

**РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ПРОЦЕССА ВЫПАРИВАНИЯ ХЛОПКОВОГО МАСЛА**

Х. Б. ИСМОЙИЛОВ

(Бухарский инженерно-технологический институт, Узбекистан)

hayotismoyilov77@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы создания математической модели процесса выпаривания хлопкового масла на основе уравнения теплообменного процесса. С учетом особенностей выпаривания хлопкового масла, а также допущений характерного для рассматриваемого объекта, получена математическая модель в виде системы дифференциального уравнения, показывающая зависимость изменения температуры изменения расхода острого водяного пара. На основе этого выражения разработана компьютерная модель с целью проверки адекватности модели к реальному процессу.

Ключевые слова: процесс дезодорации, высокотермические обработки, легколетучих компонентов, хлопковое масло, теплообменник, острый пар, модел, MATLAB/Simulink.

Введение. Хлопковое масло является одним из наиболее популярных продуктов питания населения широко используются хлопковые масла и в пищевой промышленности. Вследствие этого хлопковые масла являются нестойкими в хранении и высокотермические обработки, приводит к ухудшению их качества, снижению пищевой ценности и даже к их непригодности для употребления в пищу.

В хлопковом масле содержатся не только полезные, но и такие вещества которые, ухудшая качество масла, одновременно оказывают сугубо отрицательное действие на организм человека. Хлопковые масла являются химически чистым веществом, оно представляет собой смесь разнообразных по составу органических веществ. К таким веществам можно отнести: соединения токсичного характера (полициклических ароматических углеводороды, пестициды и другие ядохимикаты), компоненты липидного комплекса (госсипол и его производные, свободные жирные кислоты, некоторые одорирующие вещества), а также соединения, возникающие в результате технологического воздействия или при неблагоприятных условиях хранения (продукты гидролиза и окисления триглицеридов) одним из путей удаления этих и нейтрализация вредных примесей дезодорацией хлопкового масла [1].

Метод решения. Процесс дезодорации представляет собой один из методов перегонки жидкостей при встречном движении фаз. Процесс дезодорации состоит из трех этапов: диффузии легколетучих компонентов из объема жидкости к поверхности испарения; испарения легколетучих компонентов; удаления испарившихся легколетучих компонентов из зоны испарения.

Путем повышения температуры хлопкового масла повышается упругость паров легколетучих веществ, что обуславливает их большую летучесть. Но чрезмерное увеличение температуры процесса дезодорации тоже нецелесообразно, так как возникает опасность полимеризации и окисления хлопкового масла воздухом. При температуре масла выше 250 °С усиливается термический распад его и увеличиваются потери в результате дистилляции низкомолекулярных триглицеридов. Поэтому для ведения процесса дезодорации, т. е. отгонки легколетучих веществ, используется эффект создания вакуума в аппарате при подаче в объем хлопкового масла острого водяного пара в целях снижения температуры [3].

Для проведения процесса дезодорации т. е., при взаимодействии встречных жидкой и газовой фазы, важное значение имеют количество подаваемого острого водяного пара и длительность дезодорации. Вышеуказанные параметры тоже зависят в свою очередь, от начальной концентрации легколетучих компонентов, общего давления в аппарате и количества дезодорируемого масла. Подаваемый острый водяной пар способствует снижению парциального давления легколетучих компонентов, тем самым температуры процесса дезодорации. Острый пар, подаваемый из нижней части аппарата, контактируется встречно движущейся жидкостью-маслом. Попадая в масло в виде мелких пузырьков, образует паре-жировую смесь с большой поверхностью соприкосновения пузырьков пара с маслом. При этом процесс дезодорации ускоряется за счет диффузии легколетучих компонентов масла к поверхности капли и перемешивания ее с водяным паром.

При построении динамической математической модели (ММ) теплообменного процесса в выпаривании хлопкового масла учитывались следующие допущения:

- продольное перемешивание в каждом из потоков теплоносителей отсутствует, т. е. физические среды в аппарате движутся в режиме идеального вытеснения;
- поперечное перемешивание в потоках теплоносителей считается идеальным;
- термическое сопротивление стенок испарителя сравнительно мало. Выполнение этого условия означает, что температура стенки $\theta_{CT}(x,t)$, разделяющей теплоносители, постоянна по толщине стенки.

