

# Плотность смеси сжиженных углеводородных газов

$$\rho = \frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{x_i}{\rho_i}}$$

где  $x_i$  – доля  $i$ -компонента в %,

$\rho_i$  – плотность  $i$ -компонента при заданной температуре,

$n$  – количество компонентов в смеси

# Таблица плотностей ГОСТ 28656-90

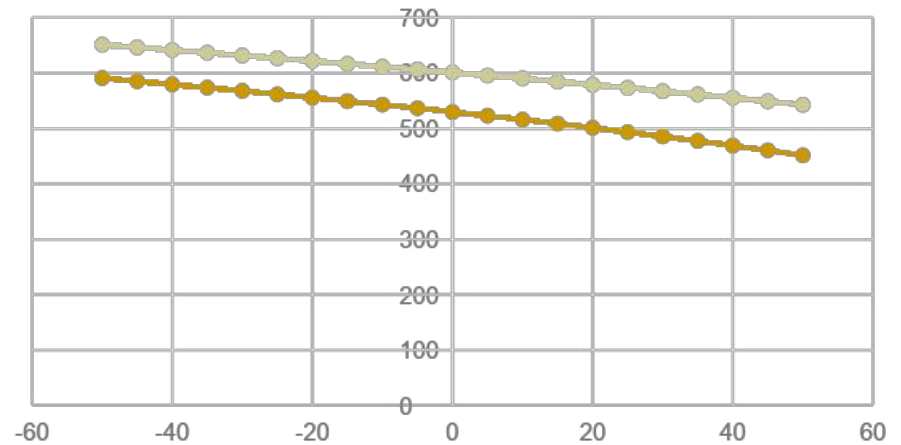
Плотность углеводородов в жидком состоянии

Температура, °С	Плотность, кг/м³													
	Этан	Пропан	Пропен	Изобутан	н-Бутан	Бутен-1	Изобутен	Транс-бутен-2	цис-бутен-2	Бута-диен-1,3	2,2-Диметилпропан	Изопентан	н-Пентан	Пентен-1
-50	496,1	590,9	611,4	635,2	651,1	673,2	673,3	681,4	699,4	701,4	661,4	688,0	691,9	707,7
-45	488,8	585,2	605,2	630,0	646,4	668,0	667,8	676,0	694,0	696,0	656,7	683,4	687,4	703,2
-40	481,0	579,4	598,9	624,7	641,5	662,7	662,4	670,5	688,5	690,5	652,0	678,7	682,8	698,8
-35	473,1	573,7	592,6	619,5	636,7	657,3	657,0	650,5	683,0	685,0	647,2	673,9	678,2	694,2
-30	464,9	567,7	586,3	614,1	631,7	651,9	651,5	659,6	677,6	679,4	642,4	669,2	673,5	689,6
-25	456,3	561,6	579,9	608,7	626,8	646,4	646,2	654,2	672,2	673,8	637,5	664,5	669,0	684,9
-20	447,3	555,5	573,5	603,3	621,8	640,9	640,5	648,7	666,7	668,3	632,6	659,7	664,3	680,2
-15	437,8	549,3	566,7	597,8	616,6	635,3	635,0	643,2	661,2	662,6	627,7	654,9	659,6	675,4
-10	427,5	542,9	559,9	592,3	611,5	629,7	629,4	637,8	655,8	656,8	622,8	650,0	654,9	670,6
-5	416,6	536,4	552,5	586,7	606,6	624,0	623,7	632,4	650,4	651,0	617,9	645,2	650,1	665,7
0	404,8	529,7	545,5	581,0	601,0	618,2	618,0	626,9	644,9	645,2	613,0	640,3	645,2	660,8
5	391,8	522,8	552,5	575,3	595,7	612,4	612,2	621,4	639,4	639,2	608,0	635,4	640,5	655,8
10	377,5	515,8	530,6	569,4	590,2	606,5	606,5	616,0	634,0	633,3	603,0	630,4	635,6	650,8
15	361,1	508,6	522,7	563,4	584,6	600,5	600,6	610,6	628,6	627,2	598,0	625,4	630,6	645,6
20	342,1	501,1	514,8	557,3	578,9	594,5	594,7	605,1	623,1	621,1	592,9	620,4	625,8	640,5
25	319,7	493,4	506,4	551,1	573,2	588,4	588,6	599,6	617,6	614,8	587,8	615,3	620,7	635,3
30	291,9	485,5	498,1	544,8	567,3	582,3	582,6	594,2	612,2	608,4	582,6	610,2	615,8	630,0
35		477,5	489,2	538,5	561,3	576,0	576,4	588,8	606,8	601,8	577,8	605,0	610,6	624,6
40		468,9	480,4	531,8	555,2	569,8	570,3	583,3	601,3	595,3	573,1	599,8	605,5	619,3
45		460,4	471,0	525,2	549,0	563,4	564,0	577,8	595,8	588,5	567,7	594,4	600,3	613,8
50		451,3	461,7	518,2	542,6	557,1	557,8	572,4	590,4	581,7	562,3	589,1	595,0	608,4

