

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

ПРИМЕРЫ И ЗАДАЧИ

А. А. Лукманова



www.e.lanbook.com



**ЭБС
ЛАНЬ**

А. Л. ЛУКМАНОВА

ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕРЫ И ЗАДАЧИ

Учебное пособие



САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
МОСКВА
КРАСНОДАР
2020

УДК 66.0(075.32)

ББК 35.11я723

Л 84 Лукманова А. Л. Процессы и аппараты химической технологии. Примеры и задачи : учебное пособие / А. Л. Лукманова. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 64 с. : ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература). — Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-8114-4272-0

Пособие разработано в соответствии с рабочей программой дисциплины «Процессы и аппараты». Приведено решение типовых задач по основным разделам дисциплины: гидравлические процессы; тепловые процессы; массообменные процессы. Особое внимание уделено расчету свойств нефти и нефтепродуктов. В пособии также представлены задания для самостоятельной работы обучающихся. Приложение содержит таблицы и графики, наиболее часто применяемые при решении задач химической технологии и технологии переработки нефти и газа: номограммы свойств некоторых углеводородов, воды и водяного пара, таблицу энтальпий нефтяных жидкостей и паров.

Пособие адресовано обучающимся укрупненной группы специальностей среднего профессионального образования «Химические технологии» и предназначено для самостоятельной подготовки к выполнению контрольных работ, домашних и индивидуальных заданий по темам: «Расчет теплообменного аппарата» и «Расчет ректификационной колонны». Будет полезно студентам заочной формы обучения.

УДК 66.0(075.32)

ББК 35.11я723

Обложка
П. И. ПОЛЯКОВА

© Издательство «Лань», 2020
© А. Л. Лукманова, 2020
© Издательство «Лань»,
художественное оформление, 2020

ВВЕДЕНИЕ

Современные образовательные и профессиональные стандарты предъявляют высокие требования к специалистам среднего звена в области химических технологий. Специалист должен уметь: читать, выбирать, изображать и описывать технологические схемы; выполнять материальные и энергетические расчеты процессов и аппаратов; выполнять расчеты характеристик и параметров конкретного вида оборудования; обосновывать выбор конструкции оборудования для конкретного производства и целесообразность выбранных технологических схем; осуществлять подбор стандартного оборудования по каталогам и ГОСТ. Дисциплина «Процессы и аппараты» является фундаментальной для этой группы специальностей.

В настоящее время издано большое количество книг по дисциплинам «Процессы и аппараты химической технологии» и «Процессы и аппараты нефтегазоперерабатывающей промышленности». Однако лучшие из этих пособий авторов С. В. Адельсон, Р. Т. Эмирджанова, А. М. Плановского и других были изданы в 1960-е или 1970-е годы. Эти пособия по расчету основных процессов и оборудования нефтехимических производств написаны в устаревших единицах измерения. В основном они предназначены для высшего профессионального образования. Учебники для среднего профессионального образования издавались редко, еще меньше учебных пособий по решению задач.

Это пособие предназначено для обучающихся укрупненной группы специальностей среднего профессионального образования 18.00.00 «Химические технологии», в том числе специальностей 18.02.03 «Химическая технология неорганических веществ», 18.02.06 «Химическая технология органических веществ», 18.02.09 «Переработка нефти и газа при изучении общепрофессиональной дисциплины. Процессы и аппараты», а также междисциплинарного курса МДК 01.01 «Технологическое оборудование и коммуникации» профессионального модуля ПМ 01 «Эксплуатация технологического оборудования».

1. СВОЙСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ

1.1. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1.1. Определить плотность (ρ) нефтепродукта при температурах $t = 50, 70, 90^\circ\text{C}$, если при 20°C $\rho = 845,5 \text{ кг/м}^3$.

Р е ш е н и е.

Рассчитываем коэффициент [1]:

$$\alpha = 0,001828 - 0,00132\rho_4^{20} = 0,000712.$$

Определяем плотность по формуле Менделеева:

$$\begin{aligned}\rho_4^t &= \rho_4^{20} - \alpha(t - 20); \\ \rho_4^{50} &= 0,8455 - 0,000712 \cdot (50 - 20) = 0,8241; \\ \rho_4^{70} &= 0,8455 - 0,000712 \cdot (70 - 20) = 0,8099; \\ \rho_4^{90} &= 0,8455 - 0,000712 \cdot (90 - 20) = 0,7956.\end{aligned}$$

С повышением температуры плотность нефтепродуктов уменьшается.

1.2. Определить групповой состав нефтепродукта, если $\rho_4^{20} = 0,9875$; $t_{\text{ср. мол}} = 310^\circ\text{C}$.

Р е ш е н и е.

Групповой состав определяют по характеризующему фактору [1]:

$$K = \frac{1,2251\sqrt[3]{t_{\text{ср. мол}} + 273,2}}{\rho_4^{20} + 0,0092} = \frac{1,2251\sqrt[3]{310 + 273,2}}{0,9875 + 0,0092} = 10,27.$$

Нефтепродукт содержит ароматические углеводороды.

1.3. Определить среднюю молекулярную массу: 1) бензина, если $t_{\text{ср. мол}} = 120^\circ\text{C}$; 2) газойля $\rho_4^{20} = 0,88$.

Р е ш е н и е.

1. Среднюю молекулярную массу бензиновых фракций находят по формуле Воинова [2]:

$$\begin{aligned}M &= 60 + 0,3t + 0,001t^2; \\ M &= 60 + 0,3 \cdot 120 + 0,001 \cdot 120^2 = 110,4 \text{ кг/кмоль}.\end{aligned}$$

2. Среднюю молекулярную массу газойля можно определить по плотности по формуле Крэга [3]:

$$M_{\text{ср}} = \frac{44,29\rho_{15}^{15}}{1,03 - \rho_{15}^{15}}.$$

Определим ρ_4^{20} .

$$\begin{aligned}\rho_{15}^{15} &= \rho_4^{20} + 5\alpha = 0,88 + 5 \cdot 0,000666 = 0,8833; \\ \alpha &= 0,001828 - 0,00132\rho_4^{20} = 0,001828 - 0,00132 \cdot 0,88 = 0,000666; \\ M_{\text{ср}} &= \frac{44,29 \cdot 0,8833}{1,03 - 0,8833} = 266,7 \text{ кг/моль}.\end{aligned}$$

1.4. Кинематическая вязкость и плотность керосина при 40°C равны:

$$\nu = 0,018 \text{ ст}; \rho = 816,2 \text{ кг/м}^3.$$

Определить динамическую вязкость (Па·с).

Р е ш е н и е.

Соотношение динамической и кинематической вязкости [1]:

$$\nu = \mu/\rho,$$

откуда

$$\begin{aligned}\mu &= \nu\rho; \\ \nu &= 0,018 \text{ см}^2/\text{с} = 0,018 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}; \\ \mu &= 816,2 \cdot 0,018 \cdot 10^{-4} = 0,0014 \text{ кг/м} \cdot \text{с} = 0,0014 \text{ (Па} \cdot \text{с)}.\end{aligned}$$

1.5. Определить абсолютную плотность смеси газов среднего молекулярного веса $M = 17,4 \text{ кг/кмоль}$ для:

1) нормальных условий;

2) 20°C, 1200 мм рт. ст.

Р е ш е н и е.

Из уравнения состояния идеального газа

$$pV = NRT = (G/M)RT$$

получим $\rho = \rho_0 T_0 p / p_0 T$.

1. Нормальные условия: 273 К, 0,1 МПа. Так как для нормальных условий 1 кмоль газа занимает объем 22,4 м³, то

$$\rho_0 = M/22,4 = 17,4/22,4 = 0,777 \text{ кг/м}^3.$$

$$2. \rho = 0,777 \cdot 273 \cdot 1200 / 293 \cdot 760 = 1,146 \text{ кг/м}^3.$$

1.6. Рассчитать теплоемкость c (кДж/кг·К) и теплопроводность λ (Вт/м·К) бензина при средней температуре $t = 70^\circ\text{C}$ и относительной плотности $\rho_4^{20} = 0,73$.

Р е ш е н и е.

1. Определим теплоемкость по формуле Крэга

$$c_p = \frac{4,19}{\sqrt{\rho_4^{20} + 0,0092}} (0,403 + 0,00081t);$$

$$c_p = \frac{4,19 \cdot (0,403 + 0,00081 \cdot 70)}{\sqrt{0,73 + 0,0092}} = 2,24 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}.$$

2. Определим теплопроводность бензина:

$$\lambda = \frac{0,1173}{\rho_4^{20} + 0,0092} (1 - 0,00054t);$$

$$\lambda = \frac{0,1173 \cdot (1 - 0,00054 \cdot 70)}{0,73 + 0,0092} = 0,15 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}.$$

1.7. Рассчитать поверхностное натяжение:

1) бензина $\rho_4^{20} = 0,732$;

2) газойля $\rho_4^{20} = 0,894$.