Принимая во внимание эти допущения, была составлена модель процесса в виде системы дифференциальных уравнений первого порядка с учетом конструкции выпаривающей установки:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \theta_{дг}}{\partial t} &= v_{дг} \frac{\partial \theta_{дг}}{\partial x} - R_{дг} (\theta_{дг} - \theta_{ст}); \\ \frac{\partial \theta_{ж}}{\partial t} &= v_{ж} \frac{\partial \theta_{ж}}{\partial x} + R_{ж} (\theta_{ст} - \theta_{ж}); \\ \frac{\partial \theta_{ст}}{\partial t} &= R_{дгст} (\theta_{дг} - \theta_{ст}) - R_{жст} (\theta_{ст} - \theta_{ж}),\end{aligned}\tag{1}$$

где $\theta_{дг}$, $\theta_{ж}$, $\theta_{ст}$ – температуры жидкой фазы и стенки;

$v_{дг}$, $v_{ж}$ – скорость жидкой фазы;

$R_{дг}$, $R_{ж}$, $R_{дгст}$, $R_{жст}$ – физико-технологические коэффициенты, зависящие от физических свойств жидкости.

Начальные распределения температур теплоносителей:

$$\theta_{дг0}(x) = \theta_{дг}(x, t)|_{t=0}, \theta_{ж0}(x) = \theta_{ж}(x, t)|_{t=0};$$

граничные условия:

$$\theta_{дг}(x)|_{x=l} = \theta_{дг}^{вх}(t), \theta_{ж}(x)|_{x=0} = \theta_{ж}^{вх}(t).$$

В качестве возмущений для процессе выпаривания являются:

- изменение расхода исходной смеси;
- изменение состава исходной смеси, так как температура кипения жидкости однозначно зависит от концентрации жидкости при постоянном давлении [5].

Для достижения заданной температуры необходимо регулировать, температуру подаваемого теплоагента. Температуру теплоагента можно регулировать, изменяя соотношение расходов воздуха и топливного газа в горелке испарителя.

Составим математическое описание выпарной установки, в котором хлопковое масло нагревается водяным паром (расход пара F_n^m), до температура T_n °С. Выходной выделенной является изменения температуры верхней части выпарной установки, а входной изменения расход пара.

При выводе уравнения динамики выпарной установки принимаем следующие допущения: выпарной установки обладает сосредоточенными параметрами, т. е. температура масла в выпарной установки $T_{ж}$ постоянна во всех точка объема; температура теплопередающих стенок $T_{ст}$ одинакова во всех точка; их термическое сопротивление пренебрежимо мало; коэффициент теплоотдачи a , Дж/(м²-с-град) между жидкостью и поверхностью металлических стенок, а также удельные теплоемкости жидкости $c_{ж}$ и материала стенок $c_{ст}$ постоянны во времени.

С учетом сделанных допущений уравнение теплового баланса для теплопередающих стенок теплообменника за время dt :

$$F_{\Pi} r dt = W_{\text{CT}} C_{\text{CT}} dT_{\text{CT}} + \alpha A (T_{\text{CT}} - T_{\text{ж}}) dt; \quad (2)$$

где r – теплота фазового перехода, Дж/кг;
 W_{CT} – масса теплопередающих стенок, кг;
 A – суммарная поверхность стенок, м².

Тепло, поступившее в теплообменник водяной пар расходуется на увеличение температуры масла $dT_{\text{ж}}$, находящейся в аппарате и уходящей из него за тот же отрезок времени. Тогда уравнение теплового баланса для масла:

$$F_{\text{ж}} c_{\text{ж}} T'_{\text{ж}} dt + \alpha A (T_{\text{CT}} - T_{\text{ж}}) = F_{\text{ж}} c_{\text{ж}} T_{\text{ж}} dt; \quad (3)$$

где $W_{\text{ж}}$ – масса жидкости в теплообменнике, кг.
 Перепишем уравнения (2) и (3) в следующем виде:

$$W_{\text{CT}} C_{\text{CT}} \frac{dT_{\text{CT}}}{dt} + \alpha A T_{\text{CT}} = F_{\Pi} r + \alpha A T_{\text{ж}}; \quad (4)$$

$$C_{\text{ж}} \frac{dT_{\text{ж}}}{dt} + (F_{\text{ж}} c_{\text{ж}} + \alpha A) T_{\text{ж}} = F_{\text{ж}} c_{\text{ж}} T'_{\text{ж}} + \alpha A T_{\text{CT}}; \quad (5)$$

Заменяя в уравнениях (4) и (5) переменные их конечными приращениями, отнесенными к базисным значениям переменных ($T_{\text{CT}0}$, $F_{\Pi 0}$, $T_{\text{ж}0}$, $F_{\text{ж}0}$ и $T'_{\text{ж}0}$), и введя обозначения

$$y = \frac{\Delta T_{\text{ж}}}{T_{\text{ж}0}}; \quad y_{\text{CT}} = \frac{\Delta T_{\text{CT}}}{T_{\text{CT}0}}; \quad x = \frac{\Delta F_{\Pi}}{F_{\Pi 0}}; \quad x_1 = \frac{\Delta F_{\text{ж}}}{F_{\text{ж}0}}; \quad z = \frac{\Delta T'_{\text{ж}}}{T'_{\text{ж}0}};$$

