

Под ними мы понимаем величины полного и статического давления и их потери, необходимые на прокачку продуктов химических реакций при движении по длине печи пиролиза. Известно, что перепад давления определяется как [1] $\Delta P = \zeta (\rho v^2) / 2g$ (1) Здесь ζ суммарный коэффициент сопротивления, ρ плотность кг/м³, v – скорость – м/с, $g = 9,8$ м/сек². Печь пиролиза [2] представляет собою секцию прямолинейных участков трубы, связанных между собой поворотами. Коэффициент сопротивления в этом случае равен сумме потерь на линейном участке $\lambda = 0,3164 / \text{Re}^{0,25} l / D$ (2) l – прямой участок трубы, D – ее диаметр, Re – число Рейнольдса потока реагирующей смеси $\text{Re} = 4G / \pi g D \mu$ (3) Поворот потока на 180°, согласно [1] определяется цифрой в зависимости от числа участков. Вне зависимости от химических реакций, протекающих в печи, расход «G» выдерживается постоянным. В то же время, в силу изменения состава меняется вязкость смеси « μ » и ее плотность « ρ ». Согласно [3] вязкость смеси определяется по зависимости: $\mu_{\text{см}} = (\sum_{i=1}^n g_i / \mu_i)^{-1}$ (4) μ_i – вязкость конкретного компонента смеси. Газовая постоянная смеси $R_{\text{см}} = \sum_{i=1}^n (848 g_i) / m_i$ (5) m_i – молекулярная масса i компонента. Плотность смеси $\rho_{\text{см}} = P_{\text{ст}} * M_{\text{см}} / 848 T$ (6) Как следует из (4) и (5) для оценки вязкости и плотности необходимо знать состав реагирующей смеси в функции продольной координаты. С этой целью воспользуемся системой уравнений химической кинетики. Применительно к пакету Mathematica запишем процедуру NDSolve в виде:

```
Sol=NDSolve[{c1'[t]=k10[W]*c3[t]*c6[t]+k13[W]*c3[t]^2-k1[W]*c1[t]-
k2[W]*c1[t]*c2[t]-k4[W]*c1[t]*c6[t], c2'[t]=-k12[W]*c2[t]*c3[t]+2*k1[W]*c1[t]-
k2[W]*c1[t]*c2[t]-k5[W]*c2[t]*c5[t]-k6[W]*c2[t]*c6[t]-k7[W]*c2[t], c3'[t]=-
k10[W]*c3[t]*c6[t]-2*k11[W]*c3[t]^2-k12[W]*c2[t]*c3[t]-2*k13[W]*c3[t]^2+
k2[W]*c1[t]*c2[t]-k3[W]*c3[t]+k4[W]*c1[t]*c6[t],
c4'[t]=k2[W]*c1[t]*c2[t]+k5[W]*c2[t]*c5[t], c5'[t]=k13[W]*c3[t]^2+k3[W]*c3[t]-
5[W]*c2[t]*c5[t], c6'[t]=-k10[W]*c3[t]*c6[t]-k14[W]*c6[t]*c11[t]+k3[W]*c3[t]-
k4[W]*c1[t]*c6[t]-k6[W]*c2[t]*c6[t]-k8[W]*c6[t]*c10[t]+k9[W]*c8[t],
c7'[t]=k14[W]*c6[t]*c11[t]+k4[W]*c1[t]*c6[t]+
k6[W]*c2[t]*c6[t]+k7[W]*c2[t]+k8[W]*c6[t]*c10[t], c8'[t]=k5[W]*c2[t]*c5[t]-
k9[W]*c8[t], c9'[t]=k9[W]*c8[t], c10'[t]=k6[W]*c2[t]*c6[t]-k8[W]*c6[t]*c10[t],
c11'[t]=-k14[W]*c6[t]*c11[t]+k7[W]*c2[t]+k8[W]*c6[t]*c10[t],
c12'[t]=k11[W]*c3[t]^2, c13'[t]=k12[W]*c2[t]*c3[t], c14'[t]=k14[W]*c6[t]*c11[t],
Краевые условия к системе являются
```

```
c1[0]=0.0214,c2[0]=0,c3[0]=0,c4[0]=0,c5[0]=0,c6[0]=0,c7[0]=0,c8[0]=0,c9[0]=0,c10[0]=0
Tab1=Table[Evaluate[{(c1[t]*gc2h6)/c1[0],(c2[t]*15*gc2h6)/(c1[0]*30),(c3[t]*29*gc2h6)/(c1[0]*30),
(c5[t]*28*gc2h6)/(c1[0]*30),
(c6[t]*1*gc2h6)/(c1[0]*30),(c7[t]*2*gc2h6)/(c1[0]*30),(c8[t]*27*gc2h6)/(c1[0]*30),(c9[t]*26*gc2h6)/(c1[0]*30)},
{t,0,1000000,100000}],{t}];
```

Здесь: C1 – C₂H₆; C2 – CH₃; C3 – C₂H₅; C4 – CH₄; C5 – C₂H₄; C6 – H; C7 – H₂; C8 – C₂H₃; C9 – C₂H₂; C10 – CH₂; C11 – CH; C12 – C₄H₁₀; C13 – C₃H₈; C14 – C.