Р е ш е н и е.

Поверхностное натяжение нефтепродукта можно рассчитать по плотности [3]:

$$\sigma = 10^{-2} \cdot (5\rho_4^{20} - 1,5), \text{ Н/м}.$$

1) $\sigma = 10^{-2}(5 \cdot 0,732 - 1,5) = 0,0216 \text{ Н/м};$

2) $\sigma = 10^{-2}(5 \cdot 0,894 - 1,5) = 0,0297 \text{ Н/м}.$

1.2. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Производительность установки АВТ — 5 млн т/год, число рабочих дней (ч. р. д.) — 320. Найти часовую производительность.

2. Секундная производительность установки — 4 кг/с. Найти суточную производительность установки.

3. Рассчитать плотность нефтепродукта при температуре 73°C, если $\rho_4^{20} = 0,715$, $\alpha = 0,00089$.

4. Определить плотность нефтепродукта при температуре 108°C, если относительная плотность при температуре 20°C составляет 0,937.

5. Пересчитать $\rho_4^{20} = 0,86$ в ρ_{15}^{15} .

6. Вычислить ρ_4^{20} , если $\rho_{15}^{15} = 0,86$, $\alpha = 0,0008$.

7. Определить относительную плотность газа, если его молекулярная масса составляет 19,8 кг/кмоль.

8. Определить абсолютную плотность газа, если его молекулярная масса составляет 19,8 кг/кмоль.

9. Определить относительную плотность бутана.

10. Определить абсолютную плотность воздуха при $M = 28,9$ кг/кмоль.

11. Вычислить плотность паров нефтепродукта, средняя молекулярная масса которого равна 119,3 кг/кмоль, при температуре 150°C и давлении 3 атм.

12. Определить плотность воздуха при вакууме 540 мм рт. ст. и температуре -50°C , если атмосферное давление равно 755 мм рт. ст.
13. Вычислить плотность паров пропана при температуре 100°C и давлении 0,4 МПа.
14. Определить плотность газа при температуре 10°C и давлении 2 МПа, если абсолютная плотность газа составляет $3,6 \text{ кг/м}^3$.
15. Определить плотность метана при температуре 20°C и давлении 10 атм.
16. Вычислить среднюю молекулярную массу нефтепродукта, средняя температура кипения которого составляет $t_{\text{ср}} = 123^{\circ}\text{C}$.
17. Определить среднюю молекулярную массу фракций 85–105.
18. Вычислить среднюю молекулярную массу бензиновой фракции, средняя температура кипения которого составляет $t_{\text{ср}} = 158^{\circ}\text{C}$.
19. Определить среднюю молекулярную массу смеси метана и сероводорода, в которой мольная доля метана составляет 0,95.
20. Определить среднюю молекулярную массу фракций 100–120.
21. Определить среднюю молекулярную массу пропан-пропиленовой фракции, в которой мольная доля пропана составляет 0,45.
22. Определить среднюю молекулярную массу бутан-бутиленовой фракции, в которой мольная доля бутилена составляет 0,53.
23. Определить групповой состав нефтепродукта, если $\rho_4^{20} = 0,95$, $t_{\text{ср. мол}} = 390^{\circ}\text{C}$.
24. Вычислить характеризующий фактор нефтепродукта, если $\rho_4^{20} = 0,75$, $t_{\text{ср. мол}} = 121^{\circ}\text{C}$.
25. Определить групповой состав нефтепродукта, если $\rho_4^{20} = 0,825$, $t_{\text{ср. мол}} = 200^{\circ}\text{C}$.
26. Вычислить характеризующий фактор фракции, если $\rho_4^{20} = 0,799$, $t_{\text{ср. мол}} = 190^{\circ}\text{C}$.
27. Вычислить плотность паров бензина фракций 140–180 при температуре 180°C и давлении 0,23 МПа.
28. Вычислить плотность пропан-пропиленовой фракции, в которой мольная доля пропилена составляет 0,36, при температуре 80°C и давлении 0,45 МПа.
29. Динамическая вязкость нефтепродукта при температуре 56°C составляет $1,4 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$. Рассчитать кинематическую вязкость при этой температуре, если относительная плотность продукта при температуре 20°C составляет 0,78.
30. Кинематическая вязкость нефтяной фракции при температуре 240°C составляет $0,86 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Вычислить динамическую вязкость при этой температуре, если относительная плотность продукта при температуре 20°C составляет 0,839.
31. По справочным данным определить удельную теплоемкость гексана при температуре 75°C . Ответ представить в Международной системе единиц СИ.
32. Рассчитать теплоемкость и теплопроводность нефтепродукта при температуре 225°C , если $\rho_4^{20} = 0,86$.

33. Определить теплоемкость и теплопроводность нефтепродукта при температуре 103°C, если $\rho_4^{20} = 0,74$.

34. Вычислить теплоемкость паров бензина фракций 100–140 при температуре 128°C, если $\rho_4^{20} = 0,726$.

35. Определить теплоемкость паров нефтепродукта $t_{\text{ср. мол}} = 142^\circ\text{C}$ при температуре 225°C, если $\rho_4^{20} = 0,82$.

36. По справочным данным определить удельную теплоемкость толуола при температуре 120°C. Ответ представить в Международной системе единиц СИ.

37. Определить по таблице энтальпий энтальпию паров бензина при температуре 160°C, если $\rho_{15}^{15} = 0,725$.

38. Определить по справочным данным энтальпию гексана при 80°C.

2. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

2.1. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

2.1. Определить остаточное давление в сосуде, если давление вакуумметра составляет 265 мм рт. ст., а барометрическое давление — 756 мм рт. ст.

Р е ш е н и е.

$$P_{\text{атм}} = p_{\text{ост}} + p_{\text{вак}} [4];$$
$$P_{\text{атм}} = 756 - 265 = 491 \text{ мм рт. ст.}$$

2.2. Определить давление в сосуде, если открытый ртутный манометр показывает разницу высоты столбиков ртути 38 мм рт. ст., барометрическое давление 754 мм рт. ст.

Р е ш е н и е.

$$P_{\text{абс}} = p_{\text{бар}} + p_{\text{ман}} [4];$$
$$P_{\text{абс}} = 38 + 754 = 792 \text{ мм рт. ст.}$$

2.3. Манометр, установленный на газосепаратор, показывает избыточное давление в нем 1860 мм рт. ст. При барометрическом давлении 750 мм рт. ст. определить абсолютное давление в газосепараторе.

Р е ш е н и е.

$$P_{\text{абс}} = p_{\text{бар}} + p_{\text{ман}} [5];$$
$$P_{\text{абс}} = 1860 + 750 = 2610 \text{ мм рт. ст.}$$

2.4. Определить расход газа, если диаметр трубопровода равен 2004 мм, средняя скорость равна 12 м/с.

Р е ш е н и е.

Определяем внутренний диаметр трубы:

$$d_{\text{вн}} = d_{\text{н}} - 2\sigma = 0,2 - 20,004 = 0,192 \text{ м};$$
$$F = \pi d^2 / 4 = 0,785 \cdot 0,192^2 = 0,0289 \text{ м}^2.$$

Объемный расход газа находим из уравнения расхода [1, 4]:

$$V = Fw = 0,347 \text{ м}^3/\text{с.}$$

2.5. Цилиндрический бак диаметром $d = 1$ м наполнен водой на высоту $H = 2$ м. Отверстие для истечения в дне имеет диаметр $d_0 = 3$ см. Определить

время опорожнения бака. α — коэффициент расхода (для отверстия с незакругленными краями $\alpha = 0,61$).

Р е ш е н и е.

$$\tau = \frac{2F\sqrt{H}}{\alpha F_0 \sqrt{2g}} [6];$$

$$\tau = \frac{2 \cdot 0,785 \cdot d^2 \cdot \sqrt{2}}{0,61 \cdot 0,785 \cdot 0,03^2 \cdot \sqrt{2} \cdot 9,8} = 1180 \text{ с} = 20 \text{ мин.}$$

2.6. По трубопроводу $d = 100$ мм перекачивают жидкость при $t = 20^\circ\text{C}$. Средняя скорость $v = 0,8$ м/с. Определить коэффициент трения λ .

$$v_{20} = 0,01007 \text{ ст.} = 0,01007 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с.}$$

Для гладких труб при ламинарном режиме: $\lambda = A/\text{Re}$ [6].

