

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛООБМЕННИКА

Бережная Т.Е., инженер-программист учебно-научного центра информатизации и телекоммуникационных систем

Кузнецова А.А., магистрант

Максимец Е.А., магистрант

ЮФ НУБиП Украины «Крымский агротехнологический университет»

В статье рассматриваются возможности выполнения расчетов для определения параметров теплообменника с помощью математических выкладок и средств программирования MathCAD.

Ключевые слова: теплообменник, расчёты в MathCAD.

Задачей данного исследования является автоматизация тепловых расчетов и определение основных конструктивных параметров теплообменника и использование программных модулей в MathCAD.

В современном мире целесообразность автоматизации процессов не вызывает сомнения, т. к. позволяет значительно сократить время изготовления и повысить качество продукции. Особенно актуально разрабатывать программные модули для трудоемких и сложных, с большой вероятностью к ошибкам расчетов, таких как тепловой и гидравлический расчет теплообменных аппаратов

Нами было принято решение проводить расчеты в программе MathCAD, поскольку данная программа имеет ряд преимуществ:

1. В ней применяется интерфейс WYSIWYG (What you see is what you get);
2. Интерфейс со свободной формой записи;
3. Возможность комбинирования текста, математических выкладок и графиков в любом месте экрана;
4. Возможность редактировать математические выкладки графически;
5. Слежение за ошибками: сообщение об ошибке отмечает формулу, в которой находится ошибка;
6. Инструментарий для печатания греческих букв и единиц измерения;
7. Возможность использования средств программирования.

Для введения исходных данных мы использовали глобальное определение переменных (знак \equiv), поскольку они должны быть доступны всем локальным определениям в документе вне зависимости их расположения (рис. 1).

