

## 2. Лабораторная работа №2 (4 балла)

### 1. Циклы

### 2. Пользовательские функции (методы классов)

**Примечание:** Программу можно выполнить в виде консольного или оконного приложения.

#### Вариант 2 – 1

Безразмерная температура  $T_r$  рассчитывается по формуле  $T_r = T/T_c$ , где  $T$  – температура, К,  $T_c$  – критическая температура, К. Рассчитать  $T_r$  для  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  в интервале температур 100 – 200°C с шагом 2.5 градусов, если  $T_c=132,9\text{K}$ ; 304,2K; 190,6K соответственно.

- Оформить расчёт в виде функции.
- Входные параметры:  $T(^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{K})$ ,  $T_c(\text{K})$ , названия веществ
- Названия веществ передавать как публичные свойства.
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string.

#### Вариант 2 – 2

Коэффициент сжимаемости  $Z$  рассчитывается по формуле  $Z=Z^{(0)} + \omega Z^{(1)}$ . ( $\omega$  – фактор ацентричности).

Pr \ Tr	Значения $Z^{(0)}$ :			Значения $Z^{(1)}$ :		
	1.5	2.0	3.0	1.5	2.0	3.0
2.0	0.9664	0.9599	0.9550	0.1133	0.1476	0.2069
3.0	1.0101	1.0153	1.0284	0.0828	0.1076	0.1529

Рассчитать коэффициент сжимаемости для  $\text{CO}$  в заданном интервале температур (2,0 – 3,0) и давлений (1,5 – 3,0), если его фактор ацентричности  $\omega = 0,049$ .

Рассчитать также реальные температуры и давления  $T$ ,  $P$ , соответственно, учитывая  $T_r=T/T_c$  и  $P_r=P/P_c$ . Критические температура ( $T_c$ ) и давление ( $P_c$ ) для  $\text{CO}$  равны 132.9K, 34.5 атм. соответственно.

- Оформить расчёт в виде функции.
- **Входные параметры:**  $T_r$ ,  $P_r$ , названия веществ.
- **Выходные параметры:** массивы  $T$ ,  $P$ ,  $Z(T,P)$
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string
- Названия веществ передавать как публичные свойства.

#### Вариант 2 – 3

Для смеси газов критический объём  $V_{c_m}$  рассчитывается по формуле Ли – Кесслера:

$$V_{c_m} = 1/8 \sum_i \sum_j y_i y_j (V_{c_i}^{1/3} + V_{c_j}^{1/3})^3$$

Рассчитать критические объёмы смеси  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  для заданного состава смеси (см. таблицу)

	$V_{c_i}$ , см <sup>3</sup> /моль	$\omega$	$T_c$ , К	$P_c$ , атм	Состав смеси (мольн. доли)
CO	93.1	0.049	132.9	34.5	0.1
CO <sub>2</sub>	94.0	0.225	304.2	72.8	0.4
CH <sub>4</sub>	99.0	0.008	190.6	45.4	0.5

Рассчитать критические объёмы индивидуальных веществ по формуле:

$$V_{c_i} = (0.2905 - 0.085\omega_i)RT_{c_i} / P_{c_i} \text{ и сравнить их с заданными в таблице.}$$

$V_{c_i}$  – критический объём индивидуальных компонентов, см<sup>3</sup>/моль.

$T_{c_i}$  – критическая температура, К.

$P_{c_i}$  – критическое давление, атм.

$\omega$  – фактор ацентричности.

$R$  – универсальная газовая постоянная = 82,04, (когда  $P$  в атм.)

$y_i$  – мольная доля  $i$ -го вещества

- Оформить расчёт в виде функции.
- **Входные параметры:**  $V_{c_i}$ ,  $V_{c_j}$ , названия веществ.
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

## Вариант 2 – 4

Для смеси нормальных газов критическая температура  $T_{cm}$  рассчитывается по формуле:  $T_{cm} = \sum_j y_j T_{c_j}$ .

Рассчитать критические температуры ( $T_{cm_{ij}}$ ) бинарных смесей CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>. (т.е. смесей CO – CO<sub>2</sub>, CO – CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub> – CH<sub>4</sub>) Критические температуры индивидуальных компонентов равны соответственно:  $T_{c_i} = 132,9\text{K}$ ;  $304,2\text{K}$ ;  $190,6\text{K}$ .

Произвести расчёт для данных бинарных смесей при мольных долях компонентов  $y_j = 0.3$  и  $y_i = 0.7$ ;

Проверить, выполняются ли соотношение  $0,5 < T_{c_i}/T_{c_j} < 2$

- Оформить расчёт в виде функции.
- **Входные параметры:**  $T_{c_i}$ ,  $T_{c_j}$ ,  $y_j$ , названия веществ
- Названия веществ передавать как публичные свойства.
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

## Вариант 2 – 5

Для смеси газов критический фактор сжимаемости  $Z_{cm}$  рассчитывается по формуле:

$$Z_{cm} = 0.291 - 0.08\omega_m. \text{ Где фактор ацентричности смеси } \omega_m = \sum_j y_j \omega_j$$

Рассчитать критические факторы сжимаемости бинарных смесей CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> если факторы ацентричности компонентов  $\omega_j = 0,049$ ;  $0,225$ ;  $0,008$  соответственно.