A — коэффициент, зависящий от формы сечения, для:

— круглого $A = 64$;

— квадратного $A = 57$;

— кольцевого $A = 96$;

— прямоугольного $1 : 2$ $A = 62$.

При турбулентном режиме:

$$\text{Re} = 3000 - 10^5 \quad \lambda = \frac{9,3164}{\sqrt[4]{\text{Re}}};$$

$$\text{Re} > 10^5 \quad \lambda = (1,8 \lg \text{Re} - 1,5)^{-2}.$$

Р е ш е н и е.

$$\text{Re} = \frac{0,8 \cdot 0,1}{0,01007 \cdot 10^{-4}} = 79 \ 400;$$

$$\lambda = \frac{9,3164}{\sqrt[4]{79 \ 400}} = 0,01885.$$

2.7. Манометр на нагнетательном трубопроводе насоса, перекачивающего воду $Q = 8,4$ м³/мин, показывает $p = 3,8$ кгс/см² $\approx 0,38$ МПа; вакуумметр на всасывающем трубопроводе показывает $p = 21$ см рт. ст. ≈ 28 кПа; расстояние между манометром и вакуумметром (по вертикали) $H_p = 410$ мм; $d_{\text{вс}} = 350$ мм, $d_{\text{н}} = 300$ мм. Определить напор насоса.

Р е ш е н и е.

Для расчета напора, скорости всасывания и нагнетания [5]:

$$w = Q/F; \quad F = 0,785d^2;$$

$$w_{\text{вс}} = w = 8,4/(60 \cdot 0,785 \cdot 0,35^2) = 1,45 \text{ м/с};$$

$$w_{\text{н}} = 8,4/(60 \cdot 0,785 \cdot 0,3^2) = 1,98 \text{ м/с};$$

$$p_{\text{н}} = (3,8 + 1,013) \cdot 91 \cdot 10^4 \approx 474 \text{ кПа};$$

$$p_{\text{вс}} = (0,76 - 0,21) \cdot 133,3 \cdot 1000 = 73,3 \text{ кПа};$$

$$H = (474 \ 000 - 73 \ 300)/(1000 \cdot 9,81) + 0,41 + (1,98^2 - 1,45^2)/2g = 41 \text{ мм вод. ст.}$$

2.8. Центробежный насос делает 1200 об/мин, при испытаниях показал следующие данные:

Q , дм ³ /с	0	10,8	21,2	29,8	40,4	51,1
H , м	23,5	25,8	25,4	22,1	17,3	11,9
N , кВт	5,16	7,87	10,1	11,3	12,0	18,5

Перекачивался раствор относительной плотностью 1,12. Определить КПД насоса для каждой производительности. Построить графическую характеристику насоса.

Р е ш е н и е.

$$N = \rho g H Q / (1000 \eta) \eta = \rho g H Q / (1000 N) [4-6].$$

Q , дм ³ /с	0	10,8	21,2	29,8	40,4	51,1
H	0	0,39	0,587	0,643	0,637	0,36

2.9. Определить число оборотов вала поршневого насоса двойного действия, имеющего диаметр поршня $D = 160$ мм, диаметр штока $d = 50$ мм, длину хода поршня $S = 200$ мм. Производительность насоса — 25,2 м³/ч. Объемный КПД $\eta_0 = 0,85$.

Р е ш е н и е [4].

$$Q = 25,2 / 3600 = 0,007 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Площадь сечения поршня:

$$F = 0,785 D^2 = 0,785 \cdot 0,16^2 = 0,02 \text{ м}^2.$$

Площадь сечения штока:

$$F = 0,785 d^2 = 0,785 \cdot 0,05^2 = 0,00196 \text{ м}^2;$$

$$Q = \frac{(2F - f) S n}{60} \text{ с учетом КПД};$$

$$n = (60 Q) / (2F - f) S =$$

$$= (60 \cdot 0,007) / (2 \cdot 0,0201 - 0,00196) \cdot (0,2 \cdot 0,85) = 65 \text{ об/мин}.$$

2.10. Поршневой насос 2-го действия, подает 22,8 м³/ч жидкости. Частота вращения насоса — 65 об/мин. Диаметр плунжера $D = 125$ мм, диаметр штока $d = 35$ мм, радиус кривизны кривошипа — 136 мм. Определить коэффициент подачи насоса.

Р е ш е н и е.

За один оборот плунжер вытесняет объем [4]:

$$(2F - f) S = (2 \cdot 0,785 \cdot 0,125^2 - 0,785 \cdot 0,035^2) \cdot 0,272 = 0,00637 \text{ м}^3,$$

где 0,272 — удвоенная длина радиуса кривошипа — длина хода плунжера.

Теоретическая подача при 65 об/мин:

$$0,00637 \cdot 65 = 0,413 \text{ м}^3/\text{мин}.$$

Действительная подача:

$$22,8/60 = 0,38 \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Коэффициент подачи:

$$\eta = 0,38/0,413 = 0,92.$$

2.11. В теплообменном аппарате типа «труба в трубе» по трубам 76×3 мм проходит газ под атмосферным давлением. Найти необходимый $d_{\text{тр}}$ при работе с тем же газом под давлением $p_{\text{изб}} = 5 \text{ кгс/см}^2$ при прежних скорости, массовом расходе и числе труб.

Р е ш е н и е.

$$m_1 = m_2 = m; \quad W_1 = W_2 = W; \quad n_1 = n_2 = n; \quad T_1 = T_2;$$

$$m = Q\rho; \quad Q = 0,785d^2w;$$

$$\rho_2 = \rho_1(T_1 p_2)/(T_2 p_1) = (1 + 5)/1\rho_1 = 6\rho_1;$$

$$0,785wn\rho_1 d_1^2 = 0,785wn6\rho_1 d_2^2;$$

$$d_2 = \sqrt{d/6} = 0,0286 \text{ м [5, 6].}$$

2.12. Определить режим движения бензина при массовом расходе $G = 20 \text{ кг/с}$. Для расчета даны: средняя температура 130°C , трубное пространство кожухотрубного аппарата $d = 20 \times 2 \text{ мм}$, число трубок $n = 121$, $\rho_{277}^{293} = 0,75$, $\nu = 0,22 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

Р е ш е н и е.

1. Определим плотность бензина при $t = 130^\circ\text{C}$ по формуле Менделеева [1]:

$$\rho_{277}^T = \rho_{277}^{293} - \alpha(T - 293),$$

где α — поправочный коэффициент плотности на 1°C , $\alpha = 0,0008$;

$$T = 130 + 273 = 403 \text{ K};$$

$$\rho_{277}^{403} = 0,75 - 0,0008 \cdot (403 - 293) = 0,662,$$

т. е. $\rho = 662 \text{ кг/м}^3$.

2. Определим объемный расход:

$$V = G/\rho = 20/662 = 0,03 \text{ м}^3/\text{с}.$$

3. Определим внутренний диаметр трубок [4]:

$$d_{\text{вн}} = d_{\text{нар}} - 2\sigma,$$

где σ — толщина стенки, $\sigma = 0,002 \text{ м}$.

$$d = 0,02 - 2 \cdot 0,002 = 0,016 \text{ м}.$$

4. Определим сечение трубного пространства [6]:

$$f = n\pi d^2/4 = 121 \cdot 3,14 \cdot 0,016^2/4 = 0,0243 \text{ м}^2.$$

5. Определим скорость потока:

$$w = V/f = 0,03/0,0243 = 1,23 \text{ м/с}.$$

6. Определим критерий Рейнольдса и режим движения жидкости:

$$Re = wd/\nu = 1,23 \cdot 0,016/0,22 \cdot 10^{-6} = 6670.$$

$2300 < 6670 < 10\,000$ — режим движения переходный [1, 4–6].

2.13. Найти критическую скорость в прямой трубе диаметром $51 \times 2,5$ мм:

а) для воздуха при 20°C и $p_{\text{абс}} = 0,1$ МПа; б) для нефтяного масла, имеющего $\mu = 35$ мПа·с; относительную плотность 0,963.

Р е ш е н и е.

Критическая скорость при переходе ламинарного движения в турбулентный w_{kp} при $Re = 2300$ [4] $w_{kp} = 2300\mu/d\rho$:

а) для воздуха $\mu = 0,018 \cdot 10^{-3}$ при 20°C

$$\rho = \rho_0 T_0 p / T p_0 = (28,9/22,4) \cdot 273 \cdot 0,1/293 \cdot 0,1 = 1,2 \text{ кг/м}^3;$$

$$w_{kp} = 2300 \cdot 0,018 \cdot 10^{-3} / 0,046 \cdot 1,2 = 0,75 \text{ м/с};$$

б) для масла

$$2300 \cdot 35 \cdot 10^{-3} / 0,046 \cdot 963 = 1,8 \text{ м/с}.$$

2.14. Насос перекачивает жидкость плотностью $\rho = 900$ кг/м³ из резервуара с давлением $P_1 = 0,2$ МПа в резервуар с давлением $P_2 = 3,0$ МПа, высота подъема $H_1 = 20$ м, общее сопротивление всасывающей и нагнетательной линии $h = 48$ м. Определить полный напор.

