

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология», профиль «Химическая технология подготовки и переработки нефти и газа»

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №2

Название работы
Расчет химико-технологической системы
Вариант
Вариант XX
По дисциплине
Системный анализ процессов химической технологии

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
			18.03.2021

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Чузлов В.А.	К.Т.Н.		

Цель работы:

1. Рассчитать составы и свойства всех потоков химико-технологической системы, используя исходные данные в соответствии со своим вариантом.

2. Провести исследование влияния технологических параметров на процесс теплообмена.

Исходные данные:

Исходные данные представлены в таблицах 1 – 3.

Таблица 1 – Параметры теплообменного оборудования

Вариант	Диаметр внутренней трубы, м	Диаметр внешней трубы, м	Длина трубы, м	Коэффициент теплопередачи
14	0.14	0.33	2.37	4900

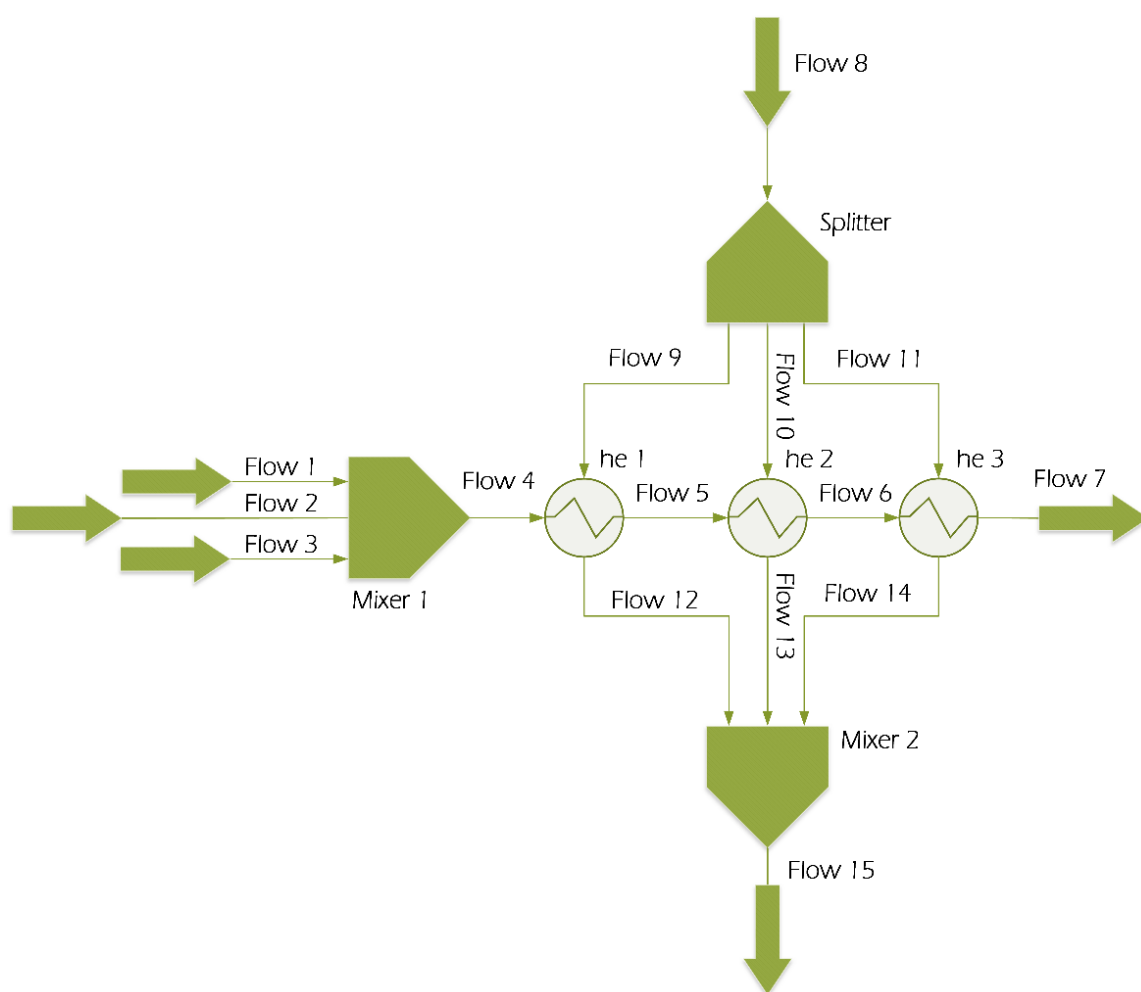


Рисунок 1 – Схема химико-технологической системы

Таблица 2 – Составы исходных потоков

Компонент	Вариант 14			
	Flow 1	Flow 2	Flow 3	Flow 8
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0687	0.0739	0.0678	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.0007	0.0007	0.0005	0.0009
6	0.0069	0.0074	0.0014	0.0093
7	0.0069	0.0074	0.0112	0.0093
8	0.0007	0.0007	0.0006	0.0009
9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	0.1409	0.1515	0.0554	0.4650
11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.1409	0.0758	0.1115	0.2325
13	0.0007	0.0007	0.0002	0.0009
14	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
15	0.0007	0.0007	0.0010	0.0009
16	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001
17	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
18	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
19	0.1409	0.1515	0.2208	0.0000
20	0.0344	0.0370	0.0438	0.2325
21	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
22	0.4226	0.4546	0.4816	0.0000
23	0.0007	0.0007	0.0009	0.0009
24	0.0344	0.0370	0.0033	0.0465

Таблица 3 – Расход и температура потоков

Вариант	Массовый расход, кг/ч				Температура, К			
	Flow 1	Flow 2	Flow 3	Flow 8	Flow 1	Flow 2	Flow 3	Flow 8
14	1078	2000	1645	2000	300	305	310	500

Теоретическая часть:

Объектно-ориентированное программирование (ООП) – парадигма программирования, основанная на представлении программы в виде совокупности объектов, каждый из которых является экземпляром определенного класса, а классы образуют иерархию наследования.