Произвести расчёт для бинарных смесей (т.е. смесей CO – CO<sub>2</sub>, CO – CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub> – CH<sub>4</sub>) при мольных долях обоих компонентов  $y_j = 0.5$ ;

- Оформить расчёт в виде функции.
- Входные параметры:  $\omega_j$ ,  $y_j$ , названия веществ.
- Названия веществ передавать как публичные свойства.
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

## Вариант 2 – 6

Теплоёмкость газовой смеси в идеальном газе состоянии рассчитывается как:  $Cp_m^0 = \sum_i y_i Cp_i^0$ . Рас-

считать теплоёмкость газовой смеси CO + CO<sub>2</sub> в интервале температур 100 – 200°C с шагом 5°C для мольных долей  $y_{CO} = 0.1, 0.25, 0.5$ . Индивидуальные теплоёмкости  $Cp_i^0 = A + BT + CT^2 + DT^3$ . T – температура, K. Коэффициенты даны в таблице ниже. Сумма мольных долей  $y_{CO} + y_{CO_2} = 1$

	A	B	C	D
CO	7.373	$-0.307 \cdot 10^{-2}$	$6.662 \cdot 10^{-6}$	$-3.3037 \cdot 10^{-9}$
CO <sub>2</sub>	4.728	$1.754 \cdot 10^{-2}$	$-1.338 \cdot 10^{-5}$	$4.097 \cdot 10^{-9}$

- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

## Вариант 2 – 7

Рассчитать давление паров ацетона  $P_{vp}$  при температурах 273,4 – 373,4K с шагом 5 K используя урав-

нение Антуана:  $\ln P_{vp} = A - \frac{B}{T + C}$  мм. рт. ст.

$A = 16.6513$ ;  $B = 2940.46$ ;  $C = -35.93$ .

**Прим.** Экспериментальное значение при 273,4K равно 71,2 мм. рт. ст.

- Оформить расчёт в виде функции. В зависимости от заданного пользователем входного флага обеспечить вывод давления паров в мм.рт.ст, Па или атм.
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

### Вариант 2 – 8

Уравнение Риделя-Планка-Миллера для давления паров этилбензола имеет вид:

$$\ln(P_{Vpr}) = -\frac{3.720}{T_r} * [1 - Tr^2 + 0.544(3 + Tr)(1 - Tr)^3].$$
 Принимая во внимание, что безразмерная температура

$Tr = T(K)/T_c(K)$ , критическая температура  $T_c = 617.1K$ ,  $P_{Vpr} = P_{vp}/P_c$ , где  $P_c = 35.6$  атм. найти давления паров этилбензола в интервале температур 50 – 200°C с шагом 10°C .

Проверить точность расчётов при  $t = 74.1^\circ C$  и  $186,8^\circ C$ , если экспериментальные значения равны 100 и 2494 мм. рт.ст., соответственно.

- Названия вещества передавать как глобальный параметр.
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

### Вариант 2 – 9

Используя корреляцию Питцера и др. рассчитать теплоты парообразования  $\Delta H_v$  пропионового альдегида и н-октана в интервале температур 40-180°C с шагом 10°C. Сравнить с литературными значениями 6760 (48°C) и 7254 (171 °C) кал/моль, соответственно для альдегида и н-октана.

Вещество	$T_c, K$	$\omega$
пропионовый альдегид	496	0,313
н-октан	568,6	0,394

Корреляция Питцера записывается как:  $\Delta H_v/(RT_c) = 7.08(1 - Tr)^{0.354} + 10.95\omega(1 - Tr)^{0.456}$  где  $Tr$  – безразмерная температура ( $Tr = T(K)/T_c(K)$ ),  $T_c$  – критическая температура (K),

$R$  – универсальная газовая постоянная  $R = 1.987$  кал/моль·K,  $\omega$  – фактор ацентричности

- Обеспечить вывод  $\Delta H_v$  в Дж/моль и кал/моль в зависимости от выбора пользователя. (1 кал = 4,1868 Дж)
- Названия вещества передавать как глобальный параметр.
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

### Вариант 2 – 10

Рассчитать вязкость ( $\eta$ ) диоксида серы при низком давлении и температурах 40 – 140°C с шагом, задаваемым пользователем, используя уравнение Голубева:

$$\eta, \text{мкП} = \begin{cases} \eta_c^* T_r^{0.965} & T_r < 1 \\ \eta_c^* T_r^{0.71+0.29/T_r} & T_r > 1 \end{cases}, \text{ где } \eta_c^* - \text{вязкость при критической температуре, но низком давлении}$$

$$\eta_c^* = \frac{3.5M^{1/2}P_c^{2/3}}{T_c^{1/6}}. \text{ Здесь } M - \text{молекулярная масса (64,063 г/моль), } P_c - \text{критическое давление, (77,8 атм), } T_c -$$

критическая температура (430,8K),  $Tr$  – безразмерная температура,  $Tr = T(K)/T_c(K)$ .

- Проверить точность расчёта, если при  $t = 40^\circ C$  вязкость  $\eta = 135$  мкП
- Оформить расчёт в виде функции. Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

### Вариант 2 – 11

Рассчитать вязкость ( $\eta$ ) диоксида серы при низком давлении и температурах 40 – 140°C используя уравнение Тодоса для неполярных газов:

$$\eta \xi = 4.610 \cdot Tr^{0.618} - 2.04 \cdot e^{-0.449Tr} + 1.94 \cdot e^{-4.058Tr} + 0.1$$

где  $\xi$  – вязкость при критической температуре, но низком давлении  $\xi = \frac{T_c^{1/6}}{M^{1/2}P_c^{2/3}}$ . Здесь  $M$  – молекулярная

масса (64,063 г/моль),  $P_c$  – критическое давление, (77,8 атм),  $T_c$  – критическая температура (430,8K),  $Tr$  – безразмерная температура,  $Tr = T(K)/T_c(K)$ .