Р е ш е н и е.

Полный напор [5] находим по уравнению

$$H = H_1 + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + h;$$

$$H = 20 + (3,0 - 0,2) \cdot 10^6 / 900 \cdot 9,8 + 48 = 379,11 \text{ м}.$$

2.15. Серная кислота перекачивается насосом в аппарат, работающий под избыточным давлением $P = 2,45$ бар (2,5 атм). Выбрать насос для подачи кислоты в количестве $Q = 150$ м³/ч и определить мощность электродвигателя к насосу. Геометрическая высота подъема кислоты $H_\Gamma = 15$ м, гидравлическое сопротивление всасывающего трубопровода $h_{\text{вс}} = 1$ м столба кислоты и нагнетательного трубопровода $h_{\text{н}} = 4$ м столба кислоты.

Р е ш е н и е.

Определяем напор, развиваемый насосом [6], по формуле

$$H = H_\Gamma + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + h_{\text{вс}} + h_{\text{н}} = 15 + 2,45 \cdot 10^5 / 1850 \cdot 9,81 + 1 + 4 = 33,5 \text{ м}.$$

Насос выбирают по заданной подаче Q и напору H , пользуясь характеристикой насосов. Выбираем кислотоупорный центробежный насос марки 6КХс-8.

При КПД 0,65 находим мощность на валу электродвигателя:

$$N = Q \rho g H / 3600 \cdot 1000 \cdot 0,65 = \\ = 150 \cdot 1850 \cdot 9,81 \cdot 33,5 / 3600 \cdot 1000 \cdot 0,65 = 39 \text{ кВт}.$$

Принимаем мощность насоса с запасом 25%, тогда его требуемая мощность составит

$$N_{эл} = 1,25N - 49 \text{ кВт.}$$

2.16. Насос, перекачивающий жидкость плотностью 1100 кг/м^3 , имеет производительность $46,5 \text{ м}^3/\text{ч}$. Избыточное давление по манометру на нагнетательном патрубке насоса — $3,34 \text{ бар}$, показания вакуумметра на всасывающем патрубке — $0,45 \text{ бар}$. Расстояние между манометром и вакуумметром — 300 мм . Мощность на валу электродвигателя — 7 кВт . Определить напор и КПД насоса.

Р е ш е н и е.

Определяем напор [6] по формуле

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + h = \frac{(3,34 + 0,45) \cdot 10^5}{1100 \cdot 9,81} + 0,3 = 35,3 \text{ м.}$$

Полезная мощность насоса рассчитывается по формуле

$$N_{п} = 46,5 \cdot 1100 \cdot 9,81 \cdot 35,3 / 3600 \cdot 1000 = 4,9 \text{ кВт.}$$

Коэффициент полезного действие насоса:

$$\eta = N_{п} / N = 4,9 / 7 = 0,7.$$

2.2. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Определить давление в сосуде, если открытый ртутный манометр показывает разницу высоты столбиков ртути 58 мм рт. ст. , барометрическое давление — 750 мм рт. ст.

2. В сосуде находится жидкость с относительной плотностью $0,9885$. Манометр, присоединенный ко дну сосуда, показывает $0,07 \text{ кгс/см}^2$. Определить высоту столба жидкости в сосуде.

3. В газосепараторе избыточное давление составляет $0,5 \text{ МПа}$, барометрическое — 756 мм рт. ст. Определить полное давление в газосепараторе.

4. Определить фактическую скорость потока нефтепродукта, если расход нефтепродукта составляет 2000 т/сут , диаметр трубы — $200 \times 4 \text{ мм}$, плотность нефтепродукта при температуре перекачки — $0,876 \text{ г/см}^3$.

5. Определить режим движения жидкости в трубопроводе при температуре 20°C , если ее расход составляет $75\,000 \text{ кг/ч}$, внешний диаметр трубопровода — 200 мм , толщина стенки трубопровода — 2 мм ($\rho = 0,9355 \text{ г/см}^3$, $\nu = 1,0721 \text{ см}^2/\text{с}$).

6. Найти среднюю скорость потока жидкости в трубопроводе при 50°C , если ее расход составляет $75\,000 \text{ кг/ч}$, диаметр трубы — $150 \times 4 \text{ мм}$, плотность жидкости при 20°C 750 кг/м^3 .

7. Расход жидкости — 789 т/с, диаметр трубопровода — 200×4 мм ($\rho = 0,7755 \text{ г/см}^3$, $\nu = 1,043 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$). Определить режим движения жидкости.

8. Определить массовый расход жидкости, если ее плотность при температуре перекачки составляет 863 кг/м³, скорость — 0,85 м/с, диаметр трубопровода — 20×2 мм.

9. Массовый расход газа — 4,5 кг/с, средняя молекулярная масса газа — 57,7 кг/кмоль. Определить скорость газа при температуре 45°C и давлении 20 атм. Диаметр трубопровода — 108×4 мм.

10. Определить скорость жидкости, если ее перекачивают по трубопроводу диаметром 54×4 мм, при температуре 60°C, массовый расход жидкости — 3,2 кг/с, $\rho_4^{20} = 0,856$.

11. Массовый расход пропана — 2,4 кг/с. Определить скорость газа при температуре 20°C и давлении 10 атм. Диаметр трубопровода — 108×4 мм.

12. Определить необходимый диаметр аппарата, если через него проходит 53 500 кг/ч паров нефтепродукта $t_{\text{ср}} = 120^\circ\text{C}$, при температуре 500°C, давлении 2 МПа, допустимая скорость — 0,35 м/с.

13. Определить диаметр трубопровода, если скорость жидкости, перекачиваемой по трубопроводу, составляет 0,83 м/с, температура — 60°C, массовый расход жидкости — 7,4 кг/с, $\rho_4^{20} = 0,620$.

14. Определить необходимое сечение трубопровода, если скорость движения бутана составляет 16 м/с, массовый расход — 345 000 кг/ч, при температуре 10°C и давлении 15 атм.

15. Какой должна быть скорость трубопровода, чтобы режим движения жидкости был турбулентным? Диаметр трубопровода — 80 мм, кинематическая вязкость — $2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

16. Как изменится режим движения жидкости, если продукт нагреть с 50 до 180°C? Обосновать ответ формулами.

17. Определить режим движения жидкости по следующим данным: диаметр — 80 мм, динамическая вязкость — 0,04 Н·с/м², $G = 1,5 \text{ кг/с}$.

18. Определить критическую скорость движения жидкости в трубопроводе диаметром 100 мм, кинематическая вязкость — 6,5 см²/с.

19. Определить сечение трубопровода, если скорость жидкости, перекачиваемой по трубопроводу, составляет 1,63 м/с, температура — 100°C, массовый расход жидкости — 4,36 кг/с, $\rho_4^{20} = 0,862$.

20. Определить режим движения жидкости по трубе, если массовый расход жидкости составляет 8200 кг/ч, скорость жидкости — 0,01 м/с, динамическая вязкость — $1,35 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$, плотность при температуре перекачки — 867 кг/м³.

21. Определить минимальную скорость, при которой режим станет турбулентным. Диаметр трубы — 58×4 мм, динамическая вязкость — $1,7 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$, плотность при температуре перекачки — 795 кг/м³.

22. Определить минимальную скорость, при которой режим станет переходным. Диаметр трубы — 58×4 мм, динамическая вязкость — $1,09 \cdot 10^{-3} \text{ Па·с}$, плотность при температуре перекачки — 689 кг/м³.

23. Определить режим движения жидкости по трубе, если объемный расход жидкости составляет $0,0019 \text{ м}^3/\text{с}$, скорость жидкости — $0,02 \text{ м/с}$, динамическая вязкость — $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, плотность при температуре перекачки — 735 кг/м^3 .

24. Определить скорость в кольцевом сечении теплообменника типа «труба в трубе», при которой режим остается ламинарным. Диаметр кожуховой трубы — $89 \times 5 \text{ мм}$, теплообменной — $48 \times 4 \text{ мм}$, кинематическая вязкость — $1,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, плотность при температуре перекачки — 765 кг/м^3 .

