$  - общая поверхность ограждений сушильной установки, м<sup>2</sup>.

Тепловой баланс сушильной установки позволяет провести анализ всех величин, входящих в уравнение (1), при заданной вместимости сушильной камеры по массе

загружаемой обуви, начальному влагосодержанию обуви ( $w_1 = 30 - 40 \%$ ), в широком диапазоне изменения температур горячего воздуха ( $70 - 110 \text{ }^\circ\text{C}$ ), и скорости соплового обдува ( $v = 10 - 25 \text{ м/с}$ ). Тепловой баланс определяет необходимую тепловую мощность установки. Расход тепла на испарение влаги из материала при всех режимах:

$$Q_u = \frac{W q_u}{3600} \approx 3,5 - 6,5 \text{ кВт}$$

Расход тепла на нагрев обуви, затынутой на колодку:

$$Q_m = \frac{W q_m}{3600} \approx 0,85 - 1,4 \text{ кВт}$$

Температура поверхности верха обуви  $t_{\Pi} = t_{m_2}$  определялась из условия [3]:

$$t_{\Pi} = t_c - \frac{q_u}{\alpha_c} \quad (6),$$

где  $\alpha_c$  – коэффициент теплообмена при сопловом обдуве обуви,  $\text{Вт/м}^2\text{град}$ ;  
 $t_c$  – температура горячего воздуха,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{\Pi}$  – температура поверхности верха обуви,  $^\circ\text{C}$ ;

Количество тепла, затраченное на испарение влаги из материала, определяется из основного уравнения кинетики сушки для периода постоянной скорости [3]:

$$q_u = r \rho_0 R_V N \quad (7),$$

где  $\rho_0$  – плотность кожи,  $\text{кг/м}^3$ ;  $R_V$  – отношение объема тела к поверхности, м;

Температура поверхности материала, определяемая формулой (6), для всех режимов сушки  $t_{\Pi} \approx 65 - 70 \text{ }^\circ\text{C}$  оказывается выше температуры мокрого термометра для соответствующих режимов.

Расходы тепла на прогрев массивных деревянных колодок, закрытых плотно затынутой обувью и на нагрев подошв незначительны, так как за время сушки 6 - 10 мин материал прогревается всего на  $2 - 3 \text{ }^\circ\text{C}$ , а потери тепла составляют  $Q_H \approx 0,2 - 0,3 \text{ кВт}$ .

Транспортное устройство выходит за пределы сушильной камеры на  $0,3 \text{ м}$  от окон загрузки и выгрузки обуви и охлаждается по экспериментальным замерам на  $7 - 10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Дополнительные затраты тепла на нагрев транспортера  $Q_{\text{ТР}} \approx 0,2 - 0,3 \text{ кВт}$ . Потери тепла сушилкой в окружающую среду определяются уравнением (5).

Теплоизоляция сушильной установки подбиралась так, чтобы температура наружной поверхности стенки не превышала  $40 - 45 \text{ }^\circ\text{C}$ . Коэффициент теплопередачи  $K$  ( $\text{Вт/м}^2 \text{ град}$ ), определяемый тепловым расчетом установки  $K = 0,9 \text{ Вт/м}^2 \text{ град}$ .

Потери тепла через все ограждения сушильной камеры с учетом выброса тепла через окна загрузки и выгрузки обуви составили  $Q_5 \approx 0,5 - 0,6 \text{ кВт}$ . Максимальная мощность электрокалориферов при нагреве воздуха до температуры  $t_B \approx 130 \text{ }^\circ\text{C}$  рассчитывалась для различных пакетов верха обуви из условия:  $Q_K = 1,2 \sum Q_{\text{УС}}$ .

Процесс термообработки, предварительно увлажненной обуви, с сопловым обдувом горячим воздухом является процессом высокоскоростной сушки тонких капиллярнопористых материалов.

Так как практически весь процесс обезвоживания происходит в периоде постоянной скорости сушки, то плотность теплового потока определяется уравнением (7). Теплота параобразования находилась по выражению [5]:

$r = 2500 - 2,38 t_{ж}$ , где  $t_{ж}$  – температура жидкости,  $^\circ\text{C}$ ;

Скорость сушки в первом периоде:

$$N = \frac{U_0 - U_p}{\tau} \quad (8),$$

где  $\tau$  – продолжительность сушки, с;  $U_0$  – начальное влагосодержание увлажненной обуви;  $U_p$  – равновесное влагосодержание обуви; Отношение объема тела к поверхности:

$$R_V = \frac{V_{об}}{F_{об}} = \frac{M_{об}}{\rho_0 F_{об}} \quad (9),$$

где  $M_{об} = V_{об} \rho_0$  – масса верха обуви (кг);  $\rho_0 = 340 \text{ кг/м}^3$  – плотность кожи;  $F_{об}$  – поверхность верха обуви,  $\text{м}^2$ ;  $M_{об}$  – масса верха обуви, кг;  $V_{об}$  – объем верха обуви,  $\text{м}^3$ .

Уравнение (7) с учетом выражения (8) и (9) имеет вид:

$$q_u = \frac{M_{об}}{\tau} r \frac{\Delta U}{F_{об}} = G_c r \frac{\Delta U}{F_{об}} \quad (10)$$

где  $G_c$  – производительность сушильной установки по сухому материалу (кг/с).