Результаты решения системы представим в виде согласно с пакетом

«Mathematica». Весь интервал времени пиролиза 0,5 сек разделим на участки, равные 0,1 сек. При скорости потока V м/сек потоку проходит расстояние $S = V \cdot 0,1$. На границе участков изменяются все параметры, которые и отображаются на печать. При этом введены следующие обозначения: m_i M_{cmi}/M_{1cm} ; $rosm$ g_{cm} плотность смеси; w ρ_i/ρ_1 ; $V_{vx\ i}$ – скорость на входе в i участок; Y_i – V_i/V_1 отношение скоростей; μ_{uu} – изменение вязкости с температурой; P_i – давление торможения; P_{sti} – статическое давление; W – температура. Имеем:

```
g1=Tab1[[1]][[1]][[1]]; g2=Tab1[[1]][[1]][[2]]; g3=Tab1[[1]][[1]][[3]];
g4=Tab1[[1]][[1]][[4]]; g5=Tab1[[1]][[1]][[5]]; g6=Tab1[[1]][[1]][[6]];
g7=Tab1[[1]][[1]][[7]]; g8=Tab1[[1]][[1]][[8]]; g9=Tab1[[1]][[1]][[9]];
g10=Tab1[[1]][[1]][[10]]; g11=Tab1[[1]][[1]][[11]]; g12=Tab1[[1]][[1]][[12]];
g13=Tab1[[1]][[1]][[13]]; g14=Tab1[[1]][[1]][[14]]; Print["g1=",g1," ","g2=",g2,"
","g3=",g3," ","g4=",g4," ","g5=",g5," ","g6=",g6," ","g7=",g7," ","g8=",g8,"
","g9=",g9," ","g10=",g10," ","g11=",g11," ","g12=",g12," ","g13=",g13,"
","g14=",g14] g1= 0.750032 g2= 17.5241 g3= 33.88 g4= 3.03752*10^-31 g5= 0. g6=
0. g7= 2.07584*10^-42 g8= 0. g9= 0. g10= 0. g11= 1.3493*10^-41 g12= 0. g13= 0.
g14= 0.