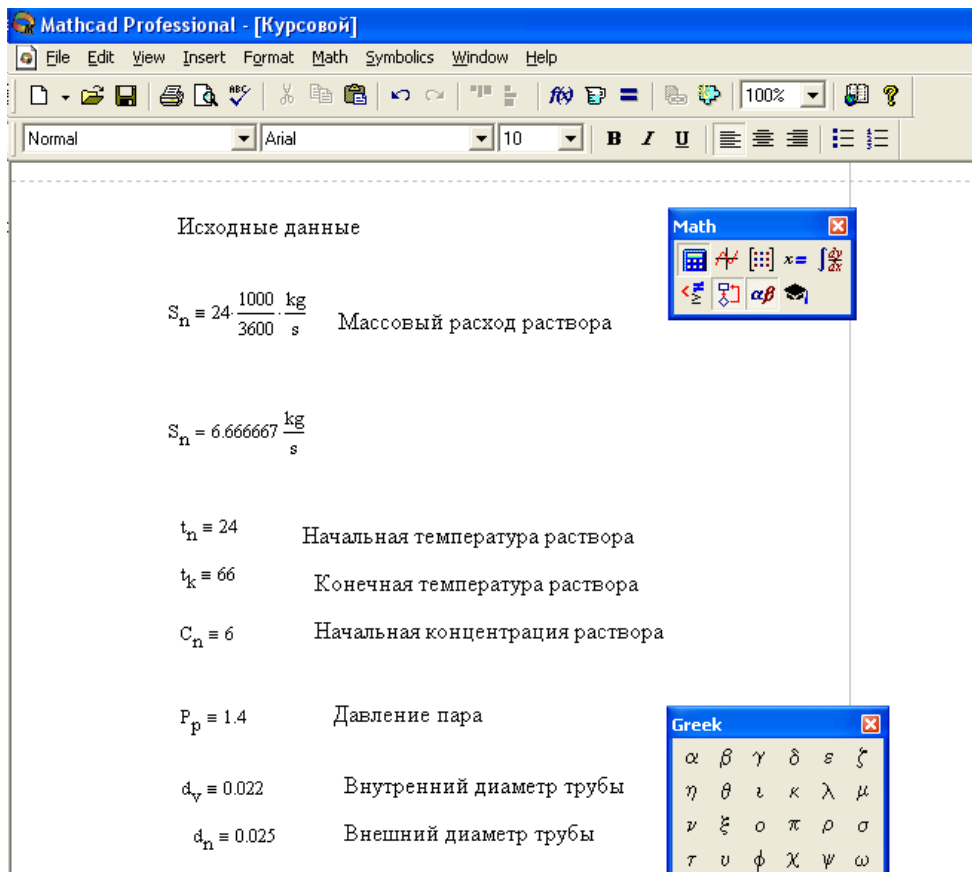


Рис. 1. Задание исходных данных в программе MathCAD расчета теплообменника

При расчете конструктивных параметров теплообменника использовались вспомогательные таблицы, где необходимо было в зависимости от начальной концентрации раствора определить коэффициент вязкости (μ), плотность раствора (ρ), коэффициент теплоемкости (c) и другие параметры.

Их мы ввели, используя матрицы соответствующим размером, где по столбцам указана концентрация раствора, а по строкам – разность температур между паром и стенкой (рис. 2).

Вспомогательные таблицы

$$\begin{aligned}
 a & \equiv \begin{pmatrix} 1.86 & 1.45 & 0.91 & 0.70 & 0.65 \\ 4.48 & 3.30 & 1.63 & 1.27 & 1.15 \\ 13.0 & 9.0 & 3.40 & 2.16 & 1.82 \\ 40.0 & 23.0 & 5.44 & 3.62 & 2.72 \\ 0 & 46.0 & 8.03 & 5.54 & 3.97 \end{pmatrix} & l & \equiv \begin{pmatrix} 0.541 & 0.557 & 0.57 & 0.58 & 0.58 \\ 0.536 & 0.549 & 0.56 & 0.57 & 0.57 \\ 0.532 & 0.544 & 0.55 & 0.56 & 0.56 \\ 0.531 & 0.542 & 0.55 & 0.56 & 0.56 \\ 0.530 & 0.539 & 0.55 & 0.55 & 0.56 \end{pmatrix} & \text{teploem} & \equiv \begin{pmatrix} 3.77 & 3.82 & 3.84 & 3.86 & 3.87 \\ 3.61 & 3.66 & 3.69 & 3.71 & 3.81 \\ 3.57 & 3.58 & 3.62 & 3.64 & 3.64 \\ 3.48 & 3.46 & 3.48 & 3.48 & 3.48 \\ 3.24 & 3.22 & 3.21 & 3.20 & 3.20 \end{pmatrix} \\
 k & \equiv \begin{pmatrix} 1109 & 1100 & 1089 & 1077 & 1064 \\ 1219 & 1208 & 1196 & 1183 & 1170 \\ 1328 & 1316 & 1303 & 1289 & 1276 \\ 1430 & 1416 & 1403 & 1389 & 1375 \\ 1525 & 1511 & 1497 & 1483 & 1469 \end{pmatrix} & \sigma & \equiv \begin{pmatrix} 77.3 & 76.1 & 75 & 73 & 70.7 \\ 85.5 & 85 & 84.7 & 83.2 & 81.3 \\ 97 & 96.4 & 95.8 & 95.3 & 94.4 \\ 108 & 108 & 107 & 107 & 106 \\ 130 & 130 & 129 & 129 & 128 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Рис. 2. Матрицы вспомогательных таблиц в программе MathCAD

В зависимости от концентрации и разностной температуры раствора необходимо было определить, какое место они занимают во вспомогательных таблицах. Для этого были использованы средства программирования и написаны программы, позволяющие определить данное место.

Для вставки программ в документы MathCAD имеется специальная панель инструментов Programming (Программирование), которая дает возможность применения циклов - в нашем случае это оператор for и условных операторов - операторы if и otherwise (рис 3).

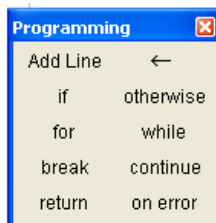


Рис. 3. Панель программирования Mathcad

В нашем расчете концентрация раствора составляет 10% (это переменная и она занимает нулевую позицию в матрицах вспомогательных таблиц). А температура раствора составляет 40°C (это переменная j и она занимает первую позицию в матрицах вспомогательных таблиц) (рис. 4).