получим

$$W_{\text{CT}} C_{\text{CT}} T_{\text{CT}0} \frac{dy_{\text{CT}}}{dt} + \alpha A T_{\text{CT}0} y_{\text{CT}} = F_{\Pi 0} r x + \alpha A T_{\text{ж}0} y; \quad (6)$$

$$C_{\text{ж}} T_{\text{ж}0} \frac{dy}{dt} + (F_{\text{ж}0} c_{\text{ж}} + \alpha A) T_{\text{ж}0} y = -F_{\text{ж}0} c_{\text{ж}} (T_{\text{ж}0} - T'_{\text{ж}0}) x_1 + F_{\text{ж}0} c_{\text{ж}} T'_{\text{ж}0} z + \alpha A T_{\text{CT}0} y_{\text{CT}} \quad (7)$$

или

$$T^* \frac{dy_{\text{CT}}}{dt} + y_{\text{CT}} = k_3 x + k_5 y; \quad (8)$$

$$T^{**} \frac{dy}{dt} + y = -k_1 x_1 + k_2 z + k_4 y_{CT}, \quad (9)$$

где

$$T \frac{W_{CT} c_{CT}}{\alpha A} \quad T \frac{c_{Ж}}{F_{Ж0} c_{Ж} + \alpha A};$$

$$k_1 = \frac{F_{Ж0} c_{Ж} (T_{Ж0} - T'_{Ж0})}{(F_{Ж0} c_{Ж} + \alpha A) T_{Ж0}}; \quad k_2 = \frac{F_{Ж0} c_{Ж} T'_{Ж0}}{(F_{Ж0} c_{Ж} + \alpha A) T_{Ж0}};$$

$$k_3 = \frac{F_{П0} r}{\alpha A_{CT0}}; \quad k_4 = \frac{\alpha A T_{CT0}}{(F_{Ж0} c_{Ж} + \alpha A) T_{Ж0}}; \quad k_5 = \frac{T_{Ж0}}{T_{CT0}};$$

Причем коэффициенты k_1 , k_2 , k_3 , k_4 и k_5 меньше единицы. Чтобы исключить из уравнения (8) и (9) переменную y_{CT} , продифференцируем второе из них по времени и выразим производную dy_{CT}/dt а также переменную y_{CT} из уравнения (9). Полученные выражения для y_{CT} и dy_{CT}/dt подставим в уравнение (8). Разделив все слагаемые полученного уравнения на коэффициент при y , равный $F_{Ж0} c_{Ж} T_{Ж0} / (\alpha A T_{CT0})$, и принимая во внимание равенство

$$F_{П0} r = \alpha A (T_{CT0} - T_{Ж0}) = F_{Ж0} c_{Ж} (T_{Ж0} - T'_{Ж0}),$$

получим искомое уравнение динамики теплообменника

$$T_1^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + T_2 \frac{dy}{dt} + y = kx - k \left(T_3 \frac{dx_1}{dt} + x_1 \right) + (1-k) \left(T_3 \frac{dz}{dt} + z \right), \quad (10)$$

где

$$T_3 = \frac{W_{CT} c_{CT}}{\alpha A}; \quad k = \frac{(T_{Ж0} - T'_{Ж0})}{T_{Ж0}};$$

Рассматриваемый теплообменник является устойчивым объектом 2-го порядка. Уравнение (10) подтверждает, что увеличение расхода пара x и температуры жидкости на входе z приведет к повышению ее температуры на выходе y , а возрастание расхода жидкости $x_1 - k$ понижению величины y .

Приведем без вывода передаточные функции теплообменника: по каналу $x - y$

$$W_{x(p)} = \frac{k}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1}; \quad (11)$$

по каналу $x_1 - y$

$$W_{x_1(p)} = \frac{k(T_3 p + 1)}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1}; \quad (12)$$

по каналу $z - y$

$$W_{x(p)} = \frac{k}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1}.$$

Выходная величина теплообменника в операторной форме $Y(p)$ может быть определена по зависимости

$$Y(p) = W_x(p)X(p) + W_{x_1(p)}X_1(p) + W_z(p)z(p), \quad (13)$$

где $X(p)$, $X_1(p)$ и $Z(p)$ – операторные формы записи величин x , x_1 и z .

Результат решения. На основе полученных соотношений составим вычислительную схему процесса выпаривания (рис. 1). Результаты моделирования процесса (рис. 2) в программной среде MATLAB/Simulink показали адекватность разработанной модели экспериментальным данным, полученные из реального объекта [4].