25. Определить режим движения жидкости в кольцевом зазоре теплообменника типа «труба в трубе», если объемный расход жидкости составляет $0,0007 \text{ м}^3/\text{с}$, диаметр наружной трубы — $89 \times 5 \text{ мм}$, внутренней — $48 \times 4 \text{ мм}$, кинематическая вязкость — $0,52 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

26. Определить режим движения жидкости, если массовый расход составляет 2 т/ч , диаметр трубы — $86 \times 4 \text{ мм}$, динамическая вязкость — $1,3 \times 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, плотность при температуре перекачки — 837 кг/м^3 .

27. Определить максимальную скорость, при которой режим останется переходным. Диаметр трубы — $108 \times 4 \text{ мм}$, динамическая вязкость — $1,7 \times 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$, плотность при температуре перекачки — 865 кг/м^3 .

28. По трем трубопроводам диаметрами $d = 50, 100, 200 \text{ мм}$ при $t = 30^\circ\text{C}$ движутся вода, соляровый дистиллят и нефть. Кинематическая вязкость $\nu_{\text{вод}} = 0,805 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $\nu_{\text{сол. дис}} = 11,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $\nu_{\text{нефть}} = 62 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Определить для всех трубопроводов максимальную скорость, которой соответствует ламинарный режим.

29. Вычислить необходимый диаметр аппарата, если фактический объем паров составляет $2450 \text{ м}^3/\text{ч}$, допускаемая скорость, считая на полное сечение аппарата, — $0,6 \text{ м/с}$.

30. По трубопроводу диаметром $200 \times 4 \text{ мм}$ движется вода со скоростью $0,4 \text{ м/с}$ при температуре 20°C ($\nu_{20} = 0,01007 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$), определить коэффициент трения λ .

31. Определить полную потерю напора на участке стального, бывшего в эксплуатации трубопровода длиной 30 м , диаметр трубы — $89 \times 5 \text{ мм}$, через который проходит 45 кг/с бензина ($\rho_4^{20} = 0,742$), при температуре 40°C . По длине трубопровода имеются три поворота на 90° и две полностью открытые задвижки.

32. В теплообменнике типа «труба в трубе» по кольцевому пространству движется вода при температуре 20°C ($\nu_{20} = 0,01007 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$), определить коэффициент трения λ , если диаметр наружной трубы составляет $50 \times 2 \text{ мм}$, внутренней трубы — $25 \times 2 \text{ мм}$, скорость движения воды — $0,1 \text{ м/с}$.

33. Определить время истечения воды из цилиндрического сосуда, имеющего диаметр $0,75 \text{ м}$, наполненного на высоту 2 м , имеющего квадратное отверстие $l = 30 \text{ мм}$, $\alpha = 0,61$.

34. Определить время истечения воды из куба, имеющего длину стороны 1 м , наполненного на высоту $0,75 \text{ м}$, имеющего круглое отверстие $d = 15 \text{ мм}$, $\alpha = 0,61$.

35. КПД центробежного насоса — 0,67, мощность — 18 кВт, перекачиваемая жидкость имеет плотность 732 кг/м^3 , подача — $0,05 \text{ м}^3/\text{с}$. Определить напор насоса.

36. Определить мощность на валу электродвигателя центробежного насоса, перекачивающего жидкость плотностью $0,955 \text{ г/см}^3$, если напор насоса составляет 28 м, подача — $62,5 \text{ м}^3/\text{ч}$, КПД насоса — 0,7.

37. Простой поршневой насос подает жидкость со скоростью $10,8 \text{ м}^3/\text{ч}$, частота вращения насоса — 65 об/мин, диаметр плунжера — 125 мм, радиус кривизны кривошипа — 136 мм. Определить КПД насоса.

38. Поршневой насос двойного действия подает жидкость со скоростью $22,8 \text{ м}^3/\text{ч}$, частота вращения насоса — 65 об/мин, диаметр плунжера — 125 мм, диаметр штока — 35 мм, радиус кривизны кривошипа — 136 мм. Определить КПД насоса.

39. Определить пористость слоя катализатора, если насыпная плотность без уплотнения равна 600 кг/м^3 , плотность твердого материала — 1225 кг/м^3 .

40. Концентрация катализатора составляет 650 кг/м^3 , определить перепад давления в псевдоожиженном слое между двумя точками на расстоянии 3,5 м.

41. Определить массовый и поверхностный эквивалентный диаметр катализатора следующего гранулометрического состава:

размер частиц, мк	до 20	20–40	40–50	50–70	70–80	80–100
содержание, %масс.	5,0	15,0	7,5	25,0	21,0	6,5

42. Определить концентрацию катализатора, если перепад давления между двумя точками, находящимися на расстоянии 3 м, составляет 109 мм рт. ст.

43. Определить скорость начала псевдоожижения, если средний диаметр микросферического катализатора составляет 50 мк, пористость — 0,54, плотность частиц — 1200 кг/м^3 . Катализатор оживается воздухом ($t = 600^\circ\text{C}$, $p = 2 \text{ атм}$, $\nu = 50,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$, $\rho_r = 0,810 \text{ кг/м}^3$).

3. ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

3.1. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

3.1. Определить тепловую нагрузку, площадь поверхности F (м^2) и расход насыщенного водяного пара G (кг/с) с давлением $P = 0,2$ МПа для подогрева $g = 12$ кг/с жидкости от температуры $t_1 = 15^\circ\text{C}$ до $t_2 = 45^\circ\text{C}$, если коэффициент теплопередачи от пара к жидкости $K = 250$ $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$.

Р е ш е н и е.

Определяем тепловую нагрузку по ацетону [4]:

$$\begin{aligned} Q &= g(c_2 t_2 - c_1 t_1) = 12 \cdot (2,26 \cdot 45 - 2,14 \cdot 15) = 835,2 \text{ кВт}; \\ c_1 &= 0,51 \cdot 4,19 = 2,14 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K}); \\ c_2 &= 0,54 \cdot 4,19 = 2,26 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K}). \end{aligned}$$

Определим среднюю разность температур:

$$\begin{array}{ccc} 120^\circ\text{C} & \rightarrow & 120^\circ\text{C} \\ 45^\circ\text{C} & \leftarrow & 15^\circ\text{C} \\ t_{\max} = 105^\circ\text{C} & & t_{\min} = 75^\circ\text{C} \\ \Delta t_{\text{cp}} = (t_{\max} + t_{\min})/2 = 90^\circ\text{C}. \end{array}$$

Определим площадь поверхности аппарата:

$$F = Q/\Delta t_{\text{cp}} K = 835,2 \cdot 1000/90 \cdot 250 = 37,12 \text{ м}^2.$$

3.2. Определить коэффициент теплоотдачи от потока к стенке в трубке диаметром 25×2 мм, если $\text{Re} = 11\,300$, теплопроводность равна $0,12$ $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$, плотность потока — 783 кг/м^3 , кинематическая вязкость — $1,5 \cdot 10^{-6}$ $\text{м}^2/\text{с}$, теплоемкость — $2,6$ $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$.

Р е ш е н и е.

Для определения коэффициента теплоотдачи необходимо рассчитать критерий Прандтля по формуле

$$\begin{aligned} \text{Pr} &= \frac{c_p \nu}{\lambda}; \\ \text{Pr} &= \frac{2,6 \cdot 10^3 \cdot 783 \cdot 1,5 \cdot 10^{-6}}{0,12} = 25,44. \end{aligned}$$

Необходимо определить критерий Нуссельта [4] по формуле, которая зависит от формы сечения, режима движения и свойств потока:

1. *Движение теплоносителя по трубам:*

— устойчивое турбулентное движение ($Re > 10\,000$)

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4};$$

— переходное движение ($2300 < Re < 10\,000$)

$$Nu = 0,008 Re^{0,9} Pr^{0,43};$$

— ламинарное движение ($Re < 2300$)

$$Nu = a(RePr)^{0,2}(GrPr)^{0,1} a = 0,63 - 0,85.$$

2. *Движение теплоносителя вне труб в кольцевом сечении между двумя трубами:*

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} (D/d_H)^{0,45}.$$

3. *В межтрубном пространстве кожухотрубчатых теплообменников:*

— без перегородок

$$Nu = 1,16 \cdot (d_{эжв} Re)^{0,6} Pr^{0,33};$$

— с перегородками $Nu = 0,2 Re^{0,6} Pr^{0,33}$

$$Nu = 0,023 Re^{0,8} Pr^{0,4} = 0,023 \cdot 11\,300^{0,8} \cdot 25,44^{0,4} = 146,7.$$

Определяем коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha = \frac{Nu}{d} \lambda = \frac{146,7 \cdot 0,12}{0,021} = 838,28 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

3.3. Рассчитать коэффициент теплопередачи K в теплообменном аппарате типа «труба в трубе», если $\alpha_1 = 1250 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$; $\alpha_2 = 928 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$; $\lambda = 40 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$; $\sigma = 0,004 \text{ м}$; $R_1 = R_2 = 0,0007$.