# Таблица плотностей

температура	пропан	бутан
-50	590,9	651,1
-45	585,2	646,4
-40	579,4	641,5
-35	573,7	636,7
-30	567,7	631,7
-25	561,6	626,8
-20	555,5	621,8
-15	549,3	616,6
-10	542,9	611,5
-5	536,4	606,6
0	529,7	601
5	522,8	595,7
10	515,8	590,2
15	508,6	584,6
20	501,1	578,9
25	493,4	573,2
30	485,5	567,3
35	477,5	561,3
40	468,9	555,2
45	460,4	549
50	451,3	542,6

Зависимость плотности от температуры



$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

$r - r_1$

# Задача №13

Определить плотность жидкой фазы смеси следующего компонентного состава пропан – 60%, н-бутан – 40% при температуре 16<sup>0</sup>С.

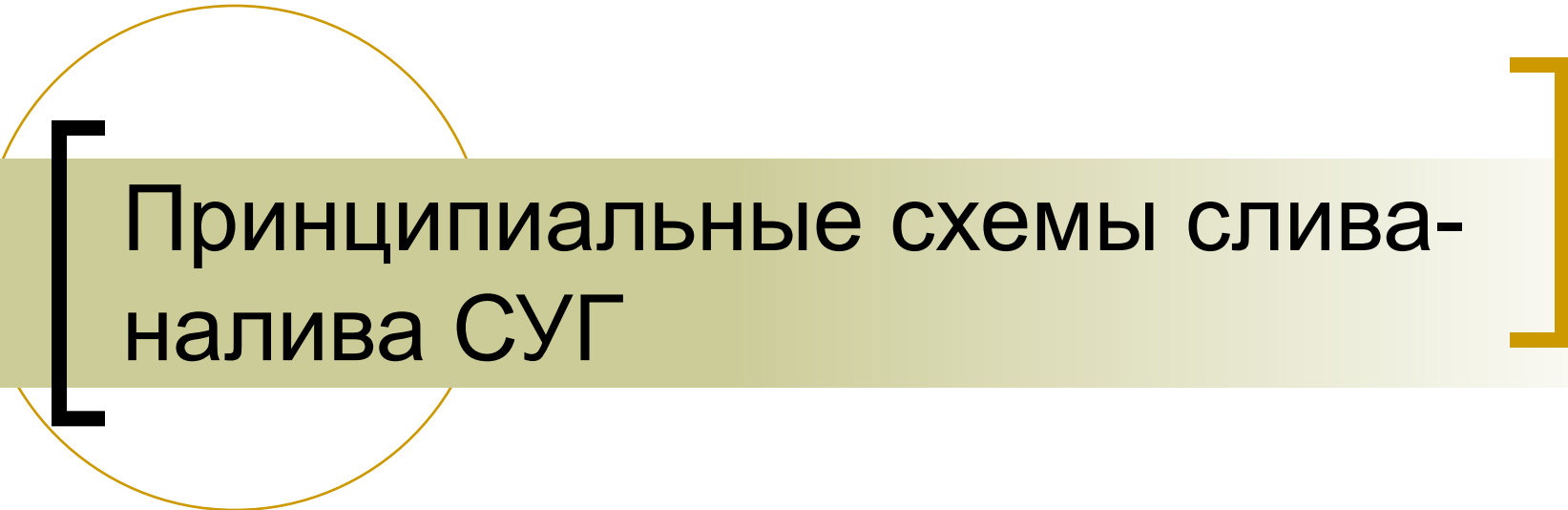
■ *Решение*

$$y = y_1 + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} (y_2 - y_1)$$

■  $\rho_{\text{п}} = 508,6 + \frac{16-15}{20-15} (501,1 - 508,6) = 507,1 \text{ кг/м}^3$