Уравнение теплового баланса можно записать:

$$Q = \frac{q_u f_k}{\eta_{с.у.}} = M_v c_v (t_1 - t_2) \quad (11),$$

где  $\eta_{с.у.}$  – к.п.д. сушильной установки;  $t_1$  и  $t_2$  – температура воздуха на входе и выходе из установки,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $c_v$  – теплоемкость сухого воздуха,  $\text{кДж/кг}$ .

Из уравнений (9) и (11) получим:

$$G_c = \frac{M_v c_v \Delta t F_{об}}{r f_k \Delta U} \eta_{с.у.} = \frac{f_{щ} v \rho_v c_v \Delta t F_{об}}{r f_k \Delta U} \eta_{с.у.} \quad (12),$$

где  $f_k$  – площадь сечения сушильной камеры,  $\text{м}^2$ ;  $M_v = f_{щ} v \rho_v$  – массовый расход воздуха (кг/с);  $\rho_v$  – плотность воздуха,  $\text{кг/м}^3$ ;  $v$  – скорость соплового обдува,  $\text{м/с}$ ;  $f_{щ}$  – площадь щели,  $\text{м}^2$ . Поверхность обуви:  $F_{об} = S Z \text{ м}^2$ , где  $S$  – поверхность одной полупары верха обуви,  $\text{м}^2$ ;  $Z$  – вместимость сушильной камеры (количество полупар).

Полученные численные решения сопоставлялись с результатами экспериментального исследования скоростной сушки обуви на разработанной в УО «ВГТУ» сушильной установке. Сравнение расчетных и опытных данных проводилось для режима сушки: температура  $t_c = 90^{\circ}\text{C}$ , скорость соплового обдува  $v = 15 \text{ м/с}$ , разность температур  $\Delta t = 20^{\circ}\text{C}$ , начальное влагосодержание обуви  $U_0 = 0,3 \text{ кг/кг}$ , расход теплоносителя  $M_v = 0,12 \text{ кг/с}$ .

Результаты сравнения с учетом фактического к.п.д. установки показывают достаточно хорошее совпадение эксперимента с численными решениями по уравнениям.

Анализ результатов исследований по сушке обуви показывает, что оптимальные режимы обработки достигаются при температуре горячего воздуха  $t_c = 90-100^{\circ}\text{C}$  с последующим охлаждением обуви после выгрузки, скорости соплового обдува  $v = 12-15 \text{ м/с}$ , продолжительности сушки  $\tau = 6-8 \text{ мин}$ . При этом увеличение температуры горячего воздуха на  $10^{\circ}\text{C}$  и скорости соплового обдува на  $10 \text{ м/с}$  сокращает время сушки на 10-12 %, но при этом энергозатраты возрастают на 20-25 %.

Сравнение результатов исследований влажно-тепловой обработки обуви на данной сушильной установке показывает хорошие совпадения оптимальных режимов обработки обуви с результатами, приведенными в [1].

#### Список использованных источников

1. Фукин В.А., Калита А.Н. Технология изделий из кожи, М., Легпромбытиздат, 1988.
2. Макаренко Е.Ф., Ольшанский В.И., Ольшанский А.И., Кинетика процесса скоростной сушки материалов верха обуви. // Вестник УО ВГУ 2004 № 6, с.72.
3. Лыков А.В. Теория сушки, М., Энергия, 1968.
4. Лыков М.В. Сушка в химической промышленности, М., «Химия», 1970.
5. Нестеренко А.В., Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха, «Высшая школа», М., 1971.

#### SUMMARY

The analysis of thermal balance of drying installation for high-speed drying top of footwear, a method of calculation of productivity of installation on испаренной to a moisture and a choice of optimum regime parameters is resulted at damp - thermal processing footwear.

УДК 621:681.93.932

### ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ФОТОГРАММЕТРИИ НЕРЕГУЛЯРНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Ю.В. Полозков

Компьютерное проектирование продукции является одним из важнейших этапов реинжиниринга как системного подхода к организации современного эффективного производства [1, 2]. Операндом в процессе проектирования служит интегрированная модель изделия, основу которой составляет электронная геометрическая модель его поверхности, дополняемая элементами идентификации, свойствами и т.п. атрибутами. Электронная геометрическая модель поверхности создается в результате формализации конструкторских идей с помощью средств компьютерного геометрического моделирования. В компьютерных системах геометрического моделирования реализованы два основных метода к формированию моделей - твердотельное и поверхностное [3, 4]. Проектирование моделей поверхностей, имеющих пространственно сложную (нерегулярную) форму осуществляется посредством поверхностного моделирования. Однако, процесс интерактивного создания геометрических моделей отличается высокой трудоемкостью.

Повышение эффективности при создании компьютерных моделей поверхностей нерегулярных объектов достигается применением методов цифрового формоописания (оцифровки) поверхностей физических объектов. Это позволяет в процессе формирования облика будущего изделия использовать результаты работы других специалистов, воплощенных в материальных образцах изделий, что существенно снижает трудоемкость подготовки производства. В данном случае процесс формообразования обретает обратную направленность от объекта к модели, преобразуя традиционную последовательную модель процесса формообразования объектов в рекурсивную [5, 6].

Среди современных средств оцифровки наибольшей эффективностью обладают фотограмметрические системы, принцип действия которых соответствует естественному человеческому восприятию пространственных объектов [7].

Для обеспечения наибольшей эффективности процесса реконструкции поверхностей технических объектов по данным визуальной информации был разработан специальный программно-технический комплекс фотограмметрии нерегулярных поверхностей промышленных объектов [8, 9]. Для реализации комплекса был разработан фотограмметрический метод, основанный на съемке объекта наклонно установленной регистрирующей камерой, поверхность которого