m1=30;m2=15;m3=29;m4=16;m5=28;m6=1;m7=2;m8=27;m9=26;m10=58;m11=44;m12=
Rcm1=g1*848/m1+g4*848/m4+g5*848/m5+g6*848/m6+g7*848/m7+g8*848/m8+g9*848/m9
Mcm1=1/(g1/m1+g4/m4+g5/m5+g6/m6+g7/m7+g8/m8+g9/m9+g10/m10+g11/m11+g12/m12)
mu1=Mcm1/Mcm1; rosm1=(P*Mcm1)/(848*W); ur1=rosm1/rosm1; Ftp=(3.14)*(L/2)^2;
Vvx1=Gcm/(rosm1*Ftp); Y1=Vvx1/Vvx1; Pst1=P-rosm1*Vvx1*Vvx1/(2*9.8);
pu1=Pst1/P; Print["Rcm1=",Rcm1," ","Mcm1=",Mcm1," ","rosm1=",rosm1,"
","ur1=",ur1," ","Ftp=",Ftp," ","Vvx1=",Vvx1," ","Y1=",Y1," ","Pst1=",Pst1,"
","pu1=",pu1]
Rcm1=g1*848/m1+g4*848/m4+g5*848/m5+g6*848/m6+g7*848/m7+g8*848/m8+g9*848/m9
Mcm1=1/(g1/m1+g4/m4+g5/m5+g6/m6+g7/m7+g8/m8+g9/m9+g10/m10+g11/m11+g12/m12)
mu1=Mcm1/Mcm1; rosm1=(P*Mcm1)/(848*W); ur1=rosm1/rosm1; Ftp=(3.14)*(L/2)^2;
Vvx1=Gcm/(rosm1*Ftp); Y1=Vvx1/Vvx1; Pst1=P-rosm1*Vvx1*Vvx1/(2*9.8);
pu1=Pst1/P; Print["Rcm1=",Rcm1," ","Mcm1=",Mcm1," ","rosm1=",rosm1,"
","ur1=",ur1," ","Ftp=",Ftp," ","Vvx1=",Vvx1," ","Y1=",Y1," ","Pst1=",Pst1,"
","pu1=",pu1] Print["g1=",g1," ","g2=",g2," ","g3=",g3," ","g4=",g4," ","g5=",g5,"
","g6=",g6," ","g7=",g7," ","g8=",g8," ","g9=",g9," ","g10=",g10," ","g11=",g11,"
","g12=",g12," ","g13=",g13," ","g14=",g14]
Rcm3=g1*848/m1+g4*848/m4+g5*848/m5+g6*848/m6+g7*848/m7+g8*848/m8+g9*848/m9
Mcm3=1/(g1/m1+g4/m4+g5/m5+g6/m6+g7/m7+g8/m8+g9/m9+g10/m10+g11/m11+g12/m12)
mu3=Mcm3/Mcm1; rosm3=(Pst2*Mcm3)/(848*W); ur3=rosm3/rosm1;
Ftp=(3.14)*(L/2)^2; Vvx3=Gcm/(rosm3*Ftp); Y3=Vvx3/Vvx1; muu=(10^-
6)*(W/W1)^0.75; Re3=4*Gcm/(3.14*9.8*L*muu); lambda=0.3164/Re3^0.25; P3=P2-
(lambda*Vvx3*0.1/L+2)*((rosm3*Vvx3^2)/2*9.8); P3/P; Pst3=P3-rosm3*Vvx3*Vvx3/(2*9.8);
Pst3/Pst1; Print["Rcm3=",Rcm3," ","Mcm3=",Mcm3," ","mu3=",mu3,"
```

```

", "rosm3=", rosm3, " ", "ur3=", ur3, " ", "Ftp=", Ftp, " ", "Vbx3=", Vbx3, " ", "Y3=", Y3, "
", "muu=", muu, " ", "Re3=", Re3, " ", "λ=", λ, " ", "P3=", P3, " ", "Pst3=", Pst3, "
", "Pst3/Pst1=", Pst3/Pst1, " ", "P3/P=", P3/P, " "] g1= 0.238146 g2= 17.5241
InterpolatingFunction[{ {0., 0.5} }, >] g3= 33.88 InterpolatingFunction[{ {0., 0.5} }, >]
g4= 0.0800398 g5= 0.365775 g6= 0.000070065 g7= 0.0270628 g8= 1.08195*10^-6
g9= 0.0379498 g10= 6.58627*10^-8 g11= 1.15588*10^-8 g12= 2.67089*10^-6 g13=
0.000315011 g14= 0.000650706 Rcm3= 46.6516 Mcm3= 18.1773 mu3= 0.706881