- Проверить точность расчёта, если при  $t = 40^\circ C$  вязкость  $\eta = 135$  мкП
- Оформить расчёт в виде функции.
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

## Вариант 2 – 12

Рассчитать вязкость ( $\eta_L$ , сП) жидкого н-гептана при 200 – 250°C используя корреляцию Лецу-Стила:  
 $\eta_L \xi = (\eta_L \xi)^{(0)} + \omega (\eta_L \xi)^{(1)}$ , где  
 $(\eta_L \xi)^{(0)} = 0.015174 - 0.02135 \text{Tr} + 0.0075 \text{Tr}^2$   
 $(\eta_L \xi)^{(1)} = 0.042552 - 0.07674 \text{Tr} + 0.0340 \text{Tr}^2$   
 где Tr – безразмерная температура =  $T(K)/T_c(K)$ ,  $T_c$ ,  $P_c$  – критическая температура и давление, 540,2K, 27,0 атм.,  $\omega$  – фактор ацентричности (0,351), M – молекулярная масса, 100,205 г/моль,

$$\xi = \frac{T_c^{1/6}}{M^{1/2} P_c^{2/3}}$$

- Сравнить с экспериментальным значением 0,085 сП при температуре 210 °C
- Оформить расчёт в виде функции.
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

## Вариант 2 – 13

Теплопроводность паров оксида азота при атмосферном давлении описывается формулой:  
 $\lambda \cdot 10^3 = -2.42 + 0.114 \times T - 7.95 \cdot 10^{-5} \times T^2 + 4.85 \cdot 10^{-8} \times T^3$ , Вт/(м·K). Сравнить данные расчёта по этой формуле с данными эксперимента (см. табл.) при температурах 200 – 300K

T, K	200	220	240	260	280	300
$\lambda \cdot 10^3$ , Вт/(м·K)	17,6	19,3	21,0	22,7	24,3	25,9

Теплопроводность аммиака при атмосферном давлении описывается формулой:  
 $\lambda \cdot 10^3 = -2.46 + 0.0525 \times T + 1.43 \cdot 10^{-4} \times T^2 - 0.635 \cdot 10^{-7} \times T^3$ , Вт/(м·K). Сравнить данные расчёта по этой формуле с данными эксперимента (см. табл.) при температурах 200 – 300K

T, K	200	220	240	260	280	300
$\lambda \cdot 10^3$ , Вт/(м·K)	13,25	15,33	17,50	19,74	22,05	24,44

- Оформить расчёт в виде подпрограмм.
- Обеспечить выбор пользователем расчётной функции в зависимости от вида вещества.
- **Входные данные:** массив температур, названия веществ.
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

## Вариант 2 – 14

Теплопроводность ( $\lambda$ ) жидкого метиламина рассчитывается по формуле:  
 $\lambda \cdot 10^3 = A_0 + A_1 p$ , Вт/(м·K) где  
 $A_0 = 1316 - 5.692 \cdot T + 6.83 \cdot 10^{-3} T^2$ ;  
 $A_1 = -8.89 \cdot 10^{-2} + 4.76 \cdot 10^{-3} T - 5.68 \cdot 10^{-7} T^2$ .  
 p – давление, МПа  
 Рассчитать теплопроводность для интервала температур 300 – 350K и давлений 2 – 10 МПа. Сравнить с экспериментальными значениями  $\lambda \cdot 10^3$  (см. табл.)  
 Попробовать использовать коэффициент  $8.99 \cdot 10^{-6}$  вместо  $-5.68 \cdot 10^{-7}$  при расчёте  $A_1$ .

T, K \ p, МПа	2	5	10
300	224	226	229
310	210	212	216
320	196	199	204
330	184	187	193
340	173	176	183
350	163	167	174

- Оформить расчёт в виде функции.
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

## Вариант 2 – 15

Рассчитать теплоты парообразования  $\Delta H_{vb}$  для пропионового альдегида. Для расчёта использовать методы, заданные ниже.

Сравнить их точность для расчёта при температуре кипения ( $T_b=321\text{K}$ ) с экспериментальной (6760 кал/моль).

$$\text{Метод Риделя: } \Delta H_{vb} = 1.093RT_c \left[ T_{br} \left( \frac{\ln P_c - 1}{0.930 - T_{br}} \right) \right], \text{ кал/моль}$$

$$\text{Метод Джаколонне: } \Delta H_{vb} = RT_c \Delta Z_{vb} \left[ T_{br} \left( \frac{\ln P_c}{1 - T_{br}} \right) \right], \text{ кал/моль}$$

$$\text{Метод Чена: } \Delta H_{vb} = RT_c T_{br} \frac{3.978T_{br} - 3.938 + 1.555 \ln P_c}{1.07 - T_{br}}, \text{ кал/моль}$$

$$\text{Метод Ветере } \Delta H_{vb} = RT_c T_{br} \frac{0.4343 \ln P_c - 0.68859 + 0.89584 T_{br}}{0.37691 - 0.37306 T_{br} + 0.14878 P_c^{-1} T_{br}^{-2}}, \text{ кал/моль}$$

Здесь R – универсальная газовая постоянная = 1,987 кал/(моль·K)

$T_c$  – критическая температура, (496 K)

$P_c$  – критическое давление, (47 атм)

$T_{br}$  – безразмерная температура кипения ( $T_b/T_c$ )

$\Delta Z_{vb}$  – параметр. Принять равным 1.

- Оформить расчёт в виде функции.
- Обеспечить выбор пользователем расчётной функции.
- **Входные данные:** массив температур, названия веществ, метод расчёта (опционально)
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

## Вариант 2 – 16

Теплопроводность ( $\lambda$ ) жидкого n-амилацетата рассчитывается по формуле:

$$\lambda \cdot 10^3 = A_0 + A_1 p + A_2 p^2, \text{ Вт/(м·K) где}$$

$$A_0 = 248 - 0.4695T + 2.889 \cdot 10^{-4} T^2;$$

$$A_1 = -0.669 + 4.879 \cdot 10^{-3} T - 4.86 \cdot 10^{-6} T^2.$$

$$A_2 = 2.889 \cdot 10^{-3} - 1.852 \cdot 10^{-5} T + 2.263 \cdot 10^{-8} T^2. \text{ p – давление, МПа}$$

Рассчитать теплопроводность для интервала температур 300 – 380K и давлений 0.1 – 10 МПа. Сравнить с табличными значениями  $\lambda \cdot 10^3$  (см. табл.)

