

# **Система автоматизації технологічного процесу сушки молока**

Виконав: студент групи ЕПА-17м Кабалюк Д.О.

## Мета і задачі дослідження

**Метою роботи** є модернізація схеми автоматизації технологічного процесу сушки молока на прикладі форсуночної розпилювальної сушильної установки фірми «Blow – Knoch».

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі **задачі**:

- 1) здійснити аналіз об'єкта дослідження (існуючих способів та обладнання для сушки молочних продуктів; технологічного процесу та обладнання; розпилювальної сушильної установки «Blow – Knoch»);
- 2) розрахувати потужність електродвигуна нагнітаючого вентилятора та електродвигуна насосу високого тиску;
- 3) розробити систему електроприводу сушильної установки;
- 4) розробити математичну модель сушильної установки;
- 5) розробити функціональну схему автоматизації технологічного процесу сушки молока.

*Розв'язанню поставлених задач присвячена дана робота.*

# **Об'єкт, предмет та методи дослідження**

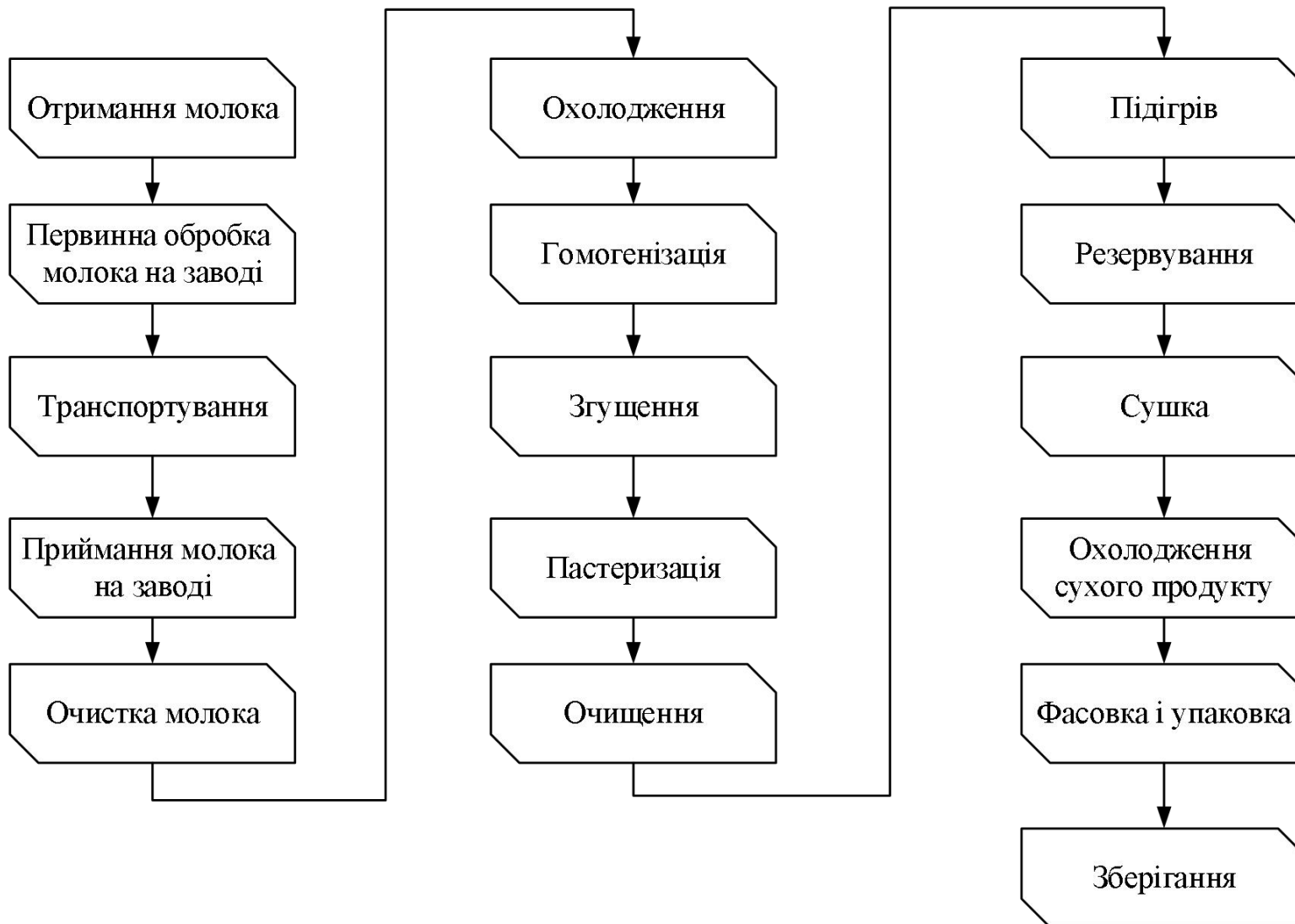
**Об'єктом** дослідження в роботі є процеси, що відбуваються при переробці молока в сушильній установці.

**Предметом** дослідження є математична модель сушильної установки та система автоматизації.

## **Методи дослідження:**

- теорія автоматичного керування;
- теорія систем керування електроприводами;
- математичне моделювання;
- теорія автоматизації технологічних процесів.

## Схема технологічних процесів виробництва сухих молочних продуктів і цільного молока



# Зовнішній вигляд розпилювальної сушильної установки «Blow – Клох» та її параметри



Зовнішній вигляд розпилювальної сушильної установки «Blow – Клох»

Показники якості сухого молока, яке отримано на установці «Blow – Клох»

Найменування	Показник
Відносна швидкість розчинення, %	10 ... 20
Розчинність, %	99,9
Насипна маса, г/см <sup>3</sup>	590 ... 630
Масова доля вільного жиру в готовому продукті, %	6,1
Кількість жиру, %	25
Кількість вологи в готовому продукті, %	4
Група чистоти, %	1
Коефіцієнт пористості, %	8
Середній розмір частинок, мкм	30 ... 40
Степінь спікання, %	40 ... 100
Змочуваність	180
Степінь кристалізації лактози, %	50 ... 72

Основні технічні дані і характеристики сушильної установки «Blow – Клох»