Классы и объекты – это два основных аспекта объектно-ориентированного программирования. Класс создаёт новый тип, а объекты являются экземплярами класса.

Объекты могут хранить данные в обычных переменных, которые принадлежат объекту. Переменные, принадлежащие объекту или классу, называют полями. Объекты могут также обладать функционалом, т.е. иметь функции, принадлежащие классу. Такие функции принято называть методами класса. Всё вместе (поля и методы) принято называть атрибутами класса.

Поля бывают двух типов: они могут принадлежать каждому отдельному экземпляру объекта класса или всему классу. Они называются переменными экземпляра и переменными класса соответственно.

Класс – это способ описания сущности, определяющий состояние и поведение, зависящее от этого состояния, а также правила для взаимодействия с данной сущностью (контракт).

Объект (экземпляр) – это отдельный представитель класса, имеющий конкретное состояние и поведение, полностью определяемое классом. Объект имеет конкретные значения атрибутов и методы, работающие с этими значениями на основе правил, заданных в классе.

Переменные класса и объекта:

Поля можно воспринимать как обычные переменные, заключённые в пространствах имён классов и объектов. Их имена действительны только в контексте (пространстве имен) этих классов или объектов.

Переменные класса разделяемы – доступ к ним могут получать все экземпляры этого класса. Переменная класса существует только одна, поэтому, когда любой из объектов изменяет переменную класса, это изменение отразится и во всех остальных экземплярах класса.

Переменные объекта принадлежат каждому отдельному экземпляру класса. В этом случае у каждого объекта есть своя собственная копия поля,

т.е. не разделяемая с другими такими же полями в других экземплярах.
Доступ к полям объекта осуществляется через переменную self.

Функции для пересчета составов потоков:

- пересчет массовых долей в объемные:

$$\varphi_i = \frac{\frac{\omega_i}{\rho_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{\omega_i}{\rho_i}},$$

где: φ_i – объемная доля i-го компонента;

ω_i – массовая доля i-го компонента;

ρ_i – плотность i-го компонента;

n – количество компонентов.

- пересчет массовых долей в мольные:

$$x_i = \frac{\frac{\omega_i}{M_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{\omega_i}{M_i}},$$

где: x_i – мольная доля i-го компонента;

ω_i – массовая доля i-го компонента;

M_i – молярная масса i-го компонента;

n – количество компонентов.