rosm3= 0.51553 ur3= 0.680029 Ftp= 0.0140955 Vbx3= 107.023 Y3= 1.47053 muu=
2.61353*10^-6 Re3= 288659. = 0.0136502 P3= 25303.6 Pst3= 25002.3 Pst3/Pst1=
0.933091 P3/P= 0.937169 g1=Tab1[[4]][[1]][[1]]; g2=Tab1[[4]][[1]][[2]];
g3=Tab1[[4]][[1]][[3]]; g4=Tab1[[4]][[1]][[4]]; g5=Tab1[[4]][[1]][[5]];
g6=Tab1[[4]][[1]][[6]]; g7=Tab1[[4]][[1]][[7]]; g8=Tab1[[4]][[1]][[8]];
g9=Tab1[[4]][[1]][[9]]; g10=Tab1[[4]][[1]][[10]]; g11=Tab1[[4]][[1]][[11]];
g12=Tab1[[4]][[1]][[12]]; g13=Tab1[[4]][[1]][[13]]; g14=Tab1[[4]][[1]][[14]];
Print["g1=", g1, " ", "g2=", g2, " ", "g3=", g3, " ", "g4=", g4, " ", "g5=", g5, " ", "g6=", g6, "
", "g7=", g7, " ", "g8=", g8, " ", "g9=", g9, " ", "g10=", g10, " ", "g11=", g11, " ", "g12=", g12, "
", "g13=", g13, " ", "g14=", g14]
Rcm4=g1*848/m1+g4*848/m4+g5*848/m5+g6*848/m6+g7*848/m7+g8*848/m8+g9*848/m9+g10*848/m10+g11*848/m11+g12*848/m12+g13*848/m13+g14*848/m14;
Mcm4=1/(g1/m1+g4/m4+g5/m5+g6/m6+g7/m7+g8/m8+g9/m9+g10/m10+g11/m11+g12/m12+g13/m13+g14/m14);
mu4=Mcm4/Mcm1; rosm4=(Pst3*Mcm4)/(848*W); ur4=rosm4/rosm1;
Ftp=(3.14)*(L/2)^2; Vbx4=Gcm/(rosm4*Ftp); Y4=Vbx4/Vbx1; muu=(10^-6)*(W/W1)^0.75; Re4=4*Gcm/(3.14*9.8*L*muu); λ=0.3164/Re4^0.25; P4=P3-
(λ*Vbx4*0.1/L+2)*((rosm4*Vbx4^2)/(2*9.8)); P4/P; Pst4=P4-rosm4*Vbx4*Vbx4/(2*9.8);
Pst4/Pst1; Print["Rcm4=", Rcm4, " ", "Mcm4=", Mcm4, " ", "mu4=", mu4, "
", "rosm4=", rosm4, " ", "ur4=", ur4, " ", "Ftp=", Ftp, " ", "Vbx4=", Vbx4, " ", "Y4=", Y4, "
", "muu=", muu, " ", "Re4=", Re4, " ", "λ=", λ, " ", "P4=", P4, " ", "Pst4=", Pst4, "
", "Pst4/Pst1=", Pst4/Pst1, " ", "P4/P=", P4/P, " "] g1= 0.138053 g2= 17.5241
InterpolatingFunction[{ {0., 0.5} }, >] g3= 33.88 InterpolatingFunction[{ {0., 0.5} }, >]
g4= 0.0965764 g5= 0.42487 g6= 0.0000717597 g7= 0.033097 g8= 7.81068*10^-7
g9= 0.0561866 g10= 4.09333*10^-8 g11= 7.18372*10^-9 g12= 2.85333*10^-6 g13=
0.000342526 g14= 0.000819167 Rcm4= 49.6557 Mcm4= 17.0776 mu4= 0.664117
rosm4= 0.466216 ur4= 0.614979 Ftp= 0.0140955 Vbx4= 118.344 Y4= 1.62607
muu= 2.61353*10^-6 Re4= 288659. λ = 0.0136502 P4= 24235.7 Pst4= 23902.5
Pst4/Pst1= 0.892048 P4/P= 0.897618 g1=Tab1[[5]][[1]][[1]]; g2=Tab1[[5]][[1]][[2]];
g3=Tab1[[5]][[1]][[3]]; g4=Tab1[[5]][[1]][[4]]; g5=Tab1[[5]][[1]][[5]];
g6=Tab1[[5]][[1]][[6]]; g7=Tab1[[5]][[1]][[7]]; g8=Tab1[[5]][[1]][[8]];
g9=Tab1[[5]][[1]][[9]]; g10=Tab1[[5]][[1]][[10]]; g11=Tab1[[5]][[1]][[11]];