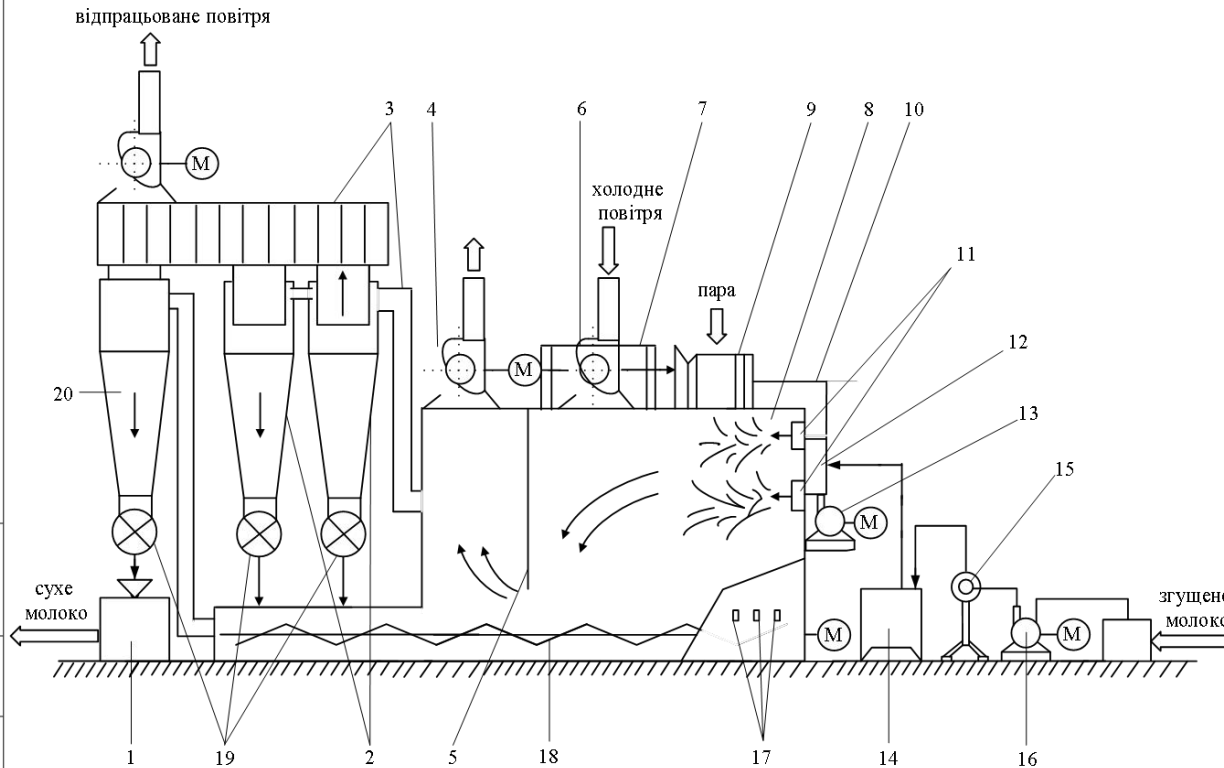
Найменування	Показник
Загальне виробництво сухого молока за годину, кг	1500
Напруга об'єм сушильної камери за вологою, кг/м <sup>3</sup> ·год	12,4
Об'єм сушильної камери, м <sup>3</sup>	105
Тиск згущеного молока перед форсункою, кг/м <sup>3</sup>	180
Розрідження сушильної камери, м рт. ст.	2,5 ... 5
Тиск повітря в пневмосистемі, кг/м <sup>3</sup>	3.5 ... 4
Витрати пари на одиницю продукції, кг/год	2000

Температурний режим роботи сушильної установки «Blow – Клох»

Найменування	Показник
Температура холодного повітря для пневмотранспорту, °С	28 ... 29
Температура холодного повітря, яке поступає в калорифер, °С	30 ... 32
Температура згущеного молока перед сушкою, °С	50 ... 55
Температура гарячого повітря, яке поступає в камеру, °С	140 ... 160
Температура гарячого повітря на виході з камери, °С	84 ... 86
Температура сухого порошку в сушильній камері, °С	60 ... 62
Температура сухого молока перед упакуванням, °С	30 ... 32

Експлуатаційні показники витрат розпилювальної сушильної установки «Blow – Клох»

Найменування	Показник
Капітальні витрати на установку, грн.	101390
Металосмість на один кг сухого молока, кг	18
Витрати пари на один кг сухого молока, кг/год	1200 ... 1700
Витрати електроенергії на один кг сухого молока, кВт/год	100 ... 110
Вартість 1 кг сухого молока, грн.	1,34
Габарити промислової будівлі:	
– довжина, м	37
– висота, м	10,5
– ширина, м	25
Температура на виході сушки, °С	84 ... 86



Поз.	Найменування	К-ть	Примітки
1	Повітряний фільтр	1	
2	Циклон	3	
3	Повітряний колектор	1	
4	Впливний вентилятор	1	
5	Перегородка	1	
6	Нагнітаючий вентилятор	2	
7	Камера повітряних фільтрів	1	
8	Сушильна камера	1	
9	Калорифер	1	
10	Повітропровід	1	
11	Направлючі пластини	2	
12	Форсунки	1	
13	Допоміжний вентилятор	1	
14	Плужерний насос високого тиску	1	
15	Трубчатий гідрорівняк	1	
16	Центробіжний насос	1	
17	Пневматичні вібратори	3	
18	Шнек	1	
19	Розвантажувальний шлюз	3	

08-19.МКР.005.00.000 А1

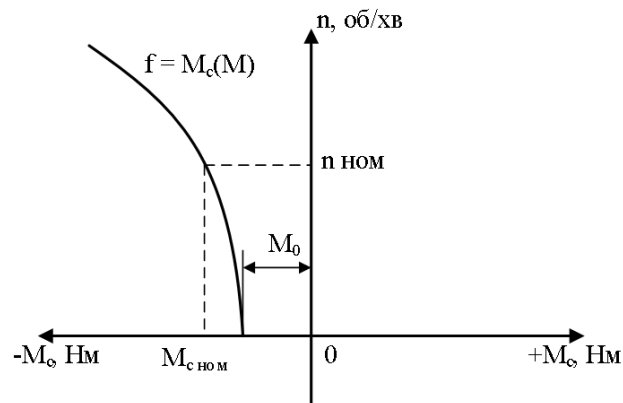
Зм. Аук.	№ документа	Підпис	Дата	Система автоматизації технологічного процесу сушки молока. Структурна схема сушильної установки «Blow - Кіно»	Літ.	Маса	Масштаб
Розробити	Кабалок Д.О.				у		
Перевірити	Розважко М.П.						
Т. зображ.							
Резюме					Аркуш 1	Аркушів 1	
Норми					ВНТУ, гр. ЕПА-17м		
Загвар.	Кутів В.М.						