$T, K \backslash p, \text{ МПа}$	0.1	5	10
300	133	135	136
320	127	129	131
340	122	124	126
360	116	118	121
380	111	113	113

- Оформить расчёт в виде функции.
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

## Вариант 2 – 17

Рассчитать давление паров этилбензола  $P_{vp}$  при температурах 273 – 473K с шагом 10 K используя уравнение

$$\text{Риделя: } \ln P_{vp} = A^+ - \frac{B^+}{T_r} + C^+ \ln T_r + D^+ T_r^6. \text{ Сравнить с экспериментом.}$$

$$A^+ = 10.353; B^+ = 10.649; C^+ = -5.136, D^+ = 0.2958;$$

Безразмерная температура  $T_r$ :  $T_r = T/T_c$ , где критическая температура  $T_c$  для этилбензола равна 617,1K.

Безразмерное давление паров  $P_{vp}$  вычисляется как  $P_{vp} = P_{vp}/P_c$ , где  $P_c = 35.6$  атм.

Экспериментальные значения  $P_{vp}$  при  $74.1^\circ\text{C} = 100$  мм. рт. ст., при  $186.8^\circ\text{C} = 2494$  мм. рт. ст

- Оформить расчёт в виде функции. В зависимости от заданного пользователем входного флага обеспечить вывод давления паров в мм. рт. ст, Па или атм.
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

## Вариант 2 – 18

Вязкость растворов сахарозы ( $\eta$ , сП) рассчитывается по уравнению:

$$\lg \eta = 22,46x - 0,114 + \frac{30-t}{91+t} (1,1 + 43,1x^{1,25}), \text{ где}$$

Где  $x = \frac{CB}{1900 - 18CB}$ ; CB – концентрация чистого сахарного раствора, определённая высушиванием (г сухого вещества/г раствора), %;  $t$  – температура, °C

Рассчитать вязкости растворов сахарозы при интервале температур 10 – 50 °C с шагом 10 °C в интервале концентраций CB = 0 – 50% с шагом 2,5%

Сравнить с экспериментальными данными и оценить погрешность вычислений:

$$t=40^\circ\text{C}; \text{CB} = 0\% \eta_{\text{эксп}} = 0,65 \text{ сП};$$

$$t=50^\circ\text{C}; \text{CB} = 50\% \eta_{\text{эксп}} = 4,94 \text{ сП};$$

$$t=30^\circ\text{C}; \text{CB} = 30\% \eta_{\text{эксп}} = 2,50 \text{ сП};$$

Примечание: Все числовые величины подставлять в формулы в тех размерностях, в которых они даны в условии!

- Оформить расчёт в виде функции.
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

## Вариант 2 – 19

Вязкость растворов сахарозы ( $\eta$ , сП) рассчитывается по уравнению:

$$\lg \eta = -1,52 + \frac{0,065 + x}{19,147T} \left( 140845 - 4,4429 \cdot 10^7 \frac{T - T_0}{T^2} \right), \text{ где}$$

Где  $x = \frac{CB}{1900 - 18CB}$ ; CB – концентрация чистого сахарного раствора, определённая высушиванием (г сухого вещества/г раствора), %;  $T$  – температура, °K,  $T_0 = 273,15$  °K

Рассчитать вязкости растворов сахарозы при интервале температур 20 – 50 °C с шагом 5 °C в интервале концентраций CB = 0 – 50% с шагом 10%

Сравнить с экспериментальными данными и оценить погрешность вычислений:

$$t=40^\circ\text{C}; \text{CB} = 0\% \eta_{\text{эксп}} = 0,65 \text{ сП};$$

$$t=50^\circ\text{C}; \text{CB} = 50\% \eta_{\text{эксп}} = 4,94 \text{ сП};$$

$$t=30^\circ\text{C}; \text{CB} = 30\% \eta_{\text{эксп}} = 2,50 \text{ сП};$$

Примечание: Все числовые величины подставлять в формулы в тех размерностях, в которых они даны в условии!

- Оформить расчёт в виде функции (метода).
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

## Вариант 2 – 20

Для расчёта массовой доли растворённой сахарозы в чистом насыщенном растворе (CX, %) предложено несколько формул (см. ниже). Определить наиболее подходящую формулу для расчёта в диапазоне температур 0 – 90 °C, если известны экспериментальные данные:

$t, ^\circ\text{C}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
CX, %	64,44	65,4	66,74	68,36	70,22	72,24	74,32	76,51	78,74	80,86

Расчётные формулы:

$$1. \text{CX} = 64,496 + 0,0659625 \cdot t + 0,224306 \cdot 10^{-2} t^2 - 0,105729 \cdot 10^{-4} t^3$$

$$2. \text{CX} = 64,496 + 0,066027 \cdot t + 0,2241304 \cdot 10^{-2} \cdot t^2 - 0,10560396 \cdot 10^{-4} \cdot t^3$$

$$3. \text{CX} = 64,4724 + 8,1564207 \cdot 10^{-2} \cdot t + 2,3034122 \cdot 10^{-4} \cdot t^{2,8} - 2,6492852 \cdot 10^{-5} \cdot t^{3,3} + 2,4826037 \cdot 10^{-8} \cdot t^{4,5}$$

$$4. \text{CX} = 64,18 + 0,1348 \cdot t + 5,31 \cdot 10^{-4} t^2$$

$$5. \text{CX} = 63,608 + 0,133 \cdot t + 7,22 \cdot 10^{-4} t^2$$

- Оформить расчёт в виде функции (метода).
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

## Вариант 2 – 21

1. Вычислить вязкость метана  $\mu$  сП (сантипуазы) по формуле:

$$\mu = \frac{A_1 + A_2 p_r + A_3 p_r^2 + A_4 p_r^3 + A_5 T_r + A_6 T_r^2}{1 + A_7 p_r + A_8 T_r + A_9 T_r^2 + A_{10} T_r^3}$$

где  $p_r = P/P_c$ ,  $T_r = T/T_c$ ,  $T_c = 190,6\text{K}$ ,  $P_c = 45,4\text{ атм}$ .