■  $\rho_{\text{б}} = 584,6 + \frac{16-15}{20-15} (578,9 - 584,6) = 583,5 \text{ кг/м}^3$

■  $\rho = \frac{100}{\frac{60}{507,1} + \frac{40}{583,5}} = 535 \text{ кг/м}^3$



# Принципиальные схемы слива-налива СУГ

# Принципиальные схемы слива-налива СУГ



## Расчет времени слива СУГ из ж.д. цистерны

- 
- Время слива жидкой фазы СУГ:

$$t_{\text{слж}} = \frac{V_{\text{ж}}}{F_{\text{сл}} \cdot \omega \cdot n \cdot 3600},$$

где  $V_{\text{ж}}$  - объем СУГ в цистерне, м<sup>3</sup>;

$F_{\text{сл}}$  - площадь поперечного сечения сливных труб, м<sup>2</sup>;

$\omega$  - скорость СУГ в сливных трубах, м/с;

$n$  - количество сливных рукавов.

## Расчет времени слива СУГ из ж.д. цистерны

- 
- Время отбора паровой фазы:

$$t_{\text{отб}} = \frac{V_{\text{ц}} \cdot n}{V_{\text{к}} \cdot \eta} \ln \frac{P_1}{P_2}$$

где  $V_{\text{ц}}$  - объём цистерны, м<sup>3</sup>;

$n$  - число цистерн под сливом;

$V_{\text{к}}$  - теоретический объём, описываемый поршнями компрессора, м<sup>3</sup>/ч;

$\eta$  - объемный коэффициент полезного действия компрессора;

$P_1$  - давление в цистерне перед началом отбора, МПа;

$P_2$  - давление в цистерне по окончании отбора, МПа.

.



# Задача №14

Рассчитать время слива СУГ из железнодорожной цистерны объемом  $83,8 \text{ м}^3$ , наполненной по требованиям промышленной безопасности, при сливе через 2 сливных вентиля с условным диаметром 32 мм и скоростью слива 3,0 м/с по каждому из них, по средствам компрессора с КПД 85% и производительностью  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$  при давлении 1,4МПа.

# Задача №14

## Решение

- $t_{\text{слж}} = \frac{83,8 \cdot 0,85}{3,14 \cdot 0,016^2 \cdot 3,0 \cdot 2 \cdot 3600} = 4,1 \text{ ч}$
- $t_{\text{отб}} = \frac{83,8}{100 \cdot 0,85} \ln \frac{1,4}{0,07} = 2,95 \text{ ч}$
- $t = t_{\text{слж}} + t_{\text{отб}} = 4,1 + 2,95 = 7,05 \text{ ч}$



# Хранение СУГ и СПГ

## Расчет времени повышения давления в сосуде при бездренажном хранении СПГ

$$t = 0,8 \frac{(\Psi M_s c_s + M_w c_w)(T_s - T_{s0})}{3600Q},$$

где  $\Psi$  – степень заполнения сосуда жидкостью;

$M_s$  - масса жидкости в сосуде, кг;

$c_s$  - теплоемкость жидкости, Дж/(кг\*К);

$M_w$  - масса стенок сосуда, кг;

$c_w$  - теплоемкость материала стенки сосуда, Дж/(кг\*К);

$T_s$  - конечная равновесная температура жидкости, К;

$T_{s0}$  - начальная равновесная температура жидкости, К;

$Q$  - тепловой поток к сосуду, Вт.