Підпис та дата  
На зам. інв.  
На зам. інв.  
На зам. інв.  
Підпис та дата  
Інв. №

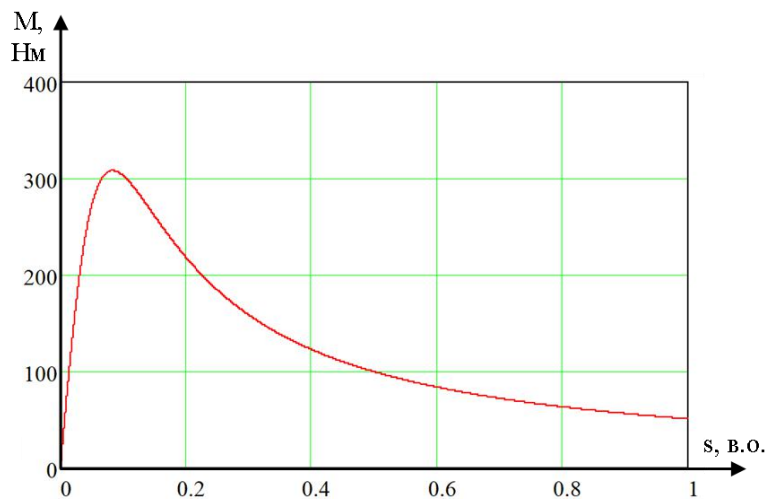
**Техніко-економічне обґрунтування вибору системи  
електропривода для насосу високого тиску**

Показники	Тип системи			
	ТП-Д	АД-РКС	ПЧ-АД	ТРН-АД
Потужність двигуна $P_n$ , кВт	22			
Вартість двигуна (Д), грн.	19670	15230	15230	15230
Вартість системи керування (СК), грн.	28430	21490	42640	31860
Капіталовкладення $K=D+СК$ , грн	48100	36720	57870	47090
$E_a$	0,05			
Амортизаційні відрахування $C_a = E_a \cdot K$ , грн.	2405	1836	2894	2355
$E_0$	0,1			
Коефіцієнт обслуговування і ремонту $k_0$	0,9	0,7	0,5	0,6
Витрати на обслуговування і ремонт $C_0 = k_0 E_0 K$ , грн.	4329	2570	2894	2825
Вартість електроенергії $m_0$ , грн/кВт год	2,8			
Коефіцієнт завантаження $k_3$	0,95			
Річний час роботи $T_p$ , год	4380			
ККД $\eta_d$ , %	0,91			
Втрати потужності $\Delta P = k_3 \cdot P_n \cdot (1-\eta_d)/\eta_d$ , кВт	2,07	2,07	2,07	2,07
Коефіцієнт, що враховує втрати $k_p$	0,90	0,70	0,50	0,65
Кількість втраченої електроенергії за рік $\Delta W = \Delta P \cdot T_p \cdot k_0$ , кВт	8148	6338	4527	5885
Витрати на електроенергію $C_{\Delta W} = m_0 \cdot \Delta W$ , грн	22815	17745	12675	16478
Собівартість $C = C_a + C_0 + C_{\Delta W}$ , грн.	29549	22151	18462	21657
Нормативний коефіцієнт економічної ефективності $E_n$	0,2			
Зведені витрати $Z = E_n \cdot K + C$ , грн.	39 169	29 495	30 036	31 075

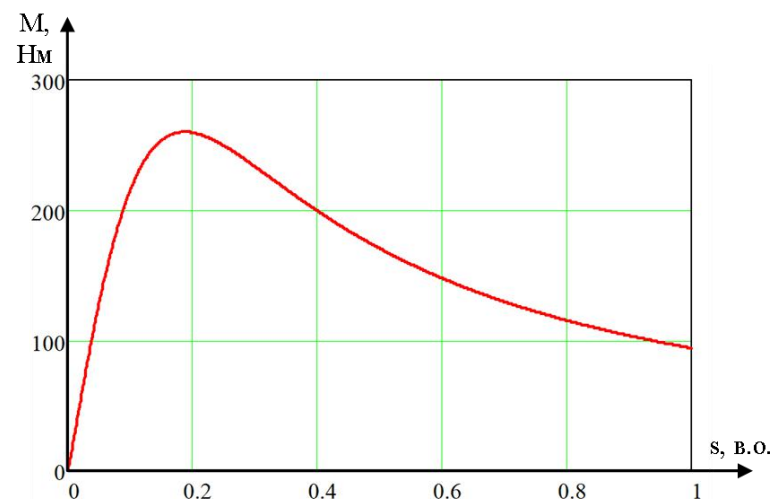
# Характеристики електродвигунів вентилятора та високого тиску