Р е ш е н и е.

Определяем K по формуле

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_1 + \frac{\sigma}{\lambda} + R_2 + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{1250} + 0,0007 + \frac{0,004}{40} + 0,0007 + \frac{1}{928}} = 296,7 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

3.4. Определить тепловую нагрузку печи установки АТ производительностью 130 тыс. кг/ч нефти ($\rho_4^{20} = 0,875$). В печи нефть нагревается от 240 до 350°C, при этом доля отгона составляет 0,25. В пароперегревателе 800 кг/ч пара перегревается от 120 до 400°C. Плотность отгона — 0,8, остатка — 0,92. Влажность водяного пара составляет 2%.

Р е ш е н и е.

Находим полезную тепловую нагрузку печи:

$$Q_{\text{пол}} = Q_{\text{наг}} + Q_{\text{исп}} + Q_{\text{пер.в.п.}}$$

Энтальпию нефти, отгона и остатка находим по таблице энтальпий [7]:

— энтальпия нефти — 537,75 кДж/кг;

— энтальпия отгона — 1102,22 кДж/кг;

— энтальпия остатка — 830,22 кДж/кг.

Количество сырья $G = 130\,000/3600 = 36,11 \text{ кг/с}$.

Тепло, затраченное на нагревание и испарение нефти:

$$Q = 36,11 \cdot 0,25 \cdot (1102,22 - 537,75) + 36,11 \cdot (1 - 0,25) \cdot (830,22 - 537,75) = \\ = 5095,75 + 7920,8 = 13016,55 \text{ кВт.}$$

Тепло на перегрев водяного пара:

$$Q_{в.п} = G_{в.п}(x_1 + C(t_2 - t_1)) = (800/3600)(0,02 \cdot 2262 + 0,5 \cdot (1171 - 503)) = \\ = 84,19 \text{ кВт.}$$

Полезная тепловая нагрузка печи:

$$Q = 13016,55 + 84,1 = 13100,65 \text{ кВт.}$$

3.2. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Определить среднелогарифмическую разность температур при прямо- и противоточном движении потоков в теплообменном аппарате, если бензиновая фракция охлаждается от 160 до 50°C, при этом вода нагревается от 20 до 40°C.

2. Определить количество тепла (кВт), переносимого 86,4 т/ч газа, содержащего 37%масс. этана, 45%масс. пропана и 18%масс. бутана при температуре 60°C, давлении 4 атм.

3. Определить полезную тепловую нагрузку в теплообменном аппарате, охлаждающем 170 000 кг/ч нефтепродукта (плотность 845 кг/м³ при 20°C) от 200 до 100°C.

4. Определить количество воды, необходимое для охлаждения 25 000 кг/ч керосина от 190 до 80°C ($\rho_4^{20} = 0,790$), если вода при противоточном движении потоков нагревалась от 25 до 62°C.

5. Определить, до какой температуры охладится 2,5 кг/с керосина от температуры 190°C ($\rho_4^{20} = 0,820$), если 9,2 кг/с воды при противоточном движении потоков нагревалась от 25 до 62°C.

6. Определить тепловую нагрузку, необходимую площадь поверхности нагрева и расход мазута ($\rho_4^{20} = 0,930$) для подогрева 20 кг/с нефти от 80 до 200°C, если коэффициент теплопередачи $K = 179 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$. Мазут при противоточном движении охлаждается от 320 до 220°C.

7. Определить тепловую нагрузку, необходимую площадь поверхности нагрева и расход воды для охлаждения 12 кг/с фенола от 180 до 80°C, если коэффициент теплопередачи $K = 270 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$. Вода при противоточном движении нагревается от 20 до 70°C.

8. Рассчитать и сравнить со справочными данными критерий Прандтля для воды при температуре 50°C.

9. Рассчитать коэффициент теплопередачи K в кожухотрубном теплообменном аппарате, если диаметр трубок составляет 25×2 мм, $\alpha_1 = 1137 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$, $\alpha_2 = 882 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$, $\lambda = 40 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$, $R_1 = R_2 = 0,0015$.

10. Рассчитать критерий Прандтля нефтепродукта при температуре 157°C, если $\rho_4^{20} = 0,745$, динамическая вязкость равна $0,4 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

11. Обосновать безразмерность критериев подобия Nu, Re, Pr.

12. Рассчитать критерий Нуссельта для нефтепродукта ($\rho_4^{20} = 0,845$), движущегося в трубе диаметром 48×4 мм, при 185°C, если $\alpha = 962$ Вт/(м²·К).

13. Определить коэффициент теплоотдачи от потока к стенке в трубке диаметром 48×4 мм, если Re = 1500, теплопроводность равна 0,108 Вт/(м·К), плотность потока — 847 кг/м³, кинематическая вязкость — $1,65 \cdot 10^{-6}$ м²/с, теплоемкость — 2,42 кДж/(кг·К).

14. Определить коэффициент теплоотдачи от потока к стенке в трубке диаметром 25×2,5 мм, если Re = 5730, теплопроводность равна 0,13 Вт/(м·К), плотность потока — 734 кг/м³, кинематическая вязкость — $1,37 \cdot 10^{-6}$ м²/с, теплоемкость — 2,73 кДж/(кг·К).

15. Определить коэффициент теплоотдачи от потока к стенке в трубке диаметром 48×4 мм, если Re = 21 500, теплопроводность равна 0,0845 ккал/(м·ч·°C), плотность потока — 0,715 г/см³, кинематическая вязкость — $0,598 \cdot 10^{-6}$ м²/с, теплоемкость — 0,628 ккал/(кг·°C).

16. Определить коэффициент теплоотдачи для воды, нагреваемой в трубном пространстве (диаметр труб — 25×2 мм), если вода движется со скоростью 0,7 м/с, средняя температура воды — 47,5°C, $\mu^{47,5} = 0,565 \cdot 10^{-3}$ Па·с; $\rho^{47,5} = 983$ кг/м³; $\lambda^{47,5} = 0,638$ Вт/(м·К); Pr^{47,5} = 3,66.

17. Определить коэффициент теплоотдачи для нефтепродукта в кольцевом пространстве, диаметр наружной трубы — 108×5 мм, внутренней трубы — 48×4 мм, если продукт движется со скоростью 1,2 м/с, кинематическая вязкость при этой температуре — $2,4 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\lambda = 0,18$ Вт/(м·К); Pr = 17,4.

18. Определить коэффициент теплоотдачи для 20 кг/с бензина $\rho_4^{20} = 0,725$ при средней температуре потока 100°C в межтрубном пространстве кожухотрубного теплообменного аппарата без перегородок, площадь самого узкого сечения — 0,0385 м², кинематическая вязкость при температуре перекачки — $0,2 \cdot 10^{-6}$ м²/с; $\lambda = 0,11$ Вт/(м·К); Pr = 4,4.

19. Рассчитать коэффициент теплопередачи K в теплообменном аппарате типа «труба в трубе», если диаметр теплообменной трубы 48×4 мм, $\alpha_1 = 950$ Вт/(м²·К); $\alpha_2 = 1461$ Вт/(м²·К); $\lambda = 40$ Вт/(м·К); $R_1 = R_2 = 0,0015$.

20. Определить тепловую нагрузку печи установки ВТ, если производительность по мазуту составляет 150 тыс. кг/ч ($\rho_4^{20} = 0,921$). Мазут нагревается от 300 до 390°C, при этом доля отгона составляет 0,35. В пароперегревателе 1000 кг/ч пара перегревается от 130 до 400°C. Плотность отгона — 0,85, остатка — 0,95. Влажность водяного пара — 2%.

4. МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ

4.1. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

4.1. Рассчитать мольный состав и молекулярную массу смеси, состав которой $X_1 = 0,32$, $M_1 = 80$, $X_2 = 0,21$, $M_2 = 90$, $X_3 = 0,35$, $M_3 = 100$, $X_4 = 0,12$.

