**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 ХХ** |
| 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.** |  |  |

Томск – 2021 г.

**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 |

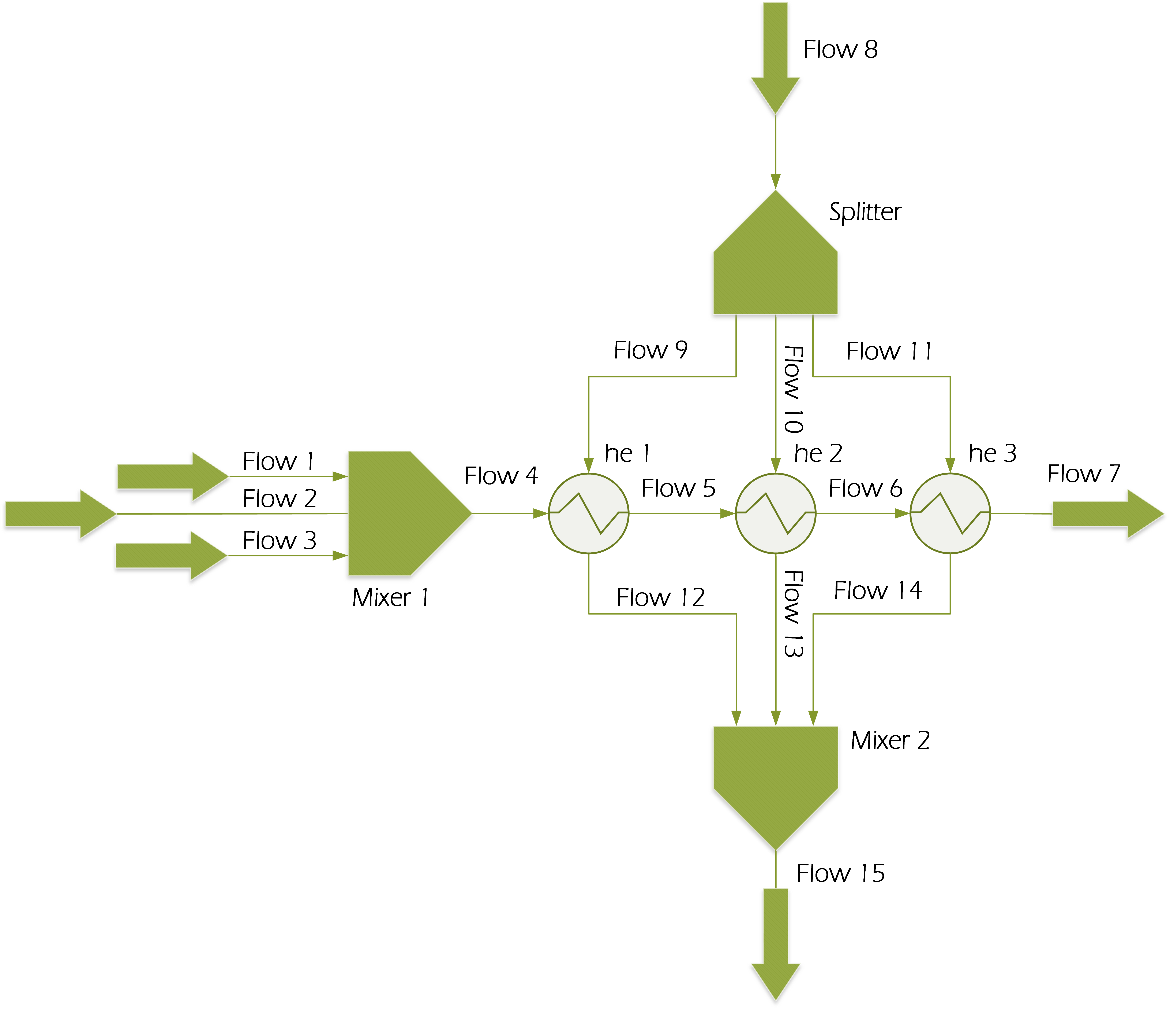


Рисунок 1 – Схема химико-технологической системы

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:

,

где:– объемная доля i-го компонента;

– массовая доля i-го компонента;

– плотность i-го компонента;

n – количество компонентов.

* пересчет массовых долей в мольные:

,

где:– мольная доля i-го компонента;

– массовая доля i-го компонента;

– молярная масса i-го компонента;

n – количество компонентов.

Функции для расчета плотности и средней молекулярной массы потока:

* расчет плотности потока:

,

где:– плотность потока;

– массовая доля i-го компонента;

– плотность i-го компонента,

n – количество компонентов.

* расчет средней молекулярной массы потока:

,

где: – средняя молекулярная масса потока;

– массовая доля i-го компонента;

– 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:

,

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

– коэффициенты аппроксимации температурной зависимости энтальпии для i-го компонента;

– температура потока, К;

* определяется общая теплоемкость потока:

,

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

– количество компонентов в потоке.

**Материальный и тепловой балансы смешения:**

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

,

где:– массовая доля i-го компонента;

– массовый расход j-го потока, кг/ч;

– массовая доля i-го компонента в j-м потоке;

n – количество смешиваемых потоков.

Теплоемкость смесевого потока можно найти:

,

где:– теплоемкость смесевого потока, кДж/кг·К;

– массовый расход i-го потока, кг/ч;

– теплоемкость i-го потока, кДж/кг·К;

n – количество смешиваемых потоков.

Температура смесевого потока определяется следующим образом:

,

где:– температура смесевого потока, К;

– массовый расход i-го потока, кг/ч;

– теплоемкость i-го потока, кДж/кг·К;

n – количество смешиваемых потоков;

– массовый расход смесевого потока, кг/ч;

– теплоемкость смесевого потока, кДж/кг·К.

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

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

– коэффициент теплопередачи;

– диаметр трубы, м;

и – объемные скорости горячего и холодного теплоносителей, с-1;

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

и – теплоемкости горячего и холодного потоков, кДж/кг·К.

**Практическая часть:**

1. С использованием заранее написанных модулей UConst, URegularFunctions, UFlow, UHeatExchanger, UMixer и USplitter была разработана программа в среде PascalABC.NETдля 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

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Компон. | 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/см3 | 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 |

1. 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 |

1. 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**

**var**f1 := **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);

**var**f2 := **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);

**var**f3 := **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);

**var**M1 := **new** Mixer;

**var**f4 := M1.calculate(Arr(f1,f2,f3));

**var**f8 := **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);

**var**Sp1 := **new** Splitter(Arr(0.333, 0.333, 0.333));

**var**flows := Sp1.calculate(f8);

**var**(f9, f10, f11) := (flows[0], flows[1], flows[2]);

**var**he1 := **new** HeatExchanger;

**var**(f5,f12) := he1.calculate(f4,f9);

**var**he2 := **new** HeatExchanger;

**var**(f6,f13) := he1.calculate(f5,f10);

**var**he3 := **new** HeatExchanger;

**var**(f7,f14) := he1.calculate(f6,f11);

**var**M2 := **new** Mixer;

**var**f15 := 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**.