Механічна характеристика вентилятора

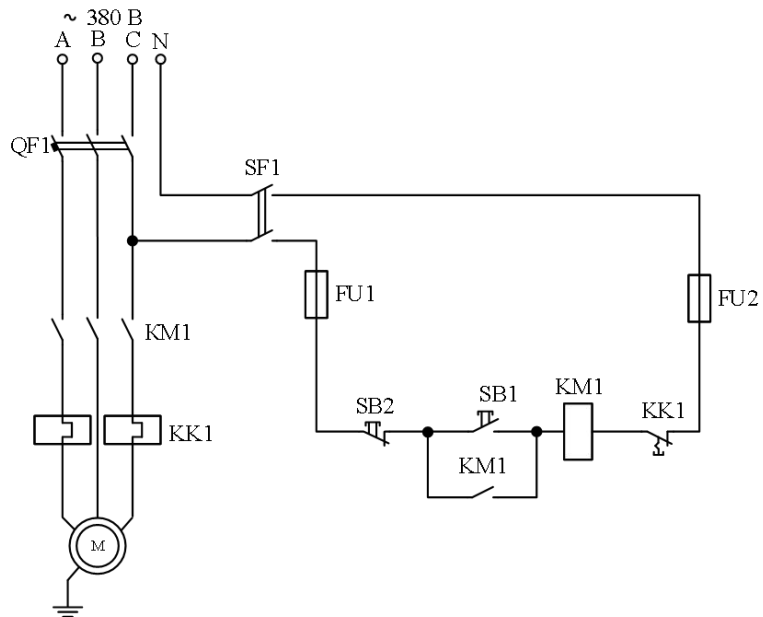


Механічна характеристика двигуна насоса високого тиску



Природня механічна характеристика асинхронного двигуна вентилятора

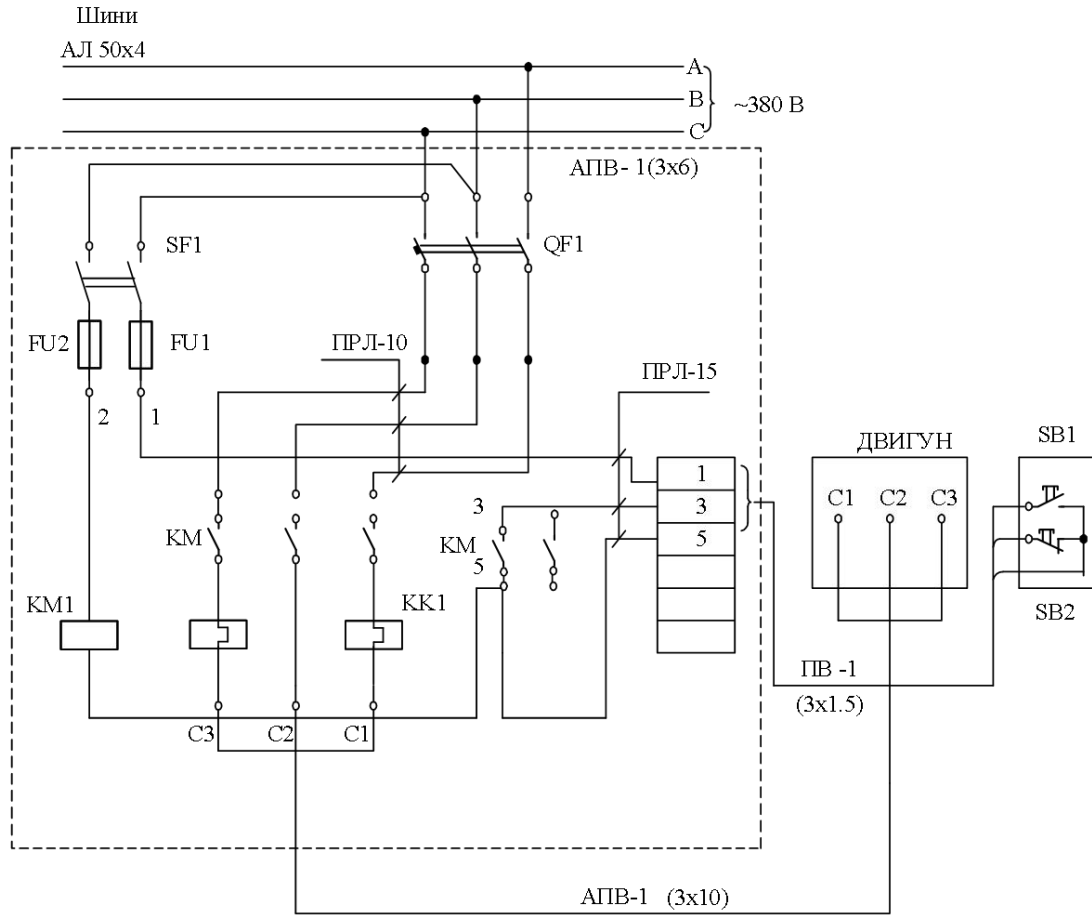




Поз.	Найменування	К-ть	Примітки
QF1	Easy9 - EZ9F14363	1	
SF1	Acti 9 iC60 - A9F75225	1	
FU1, FU2	Fupact INF, ISFL, ISFT - LV480650	2	
KK1	TeSys LRD - LR2D3563	2	
SB1	Harmony XB4 - XB4BA3311	1	
SB2	Harmony XB4 - XB4BA4322	1	
KM1	TeSys D - LC1D65AP7	1	
M	4A180S4Y3	1	

Інв. №  
Підпис та дата  
На зам. інв.  
На зам. інв.  
Підпис та дата

					08-19.МКР.005.00.000 ЕЗ			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Система автоматизації технологічного процесу сушки молока Схема електрична принципова керування двигуном насосу високого тиску	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив		Кабалок Д.О.				у		
Перевірив		Розводюк М.П.						
Т. контр.						Аркуш 1	Аркушів 1	
Реценз.					ВНТУ, гр. ЕПА-17м			
Нормкон.								
Загверд.		Кутин В.М.						



					08-19.МКР.005.00.000 Е5			
Зм.	Арк.	№ докумен	Підпис	Дата	Система автоматизації технологічного процесу сушки молока. Схема підключення двигуна насосу високого тиску	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив	Кабалок Д.О.					у		
Перевірив	Розводюк М.П.							
Т. конпр.						Аркуш 1	Аркушів 1	
Реценз.						ВНТУ, гр. ЕПА-17м		
Нормкон								
Загверд	Кутя В.М.							

Інв. №	Підпис та дата	На зам. інв.	На зам. інв.	Підпис та дата

# Математична модель конвективної сушарки

Рівняння теплового балансу:  $\Delta Q_M = \Delta Q_n = M_n (h_1 - h_2)$ ,

де  $Q_M, \Delta Q_n$  – теплота, сприйнята матеріалом та віддана повітрям, кДж;  
 $M_n$  – маса повітря, кг;  
 $h$  – ентальпія повітря.

Закон Ньютона – Ріхмана для конвективної тепловіддачі:

$$\Delta Q_M^r = \alpha_{пм} \cdot F_M \cdot \left( \frac{t_{1n} + t_{2n}}{2} - \frac{t_{1M} + t_{2M}}{2} \right) dt,$$

де  $t_{1n}$  – початкова температура гарячого повітря, °С;  
 $t_{2n}$  – кінцева температура повітря, °С;  
 $\alpha_{пм}$  – коефіцієнт тепловіддачі від повітря до матеріалу, Вт/м²гр;  
 $F_M$  – поверхня матеріалу, м²;  
 $t_{1M}$  – початкова температура матеріалу, °С;  
 $t_{2M}$  – кінцева температура матеріалу, °С.