Коэффициенты  $A_i$  заданы в табл. 1. Сравнить с данными табл. 2 [ $\text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$ ] (выбрать не меньше 20 точек сравнения).

1 сантипуаз [сП] = 0,001 ньютон-сек. на кв. метр [ $\text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$ ]

Таблица 1

Coefficient	Tuned coefficient
$A_1$	-2.25711259E-02
$A_2$	-1.31338399E-04
$A_3$	3.44353097E-06
$A_4$	-4.69476607E-08
$A_5$	2.23030860E-02
$A_6$	-5.56421194E-03
$A_7$	2.90880717E-05
$A_8$	-1.90511457E+00
$A_9$	1.14082882E+00
$A_{10}$	-2.25890087E-01

Таблица 2 (1 бар =  $10^5$  Па.)

$(\mu, 10^{-6} \text{ N s m}^{-2})$											
T, K	Pressure, bar										
	1	20	30	40	46.1 <sup>a</sup>	55	60	70	80	90	100
100	157.2	160.8	162.7	164.6	165.8	167.6	168.7	170.9	173.1	175.3	177.5
105	136.5	139.6	141.3	142.9	144.0	145.4	146.2	147.8	149.5	151.1	152.7
110	121.4	124.2	125.6	127.1	128.0	129.2	130.0	131.5	132.9	134.4	135.9
115	5.3	112.5	113.8	115.0	115.8	117.0	117.7	119.1	120.4	121.8	123.2
120	5.4	101.5	102.9	104.3	105.2	106.4	107.1	108.4	109.8	111.1	112.5
130	5.8	83.5	84.8	85.8	86.6	87.6	88.2	89.4	90.6	91.8	93.0
140	6.0	69.2	70.3	71.3	72.1	73.0	73.5	74.5	75.5	76.8	78.0
150	6.3	58.1	59.1	60.3	60.6	61.5	62.0	63.0	64.0	65.2	66.3
160	6.6	49.0	49.9	50.7	51.4	52.3	52.8	53.8	54.8	55.9	56.9
170	6.9	7.4	41.5	42.7	43.5	44.5	45.0	46.2	47.3	48.4	49.5
180	7.2	7.6	8.0	34.6	35.5	37.2	38.0	39.3	40.5	41.7	42.9
200	7.8	8.2	8.5	9.0	9.8	12.2	15.8	22.0	25.5	27.7	29.6
205	8.0	8.4	8.7	9.0	9.6	11.0	12.4	16.5	21.0	24.0	26.4
210	8.1	8.5	8.7	9.0	9.6	10.4	11.2	13.6	17.4	21.0	23.5
215	8.3	8.6	8.9	9.2	9.8	10.3	10.9	12.5	15.2	18.5	21.0
220	8.5	8.8	9.0	9.4	9.9	10.4	10.8	12.0	14.0	16.3	18.8

- Оформить расчёт в виде метода.
- Обеспечить выбор пользователем расчётной функции.
- **Входные данные:** массив температур, названия веществ, метод расчёта (опционально)
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string
- Ehsan Heidaryan, Jamshid Moghadasi, Amir Salarabadi. A new and reliable model for predicting methane viscosity at high pressures and high temperatures // Journal of Natural Gas Chemistry. – 2010. – Vol.19. I.5. – P. 552-556.
- Stephan K, Lucas K, Viscosity of Dense Fluids. New York: Plenum Press, 1979

## Вариант 2 – 22

Плотность водных растворов фосфорной кислоты рассчитывается по формуле:

$$d = A_0 + A_1 W - (A_2 - A_3 W) \times t,$$

где  $d$  – плотность раствора кислоты  $\text{г}/\text{см}^3$ ,  $W$  – массовая доля  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , масс. %,  $t$  – температура  $^\circ\text{C}$ .

$A_0 = 0.68235$ ;  $A_1 = 1.20811 \times 10^{-2}$ ;  $A_2 = 1.2379 \times 10^{-3}$ ;  $A_3 = 3.7938 \times 10^{-6}$ .

Проверить точность расчёта по этой формуле, если экспериментальные данные представлены таблицей в зависимости от массовой доли  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , и температуры:

Wt. % $\text{H}_3\text{PO}_4$	Solution Temp		
	25	130	140
86.68	...	$1.6141 \pm 3$	$1.6028 \pm 23$
88.28	$1.7261 \pm 0$	$1.6324 \pm 4$	$1.6237 \pm 0$
89.58	...	$1.6479 \pm 9$	$1.6387 \pm 5$
90.63	...	$1.6594 \pm 2$	$1.6508 \pm 6$
92.97	...	$1.6894 \pm 4$	$1.6806 \pm 2$
93.82	...	$1.6992 \pm 0$	$1.6918 \pm 0$
94.38	$1.8010 \pm 3$	$1.7080 \pm 5$	$1.7000 \pm 6$
97.48	$1.8390 \pm 1$	$1.7478 \pm 1$	$1.7395 \pm 1$
98.66	$1.8522 \pm 1$	$1.7607 \pm 1$	$1.7528 \pm 1$
100.93	$1.8818 \pm 2$	$1.7908 \pm 4$	$1.7830 \pm 2$
101.60	$1.8875 \pm 18$	$1.7973 \pm 10$	$1.7890 \pm 10$

- Оформить расчёт в виде функции (метода).
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

### Вариант 2 – 23

Плотность водных растворов фосфорной кислоты рассчитывается по формуле:

$$d = A_0 + A_1W - (A_2 - A_3W) \times t,$$

где  $d$  – плотность раствора кислоты  $\text{г/см}^3$ ,  $W$  – массовая доля  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , масс. %,  $t$  – температура  $^\circ\text{C}$ .