g12=Tab1[[5]][[1]][[12]]; g13=Tab1[[5]][[1]][[13]]; g14=Tab1[[5]][[1]][[14]];
Print["g1=", g1, " ", "g2=", g2, " ", "g3=", g3, " ", "g4=", g4, " ", "g5=", g5, " ", "g6=", g6, "
", "g7=", g7, " ", "g8=", g8, " ", "g9=", g9, " ", "g10=", g10, " ", "g11=", g11, " ", "g12=", g12, "
", "g13=", g13, " ", "g14=", g14]

```

```

Rcm5=g1*848/m1+g4*848/m4+g5*848/m5+g6*848/m6+g7*848/m7+g8*848/m8+g9*848/m9+g10*848/m10+g11*848/m11+g12*848/m12;
Mcm5=1/(g1/m1+g4/m4+g5/m5+g6/m6+g7/m7+g8/m8+g9/m9+g10/m10+g11/m11+g12/m12);
mu5=Mcm5/Mcm1; rosm5=(Pst4*Mcm5)/(848*W); ur5=rosm5/rosm1;
Ftp=(3.14)*(L/2)^2; Vbx5=Gcm/(rosm5*Ftp); Y5=Vbx5/Vbx1; muu=(10^-6)*(W/W1)^0.75; Re5=4*Gcm/(3.14*9.8*L*muu); lambda=0.3164/Re5^0.25; P5=P4-(lambda*Vbx5*0.1/L+2)*((rosm5*Vbx5^2)/(2*9.8)); P5/P; Pst5=P5-rosm5*Vbx5*Vbx5/(2*9.8); Pst5/Pst1;
Print["Rcm5=",Rcm5," ","Mcm5=",Mcm5," ","mu5=",mu5," ","rosm5=",rosm5," ","ur5=",ur5," ","Ftp=",Ftp," ","Vbx5=",Vbx5," ","Y5=",Y5," ","muu=",muu," ","Re5=",Re5," ","lambda=",lambda," ","P5=",P5," ","Pst5=",Pst5," ","Pst5/Pst1=",Pst5/Pst1," "]
g1= 0.0808824 g2= 17.5241
InterpolatingFunction[{{0.,0.5}},>] g3= 33.88 InterpolatingFunction[{{0.,0.5}},>]
g4= 0.106205 g5= 0.456174 g6= 0.0000728394 g7= 0.0366856 g8= 5.1472*10^-7
g9= 0.068724 g10= 2.51237*10^-8 g11= 4.40917*10^-9 g12= 2.91232*10^-6 g13= 0.000352199 g14= 0.000925294
Rcm5= 51.4371 Mcm5= 16.4861 mu5= 0.641116 rosm5= 0.430273 ur5= 0.567567 Ftp= 0.0140955 Vbx5= 128.23 Y5= 1.76191 muu= 2.61353*10^-6 Re5= 288659. lambda= 0.0136502 P5= 23042.2 Pst5= 22681.3 Pst5/Pst1= 0.84647
g1=Tab1[[6]][[1]][[1]]; g2=Tab1[[6]][[1]][[2]]; g3=Tab1[[6]][[1]][[3]]; g4=Tab1[[6]][[1]][[4]]; g5=Tab1[[6]][[1]][[5]]; g6=Tab1[[6]][[1]][[6]]; g7=Tab1[[6]][[1]][[7]]; g8=Tab1[[6]][[1]][[8]]; g9=Tab1[[6]][[1]][[9]]; g10=Tab1[[6]][[1]][[10]]; g11=Tab1[[6]][[1]][[11]]; g12=Tab1[[6]][[1]][[12]]; g13=Tab1[[6]][[1]][[13]]; g14=Tab1[[6]][[1]][[14]];
Print["g1=",g1," ","g2=",g2," ","g3=",g3," ","g4=",g4," ","g5=",g5," ","g6=",g6," ","g7=",g7," ","g8=",g8," ","g9=",g9," ","g10=",g10," ","g11=",g11," ","g12=",g12," ","g13=",g13," ","g14=",g14]
Rcm6=g1*848/m1+g4*848/m4+g5*848/m5+g6*848/m6+g7*848/m7+g8*848/m8+g9*848/m9+g10*848/m10+g11*848/m11+g12*848/m12;
Mcm6=1/(g1/m1+g4/m4+g5/m5+g6/m6+g7/m7+g8/m8+g9/m9+g10/m10+g11/m11+g12/m12);