# Свойства метана

T	$p_s$	$\rho'$	$\rho''$	$h'$	$h''$	$s'$	$s''$	$c_v'$	$c_v''$
	$\delta p_s$	$\delta \rho'$	$\delta \rho''$	$\Delta h'$	$\Delta h''$	$\delta s'$	$\delta s''$	$\delta c_v'$	$\delta c_v''$
91,00	0,1216E-01	451,07	0,2600E+00	215,3	759,1	4,2353	10,2114	2,166	1,574
	0,10	0,06	0,11	0,71	0,10	0,18	0,01	3,3	0,2
95,00	0,1981E-01	445,71	0,4070E+00	228,8	766,9	4,3805	10,0442	2,141	1,580
	0,07	0,04	0,07	0,49	0,13	0,11	0,01	2,3	0,3
100,00	0,3438E-01	438,89	0,6746E+00	245,8	776,3	4,5545	9,8594	2,114	1,589
	0,05	0,02	0,06	0,30	0,15	0,07	0,01	1,5	0,3
105,00	0,5638E-01	431,92	0,1061E+01	263,0	785,4	4,7214	9,6969	2,088	1,599
	0,05	0,02	0,06	0,19	0,18	0,04	0,01	1,0	0,4
110,00	0,8813E-01	424,78	0,1598E+01	280,3	794,1	4,8817	9,5530	2,064	1,611
	0,05	0,02	0,06	0,15	0,20	0,03	0,01	0,7	0,4
115,00	0,1322E+00	417,45	0,2319E+01	297,8	802,4	5,0364	9,4241	2,041	1,624
	0,05	0,02	0,07	0,15	0,22	0,02	0,02	0,5	0,5
120,00	0,1914E+00	409,90	0,3262E+01	315,5	810,1	5,1860	9,3077	2,020	1,639
	0,05	0,02	0,07	0,16	0,23	0,02	0,02	0,4	0,5
125,00	0,2688E+00	402,11	0,4467E+01	333,5	817,3	5,3311	9,2015	1,999	1,656
	0,04	0,02	0,07	0,17	0,24	0,02	0,02	0,3	0,6
130,00	0,3673E+00	394,04	0,5980E+01	351,7	823,8	5,4723	9,1034	1,980	1,674
	0,04	0,02	0,07	0,17	0,24	0,02	0,02	0,2	0,6

# Свойства метана

135,00	0,4904E+00 0,04	385,64 0,02	0,7855E+01 0,06	370,3 0,17	829,5 0,24	5,6103 0,02	9,0118 0,02	1,962 0,2	1,694 0,8
140,00	0,6412E+00 0,04	376,87 0,02	0,1015E+02 0,07	389,3 0,16	834,4 0,24	5,7455 0,02	8,9250 0,02	1,945 0,2	1,717 0,9
145,00	0,8232E+00 0,03	367,65 0,02	0,1295E+02 0,07	408,7 0,16	838,4 0,24	5,8785 0,02	8,8418 0,02	1,931 0,2	1,743 1,0
150,00	0,1040E+01 0,03	357,90 0,02	0,1633E+02 0,07	428,7 0,15	841,3 0,24	6,0100 0,02	8,7606 0,01	1,919 0,2	1,773 1,2
155,00	0,1295E+01 0,03	347,51 0,02	0,2042E+02 0,07	449,4 0,15	843,0 0,24	6,1408 0,01	8,6800 0,01	1,909 0,2	1,807 1,3
160,00	0,1592E+01 0,03	336,31 0,02	0,2538E+02 0,08	470,9 0,14	843,2 0,25	6,2717 0,01	8,5984 0,01	1,904 0,2	1,847 1,4
165,00	0,1935E+01 0,03	324,10 0,02	0,3145E+02 0,08	493,4 0,13	841,5 0,25	6,4040 0,01	8,5138 0,01	1,903 0,2	1,896 1,4
170,00	0,2328E+01 0,02	310,50 0,02	0,3897E+02 0,08	517,3 0,13	837,6 0,26	6,5393 0,01	8,4234 0,01	1,910 0,2	1,956 1,4
175,00	0,2777E+01 0,02	294,94 0,02	0,4856E+02 0,09	543,2 0,12	830,6 0,26	6,6806 0,01	8,3230 0,01	1,927 0,3	2,033 1,4
180,00	0,3285E+01 0,02	276,23 0,02	0,6138E+02 0,09	572,0 0,12	818,9 0,26	6,8330 0,01	8,2046 0,01	1,967 0,3	2,140 1,4

# Задача №15

■ Рассчитать время, за которое давление в криогенном топливном баке, заполненным сжиженным метаном, повысится до предельного значения рабочего давления, если объем бака 340л (0,34 м<sup>3</sup>), степень наполнения 90%, масса внутреннего сосуда 180 кг, материал сталь 12Х18Н9Т, теплоприток к баку 6 Вт, начальное давление 0,09 МПа, рабочее давление 1,6 МПа, теплоемкость стали 12Х18Н9Т равна 300 Дж/(кг\*К)

$$\begin{aligned} \text{■ } t &= 0,8 \frac{(0,9 \cdot 424,78 \cdot 0,9 \cdot 0,34 \cdot 2,064 + 180 \cdot 300)(160 - 110)}{3600 \cdot 6} = \\ &= 100,45 \text{ ч} = 4,18 \text{ суток} \end{aligned}$$