Повітря віддає теплоту:  $\Delta Q_n = M_n [h_1 - (h_2 - dh_2)]$ .

Після перетворень:

$$M_n \cdot \frac{dh_2}{dt} = L_n \cdot h_2 - L_n \cdot h_1 + \alpha_{пм} \cdot F_M \cdot \left( \frac{t_{1n} + t_{2n}}{2} - \frac{t_{1M} + t_{2M}}{2} \right),$$

де  $L_n$  – витрата повітря, кг/с.

Рівняння збереження маси для вологи в повітрі:

$$M_{пд} \cdot \omega_1 + M_{пд} \cdot d_2 = M_{мд} \cdot \omega_2 + M_{пд} \cdot d_2,$$

де  $M_{пд}$  – маса повітря за проміжок часу, кг;  
 $d_1$  – початковий вологовміст повітря, кг/кг;  
 $d_{2п}$  – кінцевий вологовміст повітря, кг/кг;  
 $w_{2м}$  – кінцевий вологовміст матеріалу, кг/кг;  
 $w_{1м}$  – початковий вологовміст матеріалу, кг/кг;  
 $M_{мд}$  – маса матеріалу за проміжок часу, кг.

Рівняння збереження енергії для матеріалу:  $\Delta Q_{пм} = \Delta Q_M$ ,

де  $\Delta Q_{пм}, \Delta Q_M$  – теплота, віддана повітрям та сприйнята матеріалом.

Через час  $dt$  температура матеріалу  $t_{2M}$  зміниться на  $dt_{2M}$ :

$$C_M M_M \frac{dt_{2M}}{dt} = \alpha_{пм} \cdot F_M \cdot \left( \frac{t_{1n} + t_{2n}}{2} - \frac{t_{1M} + t_{2M}}{2} \right),$$

де  $M_M$  – маса матеріалу, кг;  
 $C_M$  – теплоємність матеріалу, кДж/кг\*гр.

Рівняння збереження вологи в матеріалі:  $\Delta W_c = \Delta W_M$ ,

де  $\Delta W_c, \Delta W_M$  – кількість видаленої вологи в процесі сушки та зміна кількості вологи в матеріалі.

$$-M_M \frac{dW_2}{dt} = K \cdot F_M \cdot (W_2 - W_p),$$

де  $K$  – коефіцієнт сушки, 1/с.

Рівняння приросту маси матеріалу:  $\frac{dM_{мд}}{dt} = L_M$ ,

де  $dM_{мд}$  – приріст маси матеріалу через час  $dt$ ;  
 $L_M$  – витрата матеріалу, кг.

# Алгоритм розрахунку конвективної сушарки

Замінюємо ентальпію  $h_2$  на температуру  $t_{2n}$ :

$$H = 1,004t + d \cdot 2500 + d \cdot t \cdot 1,84,$$

$$h_1 = 1,004 \cdot t_{1n} + 2500 \cdot d_1 + 1,84 \cdot d_1 \cdot t_{1n},$$

$$h_2 = 1,004 \cdot t_{2n} + 2500 \cdot d_2 + 1,84 \cdot d_2 \cdot t_{2n}.$$

Продиференціюємо  $h_2$ :

$$\begin{aligned} \frac{dh_2}{d\tau} &= 1,004 \cdot \frac{dt_{2n}}{d\tau} + 2500 \cdot \frac{dd_2}{d\tau} + 1,84 \cdot \frac{dd_2}{d\tau} \cdot t_2 + 1,84 \cdot \frac{dt_{2n}}{d\tau} \cdot d_2 = \\ &= \frac{dt_{2n}}{d\tau} \cdot (1,004 + 1,84 \cdot d_2) + 2500 \cdot \frac{dd_2}{d\tau} + 1,84 \cdot \frac{dd_2}{d\tau} \cdot t_{2n}. \end{aligned}$$

$$\frac{dt_{2n}}{d\tau} = \frac{1}{1,004 + 1,84 \cdot d_2} \cdot \left( \frac{L_n}{M_n} \cdot (1,004 \cdot t_{2n} + 2500 \cdot d_2 + 1,84 \cdot d_2 \cdot t_{2n}) - \frac{L_n}{M_n} \cdot h_1 + \frac{\alpha_{nm} \cdot F_M}{M_n} \cdot \left( \frac{t_{1n} + t_{2n}}{2} - \frac{t_{1M} + t_{2M}}{2} \right) - 2500 \cdot \frac{dd_2}{d\tau} - 1,84 \cdot \frac{dd_2}{d\tau} \cdot t_{2n} \right).$$

Визначимо маси та витрати і введемо позначення:

$$\begin{aligned} M_n &= 1,3V_n; & M_M &= V_M \rho_M, & L_n &= 1,3S_s v_M; \\ L_M &= S_M v_M \rho_M, & \frac{L_n}{M_n} &= E; & \frac{L_M}{M_n} &= B, \\ 10^{-3} \frac{\alpha_{nm}}{2M_n} \cdot F_M &= A, & \frac{k \cdot F_M}{M_M} &= C; & \frac{\alpha_{nm} \cdot F_M \cdot 10^{-3}}{C_M \cdot M_M \cdot 2} &= D, \end{aligned}$$

де  $v_n$  – швидкість повітря, м/с;

$V_M$  – об'єм матеріалу, м<sup>3</sup>;

$v_M$  – швидкість матеріалу, м/с;

$w_p$  – рівноважний вологовміст, кг/кг;

$\rho$  – густина матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;

$M_n$  – маса повітря, кг;

$M_M$  – маса матеріалу, кг;

$S_s$  – площа поперечного перерізу сушарки, м<sup>2</sup>;

$S_M$  – площа поперечного перерізу матеріалу, м<sup>2</sup>;

$L_M$  – витрата матеріалу, кг/с;

$w_p$  – рівноважний вологовміст, кг/кг.