Функции для расчета плотности и средней молекулярной массы потока:

- расчет плотности потока:

$$\rho = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\omega_i}{\rho_i}},$$

где: ρ – плотность потока;

ω_i – массовая доля i-го компонента;

ρ_i – плотность i-го компонента,

n – количество компонентов.

- расчет средней молекулярной массы потока:

$$m = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\omega_i}{M_i}},$$

где: m – средняя молекулярная масса потока;

ω_i – массовая доля i-го компонента;

M_i – молярная масса i -го компонента,

n – количество компонентов.

Функции для расчета теплоемкости потока:

Расчет теплоемкости потока в зависимости от состава потока и температуры среды осуществляется следующим образом:

- определяется теплоемкость компонентов потока при температуре среды:

$$Cp_i = \sum_{j=1}^5 j \cdot k[i, j] \cdot T^{j-1},$$

где: Cp_i – теплоемкость i -го компонента, кДж/кг;

$k[i, j]$ – коэффициенты аппроксимации температурной зависимости энтальпии для i -го компонента;

T – температура потока, К;

- определяется общая теплоемкость потока:

$$Cp_{см} = \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot Cp_i,$$

где: ω_i – массовая доля i -го компонента в потоке,

n – количество компонентов в потоке.

Материальный и тепловой балансы смешения:

Состав смесового потока (в массовых долях) можно найти следующим образом:

$$\omega_i = \frac{\sum_{j=1}^n G_j \cdot \omega_{i,j}}{\sum_{j=1}^n G_j},$$

где: ω_i – массовая доля i -го компонента;

G_j – массовый расход j -го потока, кг/ч;

$\omega_{i,j}$ – массовая доля i -го компонента в j -м потоке;

n – количество смешиваемых потоков.

Теплоемкость смесового потока можно найти:

$$C_p = \frac{\sum_{i=1}^n G_i \cdot C_{p_i}}{\sum_{i=1}^n G_i},$$

где: C_p – теплоемкость смешиваемых потоков, кДж/кг·К;

G_i – массовый расход i -го потока, кг/ч;

C_{p_i} – теплоемкость i -го потока, кДж/кг·К;

n – количество смешиваемых потоков.

Температура смешиваемых потоков определяется следующим образом:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n G_i \cdot C_{p_i} \cdot T_i}{G \cdot C_p},$$

где: T – температура смешиваемых потоков, К;

G_i – массовый расход i -го потока, кг/ч;

C_{p_i} – теплоемкость i -го потока, кДж/кг·К;

n – количество смешиваемых потоков;

G – массовый расход смешиваемых потоков, кг/ч;

C_p – теплоемкость смешиваемых потоков, кДж/кг·К.

В стационарном режиме теплообменного аппарата уравнения теплового баланса примут следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dT_h}{dl} = - \frac{k \cdot \pi \cdot d}{v_h \cdot \rho_h \cdot C_{p_h}} \cdot (T_h - T_c) \\ \frac{dT_c}{dl} = \frac{k \cdot \pi \cdot d}{v_c \cdot \rho_c \cdot C_{p_c}} \cdot (T_h - T_c) \end{cases}$$

где: T_h и T_c – температуры горячего и холодного потоков, соответственно, К;

k – коэффициент теплопередачи;

d – диаметр трубы, м;

v_h и v_c – объемные скорости горячего и холодного теплоносителей, с⁻¹;

ρ_h и ρ_c – плотности горячего и холодного потоков, кг/м³;

C_{p_h} и C_{p_c} – теплоемкости горячего и холодного потоков, кДж/кг·К.

Практическая часть:

1. С использованием заранее написанных модулей UConst, URegularFunctions, UFlow, UHeatExchanger, U Mixer и USplitter была разработана программа в среде PascalABC.NET для расчета всех потоков химико-технологической системы (Рисунок 1), которая представлена в Приложении А.
2. Для всех неизвестных потоков были рассчитаны составы и свойства (расход, температура, плотность и теплоемкость). В таблице 4 представлены составы рассчитанных потоков, в таблице 5 – их свойства.