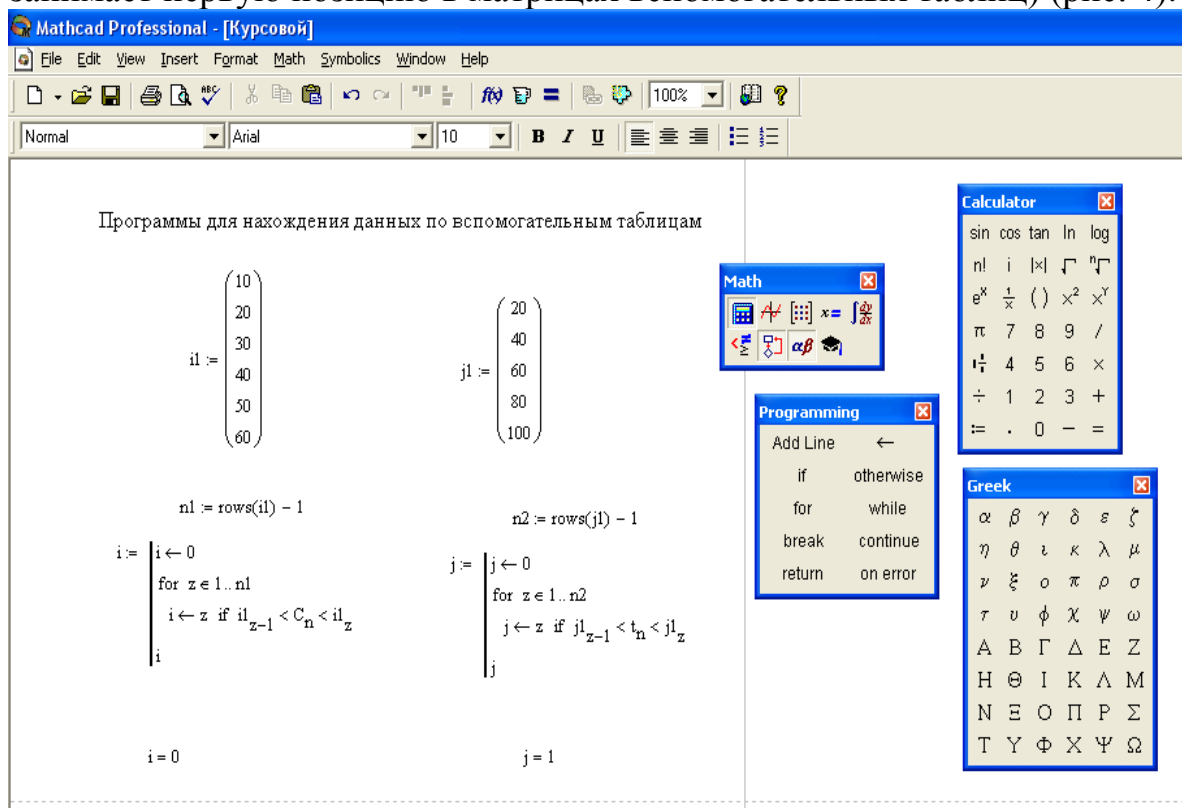


Рис. 4. Использование средств программирования в MathCAD при определении концентрации и температуры раствора

Таким же образом была написана программа для определения физических свойств насыщенного водяного пара. Здесь была введена матрица, в которой содержались следующие данные:

- 0-й столбец – температура;
- 1-й столбец – атмосферное давление;
- 2-й столбец – плотность;
- 3-й столбец – энтальпия пара;
- 4-й столбец – энтальпия жидкости и
- 5-й столбец – теплота испарения.

В зависимости от исходной температуры можно сразу по соответствующей строке определить остальные параметры (рис. 5).