Після перетворень:

$$\begin{aligned} \frac{dt_{2n}}{d\tau} &= \frac{1}{1,004 + 1,84 \cdot d_2} \times \left( \begin{aligned} &E \cdot (1,004 \cdot t_{2n} + 2500 \cdot d_2 + 1,84 \cdot d_2 \cdot t_{2n}) - \\ &- E \cdot h_1 + 2A \cdot \left( \frac{t_{1n} + t_{2n}}{2} - \frac{t_{1M} + t_{2M}}{2} \right) - \\ &- 2500 \cdot \frac{dd_2}{d\tau} - 1,84 \cdot \frac{dd_2}{d\tau} \cdot t_{2n} \end{aligned} \right), \\ \frac{dd_2}{d\tau} &= -\frac{M_{MД}}{M_{nД}} \cdot \frac{dW_2}{d\tau}, & \frac{dt_2}{d\tau} &= Dt_{1n} + Dt_{2n} - Dt_{1M} - Dt_{2M}, \\ \frac{dW_2}{d\tau} &= -CW_2 + CW_1, & \frac{dM_{MД}}{d\tau} &= L_M, & \frac{dM_{nД}}{d\tau} &= L_n. \end{aligned}$$

Введемо позначення:

$$y_1 = t_{2n}; y_2 = d_2; y_3 = W_2; y_4 = t_{2M}; y_5 = M_{MД}; y_6 = M_{nД}.$$

Система рівнянь математичної моделі конвективної сушарки:

$$\begin{aligned} y_1' &= \frac{1}{1,004 + 1,84 \cdot d_2} \cdot \left( \begin{aligned} &E \cdot (1,004 \cdot t_{2n} + 2500 \cdot d_2 + 1,84 \cdot d_2 \cdot t_{2n}) - \\ &- E \cdot h_1 + 2A \cdot \left( \frac{t_{1n} + t_{2n}}{2} - \frac{t_{1M} + t_{2M}}{2} \right) - \\ &- 2500 \cdot \frac{dd_2}{d\tau} - 1,84 \cdot \frac{dd_2}{d\tau} \cdot t_{2n} \end{aligned} \right), \\ y_2' &= \frac{y_5}{y_6} \cdot y_3', & y_3' &= -Cy_3 + CW_p, \\ y_4' &= D t_{1n} + D y_1 - D t_{1M} - D y_4, & y_5' &= L_M, & y_6' &= L_n. \end{aligned}$$

Граничні умови:

$$y_1 = t_{1n}; y_2 = d_1; y_3 = W_1; y_4 = t_{1M}; y_5 = M_M; y_6 = M_n.$$

# Фрагмент лістингу програми розрахунку математичної моделі сушарки

```
program pl06;
uses crt, graph, Dos;
const dim=10;
  _E=0.014;
  _Eps=0.97;
  _al=0.95;
  _b3=0.65;
type ar=array [1..dim] of real;
instruction=(Nothing, Up, Down, Ok, Go, Exit, Help, Aut, Oprogr, F4);
TDrawBuf=array [0..79] of word;

Var R1, _t, _F, _d, _n, _k, _L1, _L2, _o, _u, _p, _v, _A, _Re, _Z, _w, _bl,
    _b2, _Zd, _m, _Q: real;      Action: instruction;      ZZ: array
[1..100] of string;           z1: integer;           temp: string;
t, v, s: real;                k1, k2, k3, y1, y, y2: ar;           i, j, m, n: integer;
u, w, z, tab, xod, Ch, ChM: boolean;
  g, r, h, x, e, ses, x1, t1, t2: real;
  Vc, wp, tlg, dl, tlm, wlm, ro, agm, Fm, vlg, vm, vlm, cm, k, mrd,
  mnd: real;                   Mr, Lg, A, Il, b, mm, Lm, C, D, Ss, Sm, y22, y222,
sos1, sos2, sss: real;        Qm, Qg, dQ, Wm, Wg, Wc, DW1, DW2, ee: real;
gd, gm: integer;
  yn1, yn2, yn3, yn4, xn1, DI, h1, h2: real;
  xx, dj: integer;
  PovMat: real;
Screen: array [1..1999] of word absolute $B800:0;
  Sec, Hour, Min, MSec: word;
  Tic: longint;
  SaveInt: procedure;
Label Pg3, Pg4

Procedure
MoveChar (var Buf: TDrawBuf; ch: char; Atr: byte; Count: byte);
  var i: byte;
begin
  for i:=0 to count-1 do
    Buf[i]:=Ord(ch)+(Atr shl 8);
end;

procedure MoveStr (var Buf: TDrawBuf; s: string);
  var i: byte;
begin
  for i:=1 to length(s) do
    Buf[i]:=(Buf[i-1] and $FF00) or Ord(S[i]);
end;

procedure WriteLine (x, y, Width: byte; Buf: TDrawBuf); begin
  Move (Buf, Screen[x+y*80], Width*2);
end;

procedure ff(x: real; y: ar; var f: ar);
begin
  if ChM=true then begin
    f[1]:=(1/1.1188)*(-EE*1.188*y[1]+EE*tlg-A*tlg-
A*y[1]+A*tlm+A*y[4]);
    f[2]:=0;
    f[3]:=-c*y[3]+c*wp;
    f[4]:=D*tlg+D*y[1]-D*tlm-D*y[4];
    f[5]:=Lm;
    f[6]:=Lg;
  end;
  if ChM=false then begin
    h1:=1.004*tlg+d1*2500+tlg*d1*1.84;
    h2:=1.004*y2[1]+y2[2]*2500+y2[1]*y2[2]*1.84;
    f[3]:=-c*y[3]+c*wp;    f[2]:=y[5]*f[3]/y[6];
    f[1]:=1/
(1.004+1.84*y[2])*(E*(1.004*y[1]+y[2]*2500+y[1]*y[2]*1.84)
-E*h1+2*A*((tlg+y[1])/2-(tlm+y[4])/2)-2500*f[2]-
1.84*f[2]*y[1]);
    f[4]:=D*tlg+D*y[1]-D*tlm-D*y[4];
    f[5]:=Lm;
    f[6]:=Lg;
  end;
end;
function KeyTouch: Instruction;
begin
  case Ord(readkey) of
    0: begin
      case Ord(readkey) of
        72: Keytouch:=Up;
        80: Keytouch:=Down;
        59: Keytouch:=HELP;
        60: Keytouch:=Oprogr;
        62: Keytouch:=F4;
      else
        Keytouch:=nothing;
      end;
    end;
    13: Keytouch:=OK;
    27: Keytouch:=Exit;
    32: Keytouch:=Go;
    9: Keytouch:=Aut;
  else
    Keytouch:=Nothing
  end;
end;
end;
```