Таблица 4 – Составы потоков

Ком пон.	Потоки										
	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15
1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3	0,0706	0,0706	0,0706	0,0706	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
4	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009
6	0,0052	0,0052	0,0052	0,0052	0,0093	0,0093	0,0093	0,0093	0,0093	0,0093	0,0093
7	0,0086	0,0086	0,0086	0,0086	0,0093	0,0093	0,0093	0,0093	0,0093	0,0093	0,0093
8	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009
9	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
10	0,1156	0,1156	0,1156	0,1156	0,4651	0,4651	0,4651	0,4651	0,4651	0,4651	0,4651
11	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
12	0,1031	0,1031	0,1031	0,1031	0,2325	0,2325	0,2325	0,2325	0,2325	0,2325	0,2325
13	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009
14	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
15	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009
16	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
17	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
18	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
19	0,1732	0,1732	0,1732	0,1732	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
20	0,0388	0,0388	0,0388	0,0388	0,2325	0,2325	0,2325	0,2325	0,2325	0,2325	0,2325
21	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
22	0,4567	0,4567	0,4567	0,4567	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
23	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009
24	0,0247	0,0247	0,0247	0,0247	0,0465	0,0465	0,0465	0,0465	0,0465	0,0465	0,0465

Таблица 5 – Свойства рассчитанных потоков

Поток	Массовый расход, кг/ч	Температура, К	Плотность, г/см ³	Теплоемкость, кДж/кг
4	4723	305,68	0,20737	1,49579
5	4723	326,17	0,20737	1,58696
6	4723	343,49	0,20737	1,66203
7	4723	358,43	0,20737	1,72523
9	666,67	500,00	0,16875	1,80270
10	666,67	500,00	0,16875	1,80270
11	666,67	500,00	0,16875	1,80270
12	666,67	473,59	0,16875	1,72527
13	666,67	476,29	0,16875	1,73337
14	666,67	478,60	0,16875	1,74025
15	2000	476,17	0,16875	1,73299

3. Проведено исследования влияния технологических параметров на процесс теплообмена. Изменялся расход потока Flow 2 в интервале 2500 – 2000 кг/ч с шагом 50. Результаты расчета температуры потока Flow 7 представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты исследования влияния температуры на процесс теплообмена

Расход потока Flow 2, кг/ч	Температура Flow 7, К
2000	358.425751174219
2050	357.972281497314
2100	357.526434742959
2150	357.088020829338
2200	356.656855914034
2250	356.232762141776
2300	355.815567404227
2350	355.405105111131
2400	355.00121397223
2450	354.60373778934
2500	354.2491102733

4. По результатам таблицы построен график зависимости, показывающий влияние изменени расхода потока Flow 2 на температуру потока Flow 7 (Рисунок 2).