# Воздействие сжиженных газов на человека



# Воздействие на человека

- **Вредными** являются вещества, которые при контакте с организмом человек могут вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения состояния здоровья, обнаруживаемые современными методами, как в процессе работы, так и отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений (ГОСТ12.1.007)
- **Предельно-допустимая концентрация (ПДК)** – это максимальная концентрация веществ, при которой не происходит ни какого вредного воздействия на организм человека, при ежедневной работе (кроме выходных дней) в течение 8 часов или другой продолжительности, но не более 40 часов в неделю в течении всего рабочего стажа.

# ПДК

- **Вредными** являются вещества, которые при контакте с организмом человека могут вызвать производственные травмы, профессиональные заболевания или отклонения состояния здоровья, обнаруживаемые современными методами, как в процессе работы, так и отдаленные сроки жизни настоящего и последующего поколений (ГОСТ 12.1.007)
- **Предельно-допустимая концентрация (ПДК)** – это максимальная концентрация веществ, при которой не происходит ни какого вредного воздействия на организм человека, при ежедневной работе (кроме выходных дней) в течение 8 часов или другой продолжительности, но не более 40 часов в неделю в течении всего рабочего стажа.

# ПДК

<i>Наименование веществ</i>	<i>ПДК мг/м<sup>3</sup></i>	<i>Класс опасности</i>	<i>Наименование веществ</i>	<i>ПДК мг/м<sup>3</sup></i>	<i>Класс опасности</i>
Нефть (фр.20-200)	300	4	Окислы азота	5	2
Метан	300	4	Метилмеркаптан	0,8	2
Пропан	300	4	Ртуть	0,01	1
Бутан	300	4	Серная кислота	1	2
Бензол	5	2	Тетраэтилсвинец	0,005	1
Метанол	5	3	Толуол	50	3
Этиловый спирт	1000	4	Окись углерода	20	4
Ацетон	200	4	Дихлорэтан	10	2
Керосин	300	4	Сероводород	10	2

# Диапазон взрываемости

- **Нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПР)** – это минимальная концентрация горючего вещества в смеси с окислителем при которой возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания
- **Верхний концентрационный предел распространения пламени (ВКПР)** – это максимальная концентрация горючего вещества в смеси с окислителем при которой возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания

# Диапазон взрываемости

Наименование веществ	Диапазон взрываемости			
	по объему (%)		по массе мг/м <sup>3</sup>	
	НКПР	ВКПР	НКПР	ВКПР
Нефть (фр. 20-200)	1,4	6,5	42000	195000
Метан	5	15,7	33000	104000
Этан	2,9	15	36000	186000
Пропан	2,2	9,5	38000	164000
Бутан	1,8	9,1	45000	227500
Гексан	1,2	7,5	42000	262500
Бензол	1,4	8,11	45000	261000
Метанол	6	34,7	92000	532000
Этиловый спирт	3,6	19	68000	359000
Голуол	1,4	6,7	50000	239000
Окись углерода	12,5	75	74000	444000
Дихлорэтан	6,2	16	252000	650000
Водород	4,1	74	3700	67000
Бензин-растворитель	0,8	5,2	32600	212000
Сероводород	4,2	46	60000	657000

# Задача №16

■ Определить пределы взрываемости смеси газов следующего компонентного состава: этана – 5%, пропана – 70%, бутана – 25%.

$$■ L = \frac{100}{\frac{r_1}{l_1} + \frac{r_2}{l_2} + \dots + \frac{r_n}{l_n}}$$

■  $r_n$  – объемное содержание каждого компонента в смеси, %

■  $l_n$  – НКПР (ВКПР) каждого компонента в смеси, %

$$■ L_H = \frac{100}{\frac{5}{2,9} + \frac{70}{2,2} + \frac{25}{1,8}} = 2,10\%$$

$$■ L_B = \frac{100}{\frac{5}{15} + \frac{70}{9,5} + \frac{25}{9,1}} = 9,57\%$$