$$A_0 = 0.68235; A_1 = 1.20811 \times 10^{-2}; A_2 = 1.2379 \times 10^{-3}; A_3 = 3.7938 \times 10^{-6}.$$

Проверить точность расчёта по этой формуле, если экспериментальные данные представлены таблицей в зависимости от массовой доли  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , и температуры:

Wt. % $\text{H}_3\text{PO}_4$	Temp., $^\circ\text{C}$ .	150	160	170
86.68	1.5940 $\pm$ 20	...	...	...
88.28	1.6146 $\pm$ 8	...	...	...
89.58	1.6301 $\pm$ 0	1.6215 $\pm$ 0	...	...
90.63	1.6420 $\pm$ 2	1.6332 $\pm$ 4	1.6249 $\pm$ 4	...
92.97	1.6724 $\pm$ 7	1.6630 $\pm$ 1	1.6544 $\pm$ 3	...
93.82	1.6821 $\pm$ 0	...	1.6653 $\pm$ 0	...
94.38	1.6911 $\pm$ 6	1.6826 $\pm$ 5	1.6737 $\pm$ 1	...
97.48	1.7308 $\pm$ 1	1.7224 $\pm$ 1	1.7145 $\pm$ 3	...
98.66	1.7446 $\pm$ 2	1.7353 $\pm$ 2	1.7270 $\pm$ 0	...
100.93	1.7752 $\pm$ 2	1.7662 $\pm$ 0	1.7571 $\pm$ 2	...
101.60	1.7807 $\pm$ 13	1.7723 $\pm$ 16	1.7643 $\pm$ 13	...

Источник: DAVID I. MacDONALD' and JAMES R. BOYACK, Density, Electrical Conductivity, and Vapor pressure of Concentrated Phosphoric Acid, JOURNAL OF CHEMICAL AND ENGINEERING DATA, VOL. 14, No. 3, JULY 1969, pp 380-384

- Оформить расчёт в виде функции (метода).
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

### Вариант 2 – 24

Удельная электропроводность водных растворов фосфорной кислоты в диапазоне 84 – 94 масс. % рассчитывается по формуле:

$$K = A_0 - A_1W - (A_2 - A_3W) \times t,$$

где  $K$  – удельная электропроводность раствора кислоты  $1/(\text{Ом} \times \text{см})$ ,  $W$  – массовая доля  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , масс. %,  $t$  – температура  $^\circ\text{C}$ .

$$A_0 = 1.01365; A_1 = 1.21548 \times 10^{-2}; A_2 = 1.5447 \times 10^{-3}; A_3 = 6.42463 \times 10^{-5}.$$

Проверить точность расчёта по этой формуле в указанном диапазоне концентраций, если экспериментальные данные представлены таблицей в зависимости от массовой доли  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , и температуры:

Table III. Specific Conductivity (1/Ohm-Cm.)  
Data for Phosphoric Acid

Composition, Wt. % $\text{H}_3\text{PO}_4$	Solution Temp., $^\circ\text{C}$ .				
	130.00	140.12	150.25	160.92	170.42
85.10	0.4904	0.5299	0.5685	...	...
89.10	0.4747	0.5169	0.5589	0.6033	...
90.45	0.4702	0.5133	0.5568	0.6020	0.6411
91.42	0.4665	0.5098	0.5536	0.5996	0.6397
92.75	0.4606	0.5055	0.5495	0.5960	0.6384

Источник: DAVID I. MacDONALD' and JAMES R. BOYACK, Density, Electrical Conductivity, and Vapor pressure of Concentrated Phosphoric Acid, JOURNAL OF CHEMICAL AND ENGINEERING DATA, VOL. 14, No. 3, JULY 1969, pp 380-384

- Оформить расчёт в виде функции (метода).
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

### Вариант 2 – 25

Удельная электропроводность водных растворов фосфорной кислоты в диапазоне 95 – 99 масс. % рассчитывается по формуле:

$$K = -A_0 + A_1W - A_2W^2 - (A_3 - A_4W + A_5W^2) \times t,$$

где  $K$  – удельная электропроводность раствора кислоты  $1/(\text{Ом} \times \text{см})$ ,  $W$  – массовая доля  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , масс. %,  $t$  – температура  $^\circ\text{C}$ .

$$A_0 = 3.45285; A_1 = 7.77924 \times 10^{-2}; A_2 = 4.50762 \times 10^{-4}; A_3 = 6.24637 \times 10^{-2}; A_4 = 1.387186 \times 10^{-3}; A_5 = 7.18336 \times 10^{-6}.$$



Проверить точность расчёта по этой формуле в указанном диапазоне концентраций, если экспериментальные данные представлены таблицей в зависимости от массовой доли  $H_3PO_4$ , и температуры:

Table III. Specific Conductivity (1/Ohm-Cm.)  
Data for Phosphoric Acid

Composition, Wt. %	Solution Temp., °C.				
$H_3PO_4$	130.00	140.12	150.25	160.92	170.42
96.97	0.4369	0.4816	0.5280	0.5763	0.6184
97.96	0.4274	0.4717	0.5178	0.5664	0.6082
98.93	0.4137	0.4578	0.5029	0.5516	0.5936
99.57	0.4019	0.4461	0.4904	0.5386	0.5819
99.72	0.3986	0.4421	0.4872	0.5347	0.5774

Источник: DAVID I. MacDONALD' and JAMES R. BOYACK, Density, Electrical Conductivity, and Vapor pressure of Concentrated Phosphoric Acid, JOURNAL OF CHEMICAL AND ENGINEERING DATA, VOL. 14, No. 3, JULY 1969, pp 380-384

- Оформить расчёт в виде функции (метода).
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

### Вариант 2 – 26

Давление паров ( $P_{vp}$ , кПа) 1-пентанола рассчитывается по формуле Антуана:  $\ln(P_{vp}) = A - B/(T + C)$  в интервале температур  $T = 318.15 - 403.15K$ , где  $A=14.9571$ ,  $B=3231.225$ ,  $C=-98.138$ . Сравнить её точность с формулой Вагнера:  $\ln(P_{vp,r}) = (1/T_r)(a\tau + b\tau^{1.5} + c\tau^{2.5} + d\tau^5)$ , где  $P_{vp,r}=P_{vp}/P_c$ ,  $T_r = T/T_c$ ,  $P_c= 3.897$  МПа,  $T_c = 588.1K$ ,

$\tau = 1 - T_r$ ,  $a=-11.806$ ,  $b= 12.0699$ ,  $c=-20.477$ ,  $d= 13.884$ . Экспериментальные значения даны в таблице ниже.