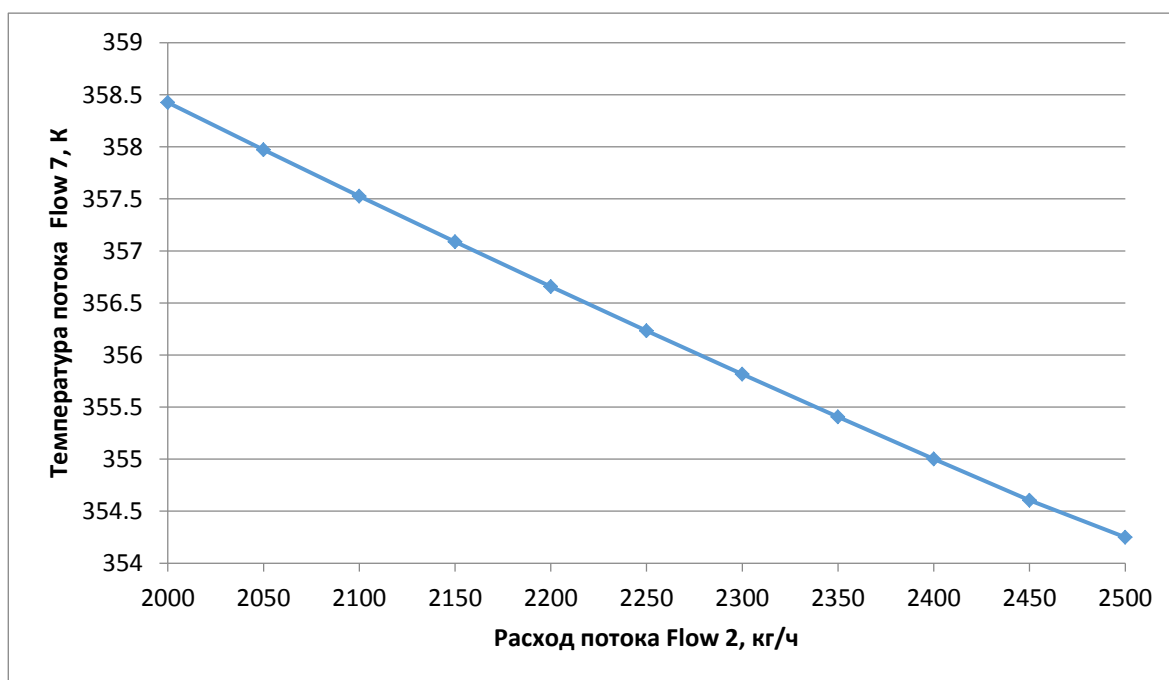


Рисунок 2 – Зависимость температуры потока Flow 7 от массового расхода потока Flow 2

Вывод:

В ходе лабораторной работы был произведен расчет химико-технологической системы, в результате которого были рассчитаны состав и свойства всех неизвестных потоков. Результаты расчета представлены в таблицах 4 и 5.

Также было проведено исследование влияния расхода входного потока Flow 2 на температуру выходного потока Flow 7. Зависимость температуры потока Flow 7 от расхода потока Flow 2 представлена на рисунке 2. По рисунку можно видеть, что с увеличением расхода Flow 2 температура Flow 7 уменьшается.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Программа расчета химико-технологической системы

```
uses UFlow, UMixer, UHeatExchanger, USplitter;
begin
varf1 := new Flow(1078,|0.0000, 0.0000, 0.0687, 0.0000, 0.0007,0.0069,
0.0069, 0.0007,
0.0000, 0.1409, 0.0000, 0.1409, 0.0007, 0.0000, 0.0007, 0.0001, 0.0001,
0.0000,
0.1409, 0.0344, 0.0000, 0.4226, 0.0007, 0.0344|, 300);
varf2 := new Flow(2000,|0.0000, 0.0000, 0.0739, 0.0000, 0.0007, 0.0074,
0.0074,
0.0007, 0.0000, 0.1515, 0.0000, 0.0758, 0.0007, 0.0000, 0.0007, 0.0001,
0.0001, 0.0000,
0.1515, 0.0370, 0.0000, 0.4546, 0.0007, 0.0370|, 305);
varf3 := new Flow(1645,|0.0000, 0.0000, 0.0678, 0.0000, 0.0005, 0.0014,
0.0112, 0.0006,
0.0000, 0.0554, 0.0000, 0.1115, 0.0002, 0.0000, 0.0010, 0.0000, 0.0001,
0.0000, 0.2208,
0.0438, 0.0000, 0.4816, 0.0009, 0.0033|, 310);
varM1 := new Mixer;
varf4 := M1.calculate(Arr(f1,f2,f3));
varf8 := new Flow(2000,|0.0000,0.0000,0.0000,0.0000,0.0009,0.0093,0.0093,
0.0009,0.0000,0.4650,0.0000,0.2325,0.0009,0.0000,
0.0009,0.0001,0.0001,0.0000,0.0000,0.2325,0.0000,
0.0000,0.0009,0.0465|, 500);
varSp1 := new Splitter(Arr(0.333, 0.333, 0.333));
varflows := Sp1.calculate(f8);
var(f9, f10, f11) := (flows[0], flows[1], flows[2]);
varhe1 := new HeatExchanger;
var(f5,f12) := he1.calculate(f4,f9);
varhe2 := new HeatExchanger;
var(f6,f13) := he1.calculate(f5,f10);
varhe3 := new HeatExchanger;
var(f7,f14) := he1.calculate(f6,f11);
varM2 := new Mixer;
varf15 := M1.calculate(Arr(f12,f13,f14));
writeln('Результаты расчетов')
writeln('Массовый расход 4 потока');
f4.mass_flow_rate.Println;
writeln('Температура 4 потока');
f4.temperature.Println;
writeln('Покомпонентныйсостав 4 потока');
f4.mass_fractions.Println;
writeln('Плотность 4 потока');
f4.density.Println;
writeln('Теплоемкость 4 потока');
f4.heat_capacity.Println;
writeln('//////////////////////////////////////////');
writeln('Массовый расход 5 потока');
f5.mass_flow_rate.Println;
writeln('Температура 5 потока');
f5.temperature.Println;
writeln('Покомпонентныйсостав 5 потока');
f5.mass_fractions.Println;
writeln('Плотность 5 потока');
f5.density.Println;
writeln('Теплоемкость 5 потока');
f5.heat_capacity.Println;
```