Табл. Физические свойства насыщенного пара, часть 1

10	0.0125	0.0094	2521	41.87	2479
15	0.0174	0.0128	2529	62.81	2466
20	0.0238	0.0173	2537	83.14	2454
25	0.0323	0.023	2546	104.68	2441
30	0.0433	0.0304	2554	125.61	2428
35	0.0573	0.0396	2567	146.55	2420
40	0.0752	0.0512	2581	167.48	2408
45	0.0977	0.0654	2583	188.42	2395
50	0.126	0.0891	2591	209.35	2382
55	0.161	0.104	2600	230.29	2369
60	0.203	0.13	2609	251.22	2357
65	0.255	0.161	2617	272.16	2344
70	0.318	0.198	2625	293.09	2332
75	0.393	0.242	2634	314.03	2320
80	0.483	0.293	2642	334.96	2307

Табл. Физические свойства насыщенного пара, часть 2

85	0.589	0.354	2650	355.90	2294
90	0.715	0.484	2659	376.83	2282
95	0.862	0.505	2667	397.77	2269
100	1.033	0.598	2675	418.70	2257
105	1.23	0.705	2684	439.64	2244
110	1.36	0.826	2692	400.57	2232
115	1.72	0.965	2701	481.51	2215
120	2.02	1.12	2705	502.44	2202
125	2.37	1.3	2713	523.38	2190
130	2.75	1.5	2722	548.5	2173
135	3.19	1.76	2726	569.43	2160

n3 := rows(fsnp1) - 1

n4 := rows(fsnp2) - 1

```

nom :=
  for z ∈ 1..n3
    nom ← 0
    for z ∈ 1..n3
      if P_p ≤ 0.483
        nom ← z if fsnp1_{z-1,1} < P_p < fsnp1_{z,1}
    for z ∈ 1..n4
      otherwise
        nom ← z - 1 if fsnp2_{z-1,1} < P_p < fsnp2_{z,1}
  nom
nom = 5
t := fsnp2_{nom,0}    t = 110
P_at := fsnp2_{nom,1}    P_at = 1.36
ρ_p := fsnp2_{nom,2}    ρ_p = 0.83
i_p := fsnp2_{nom,3}    i_p = 2692
i_g := fsnp2_{nom,4}    i_g = 400.57
r := fsnp2_{nom,5} · 10^3    r = 2.23 × 10^6

```

Рис. 5. Матрица и программа определения исходных данных физических свойств насыщенного водяного пара

Затем нами был проведен расчет основных параметров теплообменника: коэффициент вязкости, плотность, теплопроводность, теплоемкость раствора, которые приведены ниже.

$$\mu_r := \left[a_{i,j} - \frac{a_{i+1,j} - a_{i,j}}{10} \cdot (10 - C_n) \right]$$

Коэффициент вязкости

$$\mu_r = 0.622$$

$$\mu_r := \mu_r \cdot 10^{-3}$$

$$\mu_r = 0.00062$$

$$\rho_r := \left[k_{i,j} - \frac{k_{i+1,j} - k_{i,j}}{10} \cdot (10 - C_n) \right]$$

Плотность раствора

$$\rho_r = 1046.2$$

$$\lambda_r := l_{i,j} - \frac{-(l_{i+1,j}) + l_{i,j}}{10} \cdot (10 - C_n)$$

Теплопроводность раствора

$$\lambda_r = 0.57$$

$$c_r := \left[\text{teploem}_{i,j-1} - \frac{-(\text{teploem}_{i+1,j-1}) + \text{teploem}_{i,j-1}}{10} \cdot (10 - C_n) \right] \cdot 10^3$$

Теплоемкость раствора

$$c_r = 3756$$

Следующим шагом было определение сечения трубного пучка, которое в нашем случае равнялось $0,03\text{м}^2$, числа греющих труб (84 шт), сечения и диаметра трубы (0,1 и 0,36м соответственно). Затем нами была определена разность температур раствора в трубном пространстве и водяного пара в межтрубном; температура конденсата и среднее значение.