T, K	Pvp (кПа)	T, K	Pvp (кПа)
318.15	1.359	363.15	15.808
323.15	1.866	368.15	19.861
328.15	2.528	373.15	24.685
333.15	3.381	378.15	30.467
338.15	4.467	383.15	37.357
343.15	5.873	388.15	45.451
348.15	7.633	393.15	54.875
353.15	9.828	398.15	65.845
358.15	12.520	403.15	78.450

Источник: K. Nasirzadeh et.al., Vapor Pressure Determination of the Aliphatic C5 to C8 1-Alcohols, J. Chem. Eng. Data 2006, 51, 7-10

- Оформить расчёт в виде функции (метода).
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

### Вариант 2 – 27

Рассчитать давление паров н-бутанола  $P_{vp}$  при температурах  $10 - 140^\circ C$  с шагом  $2,5^\circ C$ , используя

уравнение Риделя:  $\ln P_{vp,r} = A^+ - \frac{B^+}{T_r} + C^+ \ln T_r + D^+ T_r^6$ . Сравнить с экспериментом.

Коэффициенты уравнения Риделя вычисляются следующим образом:

$A^+ = -35Q$ ;  $B^+ = -36Q$ ;  $C^+ = 42Q + \alpha_c$ ,  $D^+ = -Q$ ;

Где  $Q = 0,0838 (3,758 - \alpha_c)$

$$\alpha_c = \frac{0,315\psi_b + \ln(P_c)}{0,0838\psi_b - \ln(T_{br})}; \quad \psi_b = -35 + \frac{36}{T_{br}} + 42\ln(T_{br}) - T_{br}^6$$

Температура кипения при нормальном давлении  $T_b = 390,9K$ . ( $T_{br}$  – безразмерная температура кипения =  $T_b/T_c$ )

Безразмерная температура  $T_r$ :  $T_r = T/T_c$ , где критическая температура  $T_c$  для н-бутанола равна 562,9K. Безразмерное давление паров  $P_{vp,r}$  вычисляется как  $P_{vp,r} = P_{vp}/P_c$ , где  $P_c = 43,6$  атм.

Экспериментальные значения  $P_{vp}$ , мм.рт.ст приведены в таблице (Источник: Бобылёв В. Н. Физические свойства наиболее известных химических веществ: Справочное пособие /РХТУ им. Д. И. Менделеева. –М., 2003):

10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C	90°C	100°C	110°C	120°C	130°C	140°C
1,8	4,5	10,7	18,6	33,1	59	100,6	163,6	255,6	387	572	830,7	1150,2	1518,9

- Оформить расчёт в виде функции (метода).

- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

### Вариант 2 – 28

1. Рассчитать зависимость вязкости  $\eta$ , мПа×с жидкого масла PAG3 от температуры  $T$  и давления  $p$  по уравнению VFT (Vogel – Fulcher – Tammann) (3).

$$\eta = \exp(a_1 + a_2p + (a_3 + a_4p + a_5p^2)/(T - T_0)) \quad (3)$$

Параметры уравнения (3) заданы в таблице:

a <sub>1</sub>	-1,528	a <sub>3</sub>	763,67999	a <sub>5</sub>	-0,00261
a <sub>2</sub>	0,00153	a <sub>4</sub>	2,30351	T <sub>0</sub>	175,93506

Сравнить полученные расчётные значения с экспериментальными, заданными в таблице ниже.

Экспериментальные значения вязкости масла PAG3, мПа×с

p/МПа	T/К				
	303.15	313.15	333.15	353.15	373.15
0.1	87.83	57.07	28.14	16.05	10.39
1	89.36	58.01	28.55	16.27	10.52
5	96.46	62.34	30.44	17.25	11.13
10	106.08	68.16	32.95	18.55	11.92
20	128.11	81.30	38.51	21.37	13.61
30	154.42	96.66	44.83	24.52	15.47
40	185.76	114.55	52.00	28.01	17.49
50	223.04	135.32	60.09	31.86	19.67
60	267.28	159.34	69.17	36.09	22.02

- Оформить расчёт в виде функции (метода).
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

Paredes, X., Fandiño, O., Pensado, A. S., Comuñas, M. J. P., & Fernández, J., Pressure–Viscosity Coefficients for Polyalkylene Glycol Oils and Other Ester or Ionic Lubricants. Tribology Letters, 45(1),2011, 89–100. doi:10.1007/s11249-011-9861-z

### Вариант 2 – 29

1. Рассчитать зависимость вязкости  $\eta$ , мПа×с жидкого масла PAG3 от температуры  $T$  и давления  $p$  по уравнению VFT (Vogel – Fulcher – Tammann)(4-6).

$$\eta = \exp(b_1 + b_2p + D_A T_0(p)/(T - T_0(p))) \quad (4)$$

$$T_0(p) = c_1 + c_2p + c_3p^2 \quad (5)$$

Параметры уравнений (4-5) заданы в таблице:

b <sub>1</sub>	-1,64587	c <sub>1</sub>	172,12865
b <sub>2</sub>	0,00626	c <sub>2</sub>	0,16221
b <sub>3</sub> =D <sub>A</sub>	4,6575	c <sub>3</sub>	-0,00038

Сравнить полученные расчётные значения с экспериментальными, заданными в таблице ниже.