Продолжение приложения А

```
writeln('////////////////////////////////////////');
writeln('Массовый расход 6 потока');
f6.mass_flow_rate.Println;
writeln('Температура 6 потока');
f6.temperature.Println;
writeln('Покомпонентныйсостав 6 потока');
f6.mass_fractions.Println;
writeln('Плотность 6 потока');
f6.density.Println;
writeln('Теплоемкость 6 потока');
f6.heat_capacity.Println;
writeln('////////////////////////////////////////');
writeln('Массовый расход 7 потока');
f7.mass_flow_rate.Println;
writeln('Температура 7 потока');
f7.temperature.Println;
writeln('Покомпонентныйсостав 7 потока');
f7.mass_fractions.Println;
writeln('Плотность 7 потока');
f7.density.Println;
writeln('Теплоемкость 7 потока');
f7.heat_capacity.Println;
writeln('////////////////////////////////////////');
writeln('Массовый расход 9 потока');
f9.mass_flow_rate.Println;
writeln('Температура 9 потока');
f9.temperature.Println;
writeln('Покомпонентныйсостав 9 потока');
f9.mass_fractions.Println;
writeln('Плотность 9 потока');
f9.density.Println;
writeln('Теплоемкость 9 потока');
f9.heat_capacity.Println;
writeln('////////////////////////////////////////');
writeln('Массовый расход 10 потока');
f10.mass_flow_rate.Println;
writeln('Температура 10 потока');
f10.temperature.Println;
writeln('Покомпонентныйсостав 10 потока');
f10.mass_fractions.Println;
writeln('Плотность 10 потока');
f10.density.Println;
writeln('Теплоемкость 10 потока');
f10.heat_capacity.Println;
writeln('////////////////////////////////////////');
writeln('Массовый расход 11 потока');
f11.mass_flow_rate.Println;
writeln('Температура 11 потока');
f11.temperature.Println;
writeln('Покомпонентныйсостав 11 потока');
f11.mass_fractions.Println;
writeln('Плотность 11 потока');
f11.density.Println;
writeln('Теплоемкость 11 потока');
f11.heat_capacity.Println;
writeln('////////////////////////////////////////');
writeln('Массовый расход 12 потока');
f12.mass_flow_rate.Println;
writeln('Температура 12 потока');
f12.temperature.Println;
writeln('Покомпонентныйсостав 12 потока');
```

Окончание приложения А

```
f12.mass_fractions.Println;
writeln('Плотность 12 потока');
f12.density.Println;
writeln('Теплоемкость 12 потока');
f12.heat_capacity.Println;
writeln('////////////////////////////////////////');
writeln('Массовый расход 13 потока');
f13.mass_flow_rate.Println;
writeln('Температура 13 потока');
f13.temperature.Println;
writeln('Покомпонентныйсостав 13 потока');
f13.mass_fractions.Println;
writeln('Плотность 13 потока');
f13.density.Println;
writeln('Теплоемкость 13 потока');
f13.heat_capacity.Println;
writeln('////////////////////////////////////////');
writeln('Массовый расход 14 потока');
f14.mass_flow_rate.Println;
writeln('Температура 14 потока');
f14.temperature.Println;
writeln('Покомпонентныйсостав 14 потока');
f14.mass_fractions.Println;
writeln('Плотность 14 потока');
f14.density.Println;
writeln('Теплоемкость 14 потока');
f14.heat_capacity.Println;
writeln('////////////////////////////////////////');
writeln('Массовый расход 15 потока');
f15.mass_flow_rate.Println;
writeln('Температура 15 потока');
f15.temperature.Println;
writeln('Покомпонентныйсостав 15 потока');
f15.mass_fractions.Println;
writeln('Плотность 15 потока');
f15.density.Println;
writeln('Теплоемкость 15 потока');
f15.heat_capacity.Println;

end.
```