$$sr := \frac{t + t_n}{2}$$

$$t_{\text{kond}} := \frac{t + sr}{2} \quad t_{\text{kond}} = 88.5$$

Температура конденсата

$$\Delta t_1 := t - t_k \quad \Delta t_1 = 44$$

$$\Delta t_2 := t_{\text{kond}} - t_n$$

$$\Delta t_b := \begin{cases} \Delta t_1 & \text{if } \Delta t_1 > \Delta t_2 \\ \Delta t_2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta t_b = 64.5$$

$$\Delta t_m := \begin{cases} \Delta t_1 & \text{if } \Delta t_1 < \Delta t_2 \\ \Delta t_2 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta t_m = 44$$

$$\text{Otn} := \frac{\Delta t_b}{\Delta t_m}$$

$$\Delta t_{sr} := \begin{cases} \Delta t_{sr} \leftarrow \frac{\Delta t_b + \Delta t_m}{2} & \text{if } \text{Otn} > 2 \\ \Delta t_{sr} \leftarrow \frac{\Delta t_b - \Delta t_m}{2.3 \log \left(\frac{\Delta t_b}{\Delta t_m} \right)} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\Delta t_{sr} = 53.66$$

Также в расчете необходимо определить коэффициент теплоотдачи от пара к стенке:

$$\alpha_1 := A \cdot \sqrt[4]{\frac{(\rho_v)^2 \cdot g \cdot r \cdot (\lambda_v)^3}{\mu_v \cdot H_n \cdot \Delta t}}$$

$$\alpha_1 = 2920.44 \quad ;$$

Число Рейнольдса, Прандля и Нуссельта

$$\text{Re} := \frac{W_r \cdot d_v \cdot \rho_r}{\mu_r} \quad \text{Re} = 7400.77 \quad \text{- число Рейнольдса}$$

$$\text{Pr} := \frac{\mu_r \cdot c_r}{\lambda_r} \quad \text{Pr} = 4.13 \quad \text{- число Прандтля}$$

$$\text{Nu} := \begin{cases} 0.021 \text{Re}^{0.8} \cdot \text{Pr}^{0.43} & \text{if } \text{Re} > 10000 \\ 0.008 \text{Re}^{0.9} \cdot \text{Pr}^{0.43} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{Nu} = 44.69 \quad \text{- число Нуссельта}$$

Последним шагом является расчет коэффициента теплоотдачи, поверхности теплообменника, длины трубного пучка патрубков, сечения и диаметра патрубков.

$$k := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{stali}}{\lambda_{stali}} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad \text{- коэффициент теплопередачи}$$

$$k = 770.46$$

$$F := \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{sr}} \quad - \text{поверхность теплообменника}$$

$$F = 25.44$$

$$H := \frac{F}{\pi \cdot d_{sr} \cdot n} \quad - \text{длина трубного пучка}$$

$$H = 4.1$$

$$f_{\text{patr}} := \frac{V}{W_p} \quad - \text{сечение патрубка}$$

$$f_{\text{patr}} = 0.01$$

$$d_p := 2 \cdot \sqrt{\frac{f_{\text{patr}}}{\pi}} \quad - \text{диаметр патрубка}$$

$$d_p = 0.13$$

Выводы. Таким образом, используя программу MathCAD, выполнен тепловой и конструкторский расчет теплообменника; автоматизированы процессы работы по выбору значений по физическим свойствам насыщенного пара.

Список использованных источников

1. Плаксин Ю.М., Малахов Н.Н., Ларин В.А. Процессы и аппараты пищевых производств. – 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2007. – 760с.: ил.
2. Дьяконов В. Mathcad 2001. Учебный курс. – С.-Пб.: Изд-во Питер, 2003. – 624с.
3. Кирьянов Д. Самоучитель Mathcad 13. – С.-Пб.: Изд-во ПВХ-Петербург, 2006. – 528с.

Бережна Т.Є., Кузнєцова А.А., Максимець О.О. Автоматизація розрахунків основних параметрів теплообмінника

У статті розглядаються можливості виконання розрахунків для визначення параметрів теплообміннику за допомогою математичних викладок і засобів програмування MathCAD.

Ключові слова: теплообмінник, розрахунки в MathCAD.

Berezhnaya T.E., Kuznetsova A.A., Maksimets E.A. Automation of key parameters of the heat exchanger

The article deals with the possibility of the calculation to determine the parameters of the heat exchanger with the help of mathematical calculations and programming MathCAD.

Keywords: heat exchanger calculations in MathCAD.