Р е ш е н и е.

$$\sum X_i = 0,32 + 0,21 + 0,35 + 0,12 = 1.$$

Пересчитаем массовые доли в мольные [8]:

$$X'_i = \frac{X_i / M_i}{\sum X_i / M_i};$$

$$X_1 / M_1 = 0,32 / 80 = 0,004;$$

$$X_2 / M_2 = 0,21 / 90 = 0,0023;$$

$$X_3 / M_3 = 0,35 / 100 = 0,0035;$$

$$X_4 / M_4 = 0,12 / 110 = 0,0011;$$

$$\sum X_i M_i = 0,0108;$$

$$X'_1 = 0,004 / 0,0108 = 0,37;$$

$$X'_2 = 0,0023 / 0,0108 = 0,21;$$

$$X'_3 = 0,0035 / 0,0108 = 0,32;$$

$$X'_4 = 0,0011 / 0,0108 = 0,1;$$

$$\sum X'_i = 0,37 + 0,21 + 0,32 + 0,1;$$

$$M = \sum M_i X'_i = 0,37 \cdot 80 + 0,21 \cdot 90 + 0,32 \cdot 100 + 0,1 \cdot 110 = 91,5 \text{ кг/моль.}$$

4.2. Методом постепенного приближения определить температуру верха колонны, если известно давление вверху колонны $p_D = 1,0$ МПа, состав выводимого дистиллята Y_i : $\text{CH}_4 = 0,4$, $\text{C}_2\text{H}_6 = 0,2$, $\text{C}_3\text{H}_8 = 0,3$, $\text{C}_4\text{H}_{10} = 0,1$.

Р е ш е н и е.

Температура верха определяется из условия конца однократного испарения соответствующей фракции [3, 8, 9] (методом постепенного приближения). Выбирают температуру верха колонны t_D , расчет ведут на эту температуру, а затем проверяют правильность подобранной температуры $\sum (y'_i / K_i) = 1$.

Определяют константу фазового равновесия при заданном давлении и принятой температуре верха по номограмме (см. приложение).

Проверяют выполнение условия конца однократного испарения или $\sum (y'_i / K_i) = 1$ и правильность выбранной температуры верха колонны. Расчет проводят многократно.

Принимаем температуру верха 10°C.

$$\begin{aligned} Y_1/K_1 &= 0,4/14 = 0,026; \\ Y_2/K_2 &= 0,2/2,5 = 0,08; \\ Y_3/K_3 &= 0,3/0,7 = 0,42; \\ Y_4/K_4 &= 0,1/0,21 = 0,474; \\ \sum Y_i / K_i &= 1. \end{aligned}$$

Температура верха колонны при 1,0 МПа равна 10°C.

4.3. Составить материальный баланс вакуумной колонны. Производительность по нефти — 5 млн т/год, ч. р. д. = 340. Сырье — мазут туймазинской нефти. Продукты — фракции 350–420, 420–500, > 500°C.

Р е ш е н и е.

Таблица 1

Потенциальное содержание фракций туймазинской нефти [10]

До 85°C	100	120	140	150	180	200	240	260	280	300
5,9	8,3	10,9	15,1	16,7	21,8	25,1	31,0	34,5	37,3	40,7
320°C	350	380	400	420	450	470	480	490	500	—
44,0	49,0	53,0	56,0	59,0	64,0	67,0	69,0	71,0	74,0	—

Находим годовую производительность по мазуту:

Мазут фр. > 350 — 51% на нефть;

5 млн т/год — 100%;

x — 51%; $x = 5\,000\,000 \cdot 51/100 = 2\,550\,000$ т/год.

Находим часовую производительность по мазуту:

$$G = 2\,550\,000\,000 / (24 \cdot 340) = 312\,500 \text{ кг/ч.}$$

Определяем секундную производительность по мазуту:

$$G = 312\,500 / 3600 = 86,8 \text{ кг/с.}$$

Составляем материальный баланс.

Таблица 2

Материальный баланс вакуумной колонны

Статьи	% на нефть	% на сырье	G, кг/ч	G, кг/с
Приход Мазут фр. > 350	51,0	100,0	312 500	86,8
Итого	51,0	100,0	312 500	86,8

Статьи	% на нефть	% на сырье	G, кг/ч	G, кг/с
Расход				
ЛВГ фр. 350–420	10,0	19,6	61274,5	17,02
ТВГ фр. 420–500	15,0	29,4	91911,7	25,53
Гудрон фр. > 500	26,0	51,0	159313,7	44,25
Итого	51,0	100,0	312 500	86,8

4.4. Составить тепловой баланс вторичной колонны перегонки бензина, если количество сырья составляет 15,28 кг/с, температура — 423 К, плотность при 20°C — 0,74; дистиллят — 6,21 кг/с, температура — 403 К, плотность при 20°C — 0,7225; остаток — 9,07 кг/с, температура — 447 К, плотность при 20°C — 0,76; кратность орошения — 4, доля отгона — 0,57.

Р е ш е н и е.

Тепловой баланс составляется на основе закона сохранения энергии [1, 3, 7, 10]:

$$\begin{aligned} Q_{\text{прих}} &= Q_{\text{рас}}; \\ Q_{\text{прих}} &= Q_L + Q_{\text{т. п}}; \\ Q_L &= L(eI_{Ll} + (1 - e)i_{Ll}), \end{aligned}$$

где e — доля отгона; L — количество сырья, поступающего в колонну, кг/с; I_{Ll} , i_{Ll} — энтальпия паров и жидкости при температуре ввода сырья и плотности сырья (по таблице энтальпий), кДж/кг;

$$Q_g = g(I_D - i_g),$$

где g — количество холодного орошения, кг/с; I_D , i_g — энтальпия дистиллята при температуре дистиллята и энтальпия орошения при температуре ввода холодного орошения, кДж/кг.

Составляем тепловой баланс.

Таблица 3

Тепловой баланс вторичной колонны

Статьи	G, кг/с	T, К	Q, кВт	ρ
Приход				
Сырье	15,28	423	7725,8	0,74
Подвод тепла			12722,44	
Итого	15,28		20448,42	
Расход				
Дистиллят	6,21	403	3757,92	0,7225
Остаток	9,07	447	3707,63	0,76
Орошение		313	12982,87	0,7225
Итого			20448,42	

$Q_{\text{т. п}}$ — тепло подвода, определяется как разность статей теплового баланса:

$$Q_{\text{т. п}} = Q_{\text{расх}} - Q_L.$$

$$Q_{\text{расх}} = Q_D + Q_R + Q_g;$$

$$Q_D = DI_{ID},$$

где D — количество отбираемого дистиллята, кг/с; I_{ID} — энтальпия паров при температуре верха колонны и плотности дистиллята;

$$Q_R = Ri_{iR},$$

где R — количество остатка, отбираемое с низа колонны, кг/с; i_{iR} — энтальпия остатка при температуре низа колонны и плотности остатка, кДж/кг.

4.5. Определить температуру низа колонны, если остаток фракций 140–180 туймазинской нефти, давление внизу колонны — 2,3 атм.

Решение.

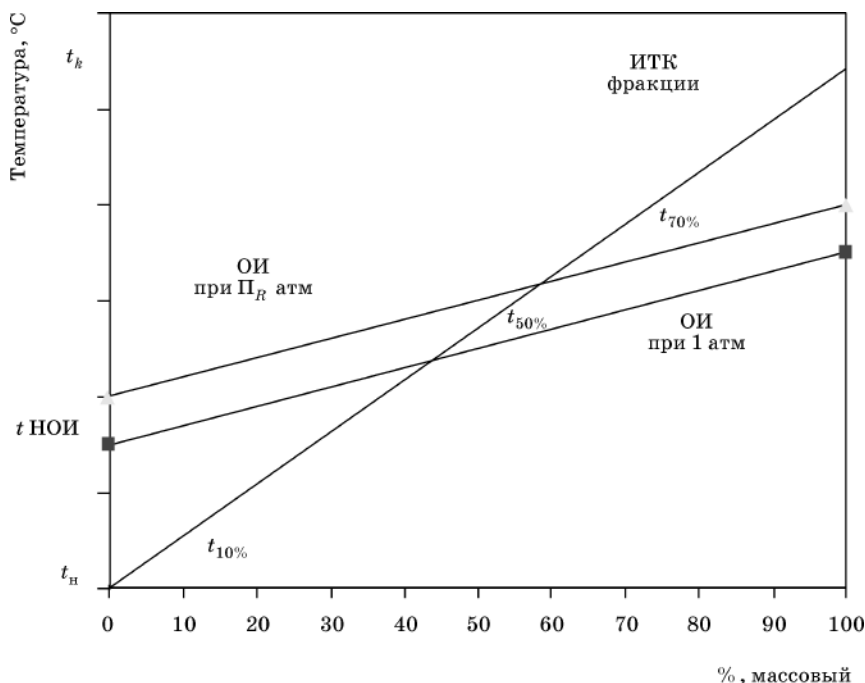


Рис. 1
Определение температуры низа колонны

Температура низа определяется из условия начала однократного испарения графическим методом Смидовича — Обрядчикова.