Экспериментальные значения вязкости масла PAG3, мПа×с

p/МПа	T/К				
	303.15	313.15	333.15	353.15	373.15
0.1	87.83	57.07	28.14	16.05	10.39
1	89.36	58.01	28.55	16.27	10.52
5	96.46	62.34	30.44	17.25	11.13
10	106.08	68.16	32.95	18.55	11.92
20	128.11	81.30	38.51	21.37	13.61
30	154.42	96.66	44.83	24.52	15.47
40	185.76	114.55	52.00	28.01	17.49
50	223.04	135.32	60.09	31.86	19.67
60	267.28	159.34	69.17	36.09	22.02

- Оформить расчёт в виде функции (метода).
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

### Вариант 2 – 30

1. Рассчитать зависимость плотности  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup> масла PAG3 от температуры  $T$ , К и давления  $p$ , МПа по уравнению Тейта:

$$\rho(p, T) = \frac{A_0 + A_1 T + A_2 T^2}{1 - C \ln \left( \frac{B_0 + B_1 T + B_2 T^2 + p}{B_0 + B_1 T + B_2 T^2 + p_{ref}} \right)}$$

$A_0$	1232.7	$B_0$	452.16
$A_1$	-0.8404	$B_1$	-1.5087
$A_2$	$0.1143 \cdot 10^{-3}$	$B_2$	$1.4034 \cdot 10^{-3}$
$C$	0.08365	$P_{ref}$	1 МПа

Сравнить полученные расчётные значения с экспериментальными, заданными в таблице ниже.  
Экспериментальные значения плотности масла PAG3, кг/м<sup>3</sup>.

$p/\text{МПа}$	$T/\text{К}$				
	298.15	323.15	348.15	373.15	398.15
0.1	991.7	972.4	953.2	934.4	
0.3					915.4
1	992.3	973.1	953.9	935.1	916.2
5	994.8	976.0	957.1	938.6	920.2
10	998.0	979.4	961.0	942.9	925.0
20	1003.9	986.0	968.3	951.0	933.9
30	1009.5	992.2	975.2	958.4	942.0
40	1014.9	998.0	981.5	965.3	949.5
50	1019.9	1003.5	987.5	971.8	956.5
60	1024.8	1008.7	993.1	977.9	963.1

- Оформить расчёт в виде функции (метода).
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

Paredes, X., Fandiño, O., Pensado, A. S., Comuñas, M. J. P., & Fernández, J., Pressure–Viscosity Coefficients for Polyalkylene Glycol Oils and Other Ester or Ionic Lubricants. Tribology Letters, 45(1),2011, 89–100. doi:10.1007/s11249-011-9861-z

### Вариант 2 – 31

Вычислить плотность этилового спирта ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) и бензола ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) по методу Гольдгаммера в диапазоне температур 10 – 70°C с шагом 2,5 °C и оценить относительную погрешность расчёта, сравнив с табличными данными.

Плотность жидкости по методу Гольдгаммера (Голдхаммера) рассчитывается по формуле:

$$\rho = \rho_{\text{п}} + \rho_{\text{п}}(1 - \text{Tr})^{0.3} \text{ (г/см}^3\text{)}$$

где  $\lg(\rho_{\text{п}}/\rho_{\text{пк}}) = 5(\text{Tr} - 1)$  (Примечание. Возможно здесь  $\ln$ . На расчёт влияет слабо в силу малости величины)

$\rho_{\text{пк}} = M/(82.06T_{\text{с}})$  – плотность паров при температуре кипения (г/см<sup>3</sup>).

$\text{Tr} = T/T_{\text{с}}$  – безразмерная температура.

$$\rho_{\text{п}} = 1$$

Критические температуры этилового спирта и бензола  $T_{\text{с}} = 516,2$  и  $562,1\text{К}$  соответственно.

Молярная масса этилового спирта и бензола  $M = 46,069$  и  $78,114$  г/моль соответственно.

**Плотность этилового спирта и бензола, г/см<sup>3</sup>**

	10°C	20°C	25°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C	80°C
Этиловый	0.7979	0.7895	–	0.7810	0,7722	0,7633	0,7541	0,7446	0,7348

спирт									
Бензол	0.8896	0.8790	0.8737	0.8684	0.8576	0.8468	0.8358	0.8248	0.8137

Татевский В.М., Физико-химические свойства индивидуальных углеводородов, М.– 1960 стр. 91

Столяров Е.А., Орлова Н.Г., Расчёт физико-химических свойств жидкостей, Л.–1976, стр. 17.

Бобылёв В. Н. Физические свойства наиболее известных химических веществ: Справочное пособие /РХТУ им. Д. И. Менделеева. –М., 2003)

- Оформить расчёт в виде функции (метода).
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string

## Вариант 2 – 32

Вычислить плотность ряда веществ по методу Эйкмана при 20°С. Формула метода Эйкмана:

$$\rho = (n_D^2 - 1)/[C(n_D + 0.4)], \text{ (г/см}^3\text{) где } C=0.6.$$

$n_D$  – коэффициент преломления.

Вычислить относительные погрешности для каждого вещества.

Вещество	Метанол	Этанол	Ацетон	Толуол	Бромбензол	Гексан
$n_D$	1,3288	1,3611	1,3591	1,4969	1,5601	1,3751
$\rho_{\text{табл}}, \text{ г/см}^3$	0,7915	0,7893	0,7905	0,8670	1,4948	0,6595

Столяров Е.А., Орлова Н.Г., Расчёт физико-химических свойств жидкостей, Л.–1976, стр. 18.

Краткий справочник физико-химических величин, – Спб, 2003.

- Оформить расчёт в виде функции (метода).
- Обеспечить вывод информации о версии программы и дате её изменения с использованием констант (переменных) типа string