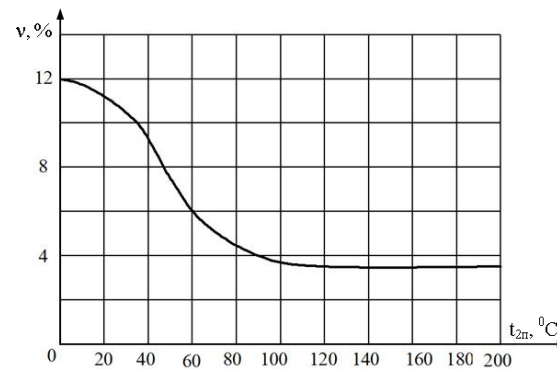
# Розрахунок конвективної сушарки

Вихідні дані для програми

Найменування	Значення	Розмірність
Початкова температура гарячого повітря	150	°C
Початковий вологовміст повітря	0,01	кг/кг
Початкова температура матеріалу	20	°C
Початковий вологовміст матеріалу	0,3	кг/кг
Коефіцієнт тепловіддачі від повітря	10	Вт/м²гр
Поверхня матеріалу	8	м²
Швидкість повітря	0,5	м/с
Об'єм матеріалу	2	м³
Швидкість матеріалу	0,005	м/с
Теплоємність матеріалу	2	кДж/кг*гр
Рівноважний вологовміст	0,004	кг/кг
Густина матеріалу	750	кг/м³
Коефіцієнт сушки	0,01	1/с
Об'єм сушарки	96	м³
Початок інтервалу часу	0	с
Кінець інтервалу часу	60	с
Крок інтегрування початковий	1	с
Темп-ра гарячого повітря на початку інтервалу часу	150	°C
Вологовміст повітря на початку інтервалу часу	0,01	кг/кг
Температура матеріалу на початку інтервалу часу	20	°C
Вологовміст матеріалу на початку інтервалу часу	0,3	кг/кг
Площа поперечного перерізу сушарки	16	м²
Площа поперечного перерізу матеріалу	2	м²

Результати розрахунку конвективної сушарки

Найменування	Значення	Розмірність
Маса повітря	124,8	кг
Маса матеріалу	1500	кг
Витрата повітря	37440	кг/год
Витрата матеріалу	2700	кг/год
Кінцева температура повітря	125,62	°C
Кінцевий вологовміст повітря	0,012	кг/кг
Кінцевий вологовміст матеріалу	0,2991	кг/кг
Кінцева температура матеріалу	20,192	°C
Остаточний крок інтегрування	0,5	°C
Кількість теплоти, сприйнятої матеріалом	593,23	кДж
Кількість теплоти, відданої повітрям	565,03	кДж
Похибка матеріального балансу теплоти	4,754	%
Кількість вологи, відданої матеріалом	1,461	кг
Кількість вологи, сприйнятої повітрям	1,461	кг
Розрахункова кількість вологи сушки	1,4613	кг
Похибка матеріального балансу сушки	0	%
Похибка розрахунку кількості вологи в сушці	3,068	%



Графік залежності вологовмісту матеріалу від температури гарячого повітря

Кінцеві параметри сушки при  $\alpha = \text{var}$

$\tau$	$\alpha = 10$				$\alpha = 20$				$\alpha = 30$			
	$t_{гп}$	$d_2$	$t_{2M}$	$\omega_2$	$t_{гп}$	$d_2$	$t_{2M}$	$\omega_2$	$t_{гп}$	$d_2$	$t_{2M}$	$\omega_2$
0	150	0,01	20	0,3	150	0,01	20	0,3	150	0,01	20	0,3
60	129	0,014	20,2	0,29	128	0,014	20,4	0,299	127	0,0141	20,6	0,299
600	126	0,018	21,6	0,29	125	0,018	23,3	0,291	124	0,0189	24,9	0,292
2400	125,6	0,022	25	0,27	124	0,021	29,7	0,276	124	0,0219	34,3	0,276
3600	125,6	0,022	26,4	0,27	124	0,022	32,6	0,269	124	0,0227	38,5	0,269
4800	125,6	0,023	27,6	0,26	124	0,023	34,9	0,264	124	0,0233	41,9	0,264
6000	125,6	0,023	28,6	0,25	124	0,023	36,8	0,259	124	0,0237	44,6	0,259
7200	125,6	0,024	29,4	0,25	124	0,024	38,4	0,255	124	0,0241	47	0,255

Кінцеві параметри сушки при  $K = \text{var}$

$\tau$	$K = 0,01$				$K = 0,1$				$K = 0,001$			
	$t_{гп}$	$d_2$	$t_{2M}$	$\omega_2$	$t_{гп}$	$d_2$	$t_{2M}$	$\omega_2$	$t_{гп}$	$d_2$	$t_{2M}$	$\omega_2$
0	150	0,01	20,1	0,3	150							
60	129	0,014	20,2	0,29	129	0,05	20,2	0,291	129	0,0104	20,2	0,299
600	125	0,019	21,7	0,29	125	0,093	21,6	0,227	125	0,0109	21,6	0,299
2400	125	0,022	25	0,27	125	0,112	24,9	0,132	125	0,011	25	0,297
3600	125	0,023	26,4	0,27	125	0,116	26,4	0,102	125	0,011	26,4	0,296
4800	125	0,023	27,6	0,26	125	0,118	27,6	0,08	125	0,011	27,6	0,296
6000	125	0,024	28,6	0,25	125	0,12	28,6	0,07	125	0,011	28,6	0,295
7200	125	0,024	29,4	0,25	125	0,12	29,4	0,06	125	0,011	29,4	0,295