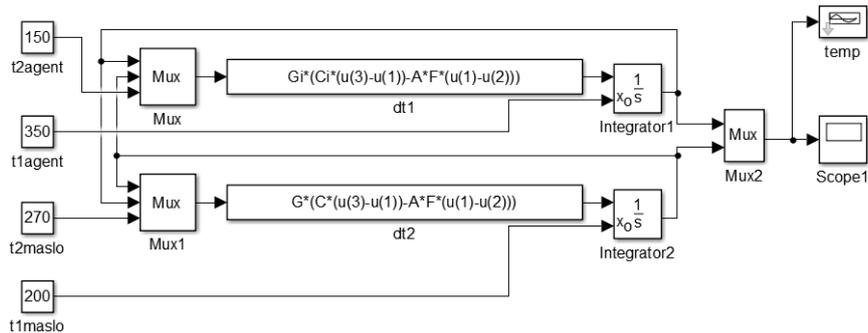


Рисунок 1. – Компьютерная модель процесса выпаривания хлопкового масла

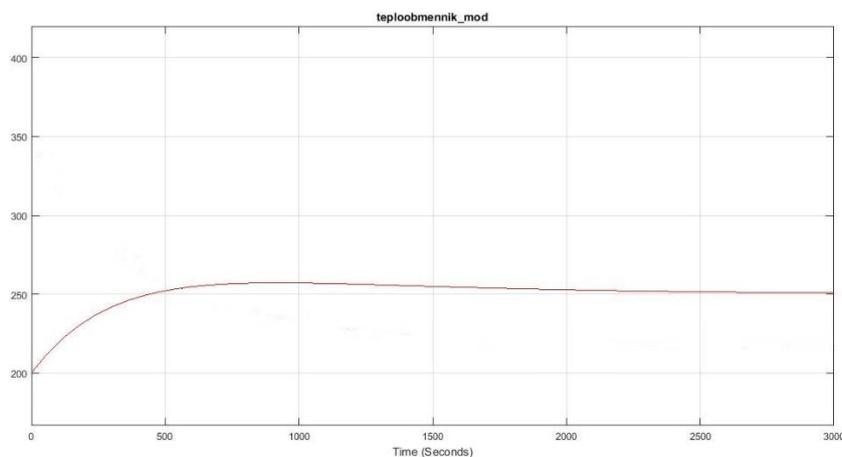


Рисунок 2. – График переходной процессе изменение температуры масла

Заключение. В работе описаны создания математической модели процесса выпаривания хлопкового масла на основе уравнения теплообменного процесса, учитывались особенности при построении динамической математической модели теплообменного процесса в выпаривании хлопкового масла, а также допущений характерного для рассматриваемого объекта, получена математическая модель в виде системы дифференциального уравнения, показывающая зависимость изменения температуры изменения расходи острого водяною пара, приведены передаточные функции теплообменника. На основе этого выражения разработана компьютерная модель с целью проверки адекватности модели к реальному процессу. Результаты моделирования процесса в программной среде MATLAB/Simulink показывают, разработанной модели экспериментальным данным, полученные из реального объекта является адекватным.

ЛИТЕРАТУРА

1. R. R. Safin, R. G. Safin, N. R. Galyavedinov, R. M. Imanaev. Research of combined drying-impregnation of massive capillary-porous colloidal materials // Bulletin of Kazan technological university. 2006. No.6, p. 78–85.
2. Norenkova, I. P. Systems of computer-aided design: Tutorial for technical higher educational institutions: In 9 vol. / Edited by I. P. Norenkov – M. : Higher school, 2010.
3. V. N. Volkova, V. N. Kozlov. System analysis and decision-making. Tutorial for higher educational institutions. – M. : Higher school, 2004. – 616 p.
4. Siddikov, I. Kh., Fayziev, Sh. I., Ismoyilov, Kh. B., Uvayzov, S. K. Synthesis of the neuro-fuzzy adaptive control system of a dynamic object // The Journal of Test Engineering and Management. – Vol. 83. – P. 11236–11246.
5. Introduction to Intelligent Robotics / Herman Bruyninckx and Joris De Schutter. – Katholieke Universiteit Leuven.
6. Rotach, V. Ya. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya [Automatic control theory] / V. Ya. Rotach – Moscow, 2008.
7. Leonenkov, A. Yu. Nechetkoe modelirovanie v srede Matlab i fuzzyTech [Fuzzy modeling in Matlab and fuzzyTech environment] / A.Yu. Leonenkov. – St. Petersburg, 2003.
8. Gostev, V. I. Nechetkie regulatory v sistemakh avtomaticheskogo upravleniya [Fuzzy controllers in automatic control systems] / V. I. Gostev. – Kyiv, 2008.