mu6=Mcm6/Mcm1; rosm6=(Pst5*Mcm6)/(848*W); ur6=rosm6/rosm1; Ftp=(3.14)*(L/2)^2; Vbx6=Gcm/(rosm6*Ftp); Y6=Vbx6/Vbx1; muu=(10^-6)*(W/W1)^0.75; Re6=4*Gcm/(3.14*9.8*L*muu); lambda=0.3164/Re6^0.25; P6=P5-(lambda*Vbx6*0.1/L+2)*((rosm6*Vbx6^2)/(2*9.8)); P6/P; Pst6=P6-rosm6*Vbx6*Vbx6/(2*9.8); Pst6/Pst1;
Print["Rcm6=",Rcm6," ","Mcm6=",Mcm6," ","mu6=",mu6," ","rosm6=",rosm6," ","ur6=",ur6," ","Ftp=",Ftp," ","Vbx6=",Vbx6," ","Y6=",Y6," ","muu=",muu," ","Re6=",Re6," ","lambda=",lambda," ","P6=",P6," ","Pst6=",Pst6," ","Pst6/Pst1=",Pst6/Pst1," "]
g1= 0.0477023 g2= 17.5241
InterpolatingFunction[{{0.,0.5}},>] g3= 33.88 InterpolatingFunction[{{0.,0.5}},>]
g4= 0.111862 g5= 0.473419 g6= 0.0000735135 g7= 0.038822 g8= 3.24559*10^-7
g9= 0.0767994 g10= 1.52647*10^-8 g11= 2.67894*10^-9 g12= 2.93206*10^-6 g13= 0.000355619 g14= 0.000990903
Rcm6= 52.4958 Mcm6= 16.1537 mu6= 0.628187 rosm6= 0.400054 ur6= 0.527706 Ftp= 0.0140955 Vbx6= 137.916 Y6= 1.89499 muu= 2.61353*10^-6 Re6= 288659. lambda= 0.0136502 P6= 21720.3 Pst6= 21332.1 Pst6/Pst1= 0.796119
На следующих рисунках показана графическая информация

```

проведенных расчетов. Молекулярная масса смеси, рассчитанная по зависимости (4) изменяется по длине печи пиролиза. При этом она уменьшается тем интенсивнее, чем выше температуры процесса. Рис. 1 На рис. 1 показана эволюция относительной молекулярной массы смеси в функции продольной координаты. Ранее было установлено, что рост температуры способствует увеличению скорости химических реакций. Этот же эффект следует из данных рис. 1. Плотность смеси также уменьшается в функции продольной координаты (рис.2). Так как расход этана является постоянной величиной, то при неизменной площади поперечного сечения печи скорость потока (рис.3) возрастает по длине. Рис. 2 Рис. 3 Согласно зависимости (1) потери полного и, соответственно, статического давлений уменьшаются пропорционально квадрату скорости. Их эволюция по длине печи пиролиза для трех значений возможных температур показана на рис.4. Рис. 4 Непосредственно процесс пиролиза протекает при статическом давлении. Ранее было показано, что с ростом давления возрастает выход этилена и водорода. Отсюда можно сделать вывод, что основная масса конечного продукта образуется на начальных калибрах трубчатой печи.