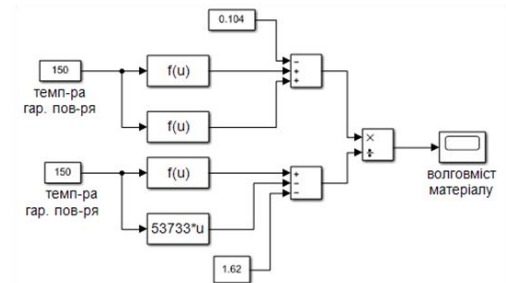
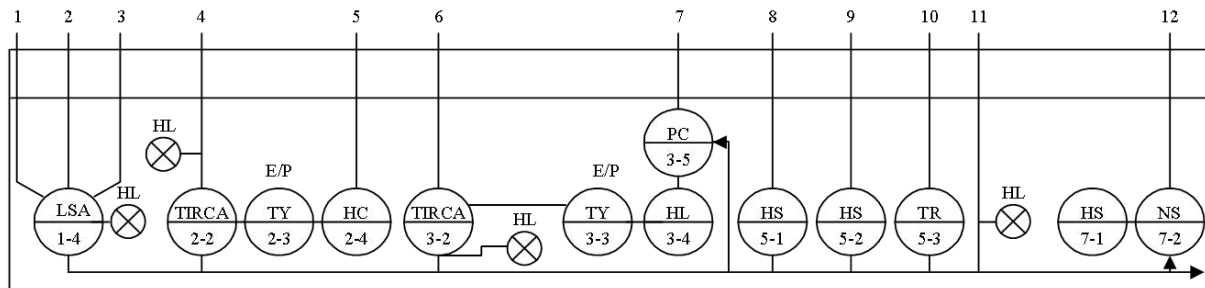
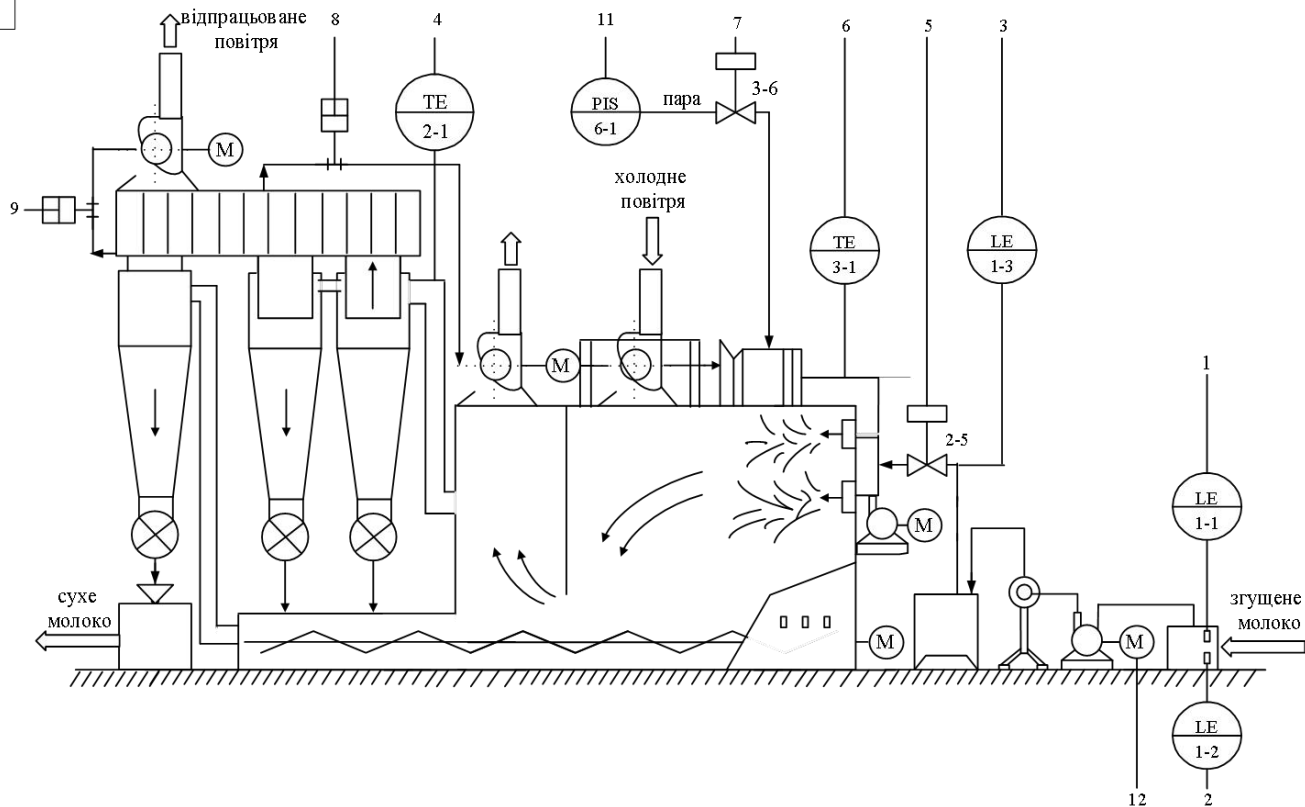


Схема моделювання сушильної установки



Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата
Розробник:	Кабалюк Д.О.			
Перевірив:	Розовик М.П.			
Т. номер:				
Резюме:				
Нормалок:				
Затверд.	Кутен В.М.			

Система автоматизації технологічного процесу сушки молока  
Функціональна схема автоматизації процесу сушки молока

Літ.	Маса	Масштаб
у		
Аркуш 1	Аркушів 1	
ВНТУ, гр. ЕПА-17м		

## Висновки

*В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи отримано такі результати:*

- 1) проаналізовано існуючі способи та обладнання для сушки молочних продуктів;
- 2) здійснено огляд технологічного процесу та обладнання;
- 3) розглянуто основні технічні дані і характеристики розпилювальної сушильної установки «Blow – Knox»;
- 4) досліджена структурна схема та особливості застосування форсункової розпилювальної сушильної установки «Blow – Knox»;
- 5) розраховані потужності електродвигуна нагнітаючого вентилятора та електродвигуна насосу високого тиску;
- 6) здійснено техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода для насосу високого тиску, в результаті чого встановлено, що оптимальною є система релейно-контакторного керування асинхронним двигуном;
- 7) вибрано та перевірено електродвигуни для нагнітаючого вентилятора та насосу високого тиску. Побудовані відповідні механічні характеристики;
- 8) розроблена система електроприводу сушильної установки;
- 9) розроблена математична модель сушильної установки та алгоритм розрахунку конвективної сушарки;
- 10) розроблена методика та програма розрахунків системи рівнянь конвективної сушарки на мові Turbo Pascal;
- 11) розроблена функціональна схема автоматизації технологічного процесу сушки молока;
- 12) розглянуті питання з охорона праці.



**Дякую за увагу!**

**Доповідь завершено**