Строят ИТК фракций 140–180. Для этого определяют промежуточную точку при температуре 150°C.

6,7% на нефть — 100% фракции;

1,6% на нефть — x ;

$x = 1,6 \cdot 100/6,7 = 23,8\%$ фракции при 150°C.

По ИТК фракций 140–180 определяют t_{10} , t_{50} , t_{70} этой фракции.

Строят линию однократного испарения при атмосферном давлении, для этого определяют tg угла ИТК $= (t_{70} - t_{10})/60$; по графику Смидовича — Обрядчикова находят %НОИ и %КОИ, которые откладывают на ИТК фракции, полученные точки НОИ и КОИ соединяют прямой линией.

Определяют температуру НОИ на давление низа колонны (по сетке Максвелла), принимают за температуру низа колонны температуру НОИ при заданном давлении.

4.6. Сделать гидравлический расчет ректификационной тарелки, если количество орошения — 33,6 кг/с, плотность орошения — 632 кг/м³, плотность пара — 10,3 кг/м³, секундный объем паров — 8,2 м³/с, тарелка клапанная однопоточная, периметр слива — 7,1 м, свободное сечение — 7 м².

Величина подпора жидкости на тарелке:

$$h = \sqrt[3]{\left(\frac{v}{6,4B}\right)^2}, \text{ см} < 5,$$

где B — периметр слива, $B = 7,1$ м; v — объем жидкости в м³/ч, $v = g/\rho$.

$$v = \frac{33,6}{632} \cdot 3600 = 362,3 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$h = \sqrt[3]{\left(\frac{362,3}{6,4 \cdot 7,1}\right)^2} = 4 \text{ см} < 5;$$

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3, \text{ Н/м}^2,$$

где ΔP_1 — сопротивление сухой тарелки; ΔP_2 — сопротивление столба жидкости; ΔP_3 — сопротивление поверхностного натяжения.

$$\Delta P_1 = \xi \frac{\rho_n \omega_{\text{пр}}^2}{2}, \text{ Н/м}^2,$$

где ρ_n — плотность паров, $\rho_n = 10,3$ кг/м³; ξ — коэффициент сопротивления, $\xi = 5,5$ [9]; $\omega_{\text{пр}}$ — скорость газа в прорезях.

$$\omega_{\text{пр}} = \frac{V_{\text{п}}}{f_{\text{св}}},$$

где $V_{\text{п}}$ — объем паров, $V_{\text{п}} = 8,2$ м³/с; $f_{\text{св}}$ — свободное сечение тарелки [9].

$$\omega_{\text{пр}} = \frac{8,2}{7} = 1,17 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$\Delta P_1 = \frac{5,5 \cdot 10,3 \cdot (1,17)^2}{2} = 38,8 \text{ Н/м}^2;$$

$$\Delta P_2 = k g \rho_{\text{ж}} h_{\text{в}},$$

где k — коэффициент аэрации, $k = 0,8$.

$$h_6 = h_z \frac{h}{2}, \text{ м};$$

$$h_z = 40 \text{ мм};$$

$$h_6 + \frac{40}{2} = 60 \text{ мм} = 0,06 \text{ м};$$

$$\Delta P_2 = 0,8 \cdot 9,8 \cdot 63,2 \cdot 0,06 = 297,3 \text{ Н/м}^2;$$

$$\Delta P_3 = \frac{4\sigma}{d_{\text{экв}}},$$

где σ — коэффициент поверхностного натяжения, Н/м.

$$\sigma = 20,5 \cdot 10^{-3}, \text{ Н/м};$$

$$d = 0,05 \text{ м};$$

$$\Delta P_3 = \frac{4 \cdot 20,5 \cdot 10^{-3}}{0,05} = 1,65 \text{ Н/м}^2;$$

$$\Delta P = 38,8 + 297,3 + 1,64 = 337,74 \text{ Н/м},$$

что допустимо.

4.2. ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Построить ИТК фракций 85–180, 180–240, 240–350 чекмагушевской нефти.

2. Составить материальный баланс основной ректификационной колонны (К-2). Производительность по нефти — 1,5 млн т/год, число рабочих дней (ч. р. д.) — 350. Сырье — частично отбензиненная туймазинская нефть фракции > 100. Продукты: фракции 100–140, 140–240, 240–350, > 350.

3. Составить материальный баланс вакуумной колонны. Производительность по нефти — 4 млн т/год, число рабочих дней (ч. р. д.) — 320. Сырье — мазут якушкинской нефти фракции > 350. Продукты: фракции 350–420, 420–500.

4. Построить линию ОИ фракций 100–140 при давлении 4 атм.

5. Построить линию ОИ фракций 350–420 при давлении 100 мм рт. ст.

6. Методом постепенного приближения определить температуру верха колонны, если давление вверху колонны составляет 0,5 МПа, состав выводимого дистиллята: этана — 0,3, пропана — 0,3, бутана — 0,4.

7. Методом постепенного приближения определить температуру верха колонны, если давление вверху колонны составляет 0,25 МПа, дистиллят — фракции 85–140 шкаповской нефти.

8. Методом постепенного приближения определить температуру верха колонны, если давление вверху колонны составляет 0,4 МПа, состав выводимого

го дистиллята: пропана — 0,12, бутана — 0,18, фракций 85–100 — 0,2, фракций 100–120 — 0,2, фракций 120–140 — 0,3.

9. Методом постепенного приближения определить температуру низа колонны, если давление внизу колонны составляет 0,4 МПа, состав выводимого остатка фракций 140–180 шкаповской нефти.

10. Методом Смидовича — Обрядчикова определить температуру верха колонны при давлении ввода сырья 1,5 атм, числе тарелок выше ввода сырья 20. Дистиллят фракций 100–180 туймазинской нефти.

11. Методом Смидовича — Обрядчикова определить температуру низа колонны при давлении ввода сырья 1,5 атм, числе тарелок ниже ввода сырья 16. Остаток фракций 140–180 туймазинской нефти.

12. Определить количество тепла, вносимое сырьем в колонну при температуре 160°C, $e = 0,38$, относительная плотность сырья — 0,775. Производительность по сырью — 56 000 кг/ч.

13. Определить количество тепла, снимаемого холодным орошением, при температуре 40°C, если дистиллят отбирается при температуре 170°C в количестве 12 000 кг/ч, флегмовом числе 3,5, плотность дистиллята при 20°C — 751 кг/м³.

14. Определить секундный объем паров наверху колонны, если при кратности орошения 4 отбирается дистиллят в количестве 5,7 кг/с при температуре 128°C и давлении 2,3 атм.

15. Определить допустимую скорость наверху колонны при температуре 130°C, если отбирается дистиллят ($\rho_4^{20} = 0,736$) в количестве 6,2 кг/с, флегмовом числе 3, секундный объем паров — 4,1 м³/с.

16. Определить диаметр колонны, если при кратности орошения 1,5 отбирается дистиллят в количестве 15 457 кг/ч при температуре 124°C и давлении 1,6 атм, допустимая скорость в колонне — 0,65 м/с.

17. Определить диаметр колонны при 123°C, если отбирается дистиллят ($\rho_4^{20} = 0,728$) в количестве 4,7 кг/с, флегмовом числе 3,7, секундный объем паров — 3,6 м³/с.

18. Составить материальный баланс атмосферной колонны. Производительность по нефти — 3 млн т/год, ч. р. д. = 320. Сырье — частично отбензиненная туймазинская нефть. Продукты — фракции 100–180, 180–240, 240–350, > 350.

Таблица 4

Потенциальное содержание фракций туймазинской нефти [10]

До 85°C	100	120	140	150	180	200	240	260	280	300
4,7	7,8	10,6	14,7	16,7	21,8	26,4	33,2	34,5	37,3	41,3
320°C	350	380	400	420	450	470	480	490	500	—
45,0	47,3	53,7	58,2	60,3	64,0	67,6	69,0	70,8	74,0	—

19. Составить тепловой баланс вторичной колонны перегонки бензина, если количество бензина составляет 43 200 кг/ч, температура — 434 К, плотность при 20°C — 0,753; дистиллят — 19 800 кг/ч, температура — 405 К, плотность при 20°C — 0,735; остаток 23 400 кг/ч, температура — 450 К, плотность при 20°C — 0,768; кратность орошения — 2,5, доля отгона — 0,4.

20. Составить материальный баланс вторичной колонны перегонки бензина туймазинской нефти. Производительность по сырью — 45 000 кг/ч.

21. Составить материальный баланс вакуумной колонны. Производительность по нефти — 1 млн т/год, ч. р. д. = 350. Сырье — мазут туймазинской нефти. Продукты — фракции 350–450, > 450.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

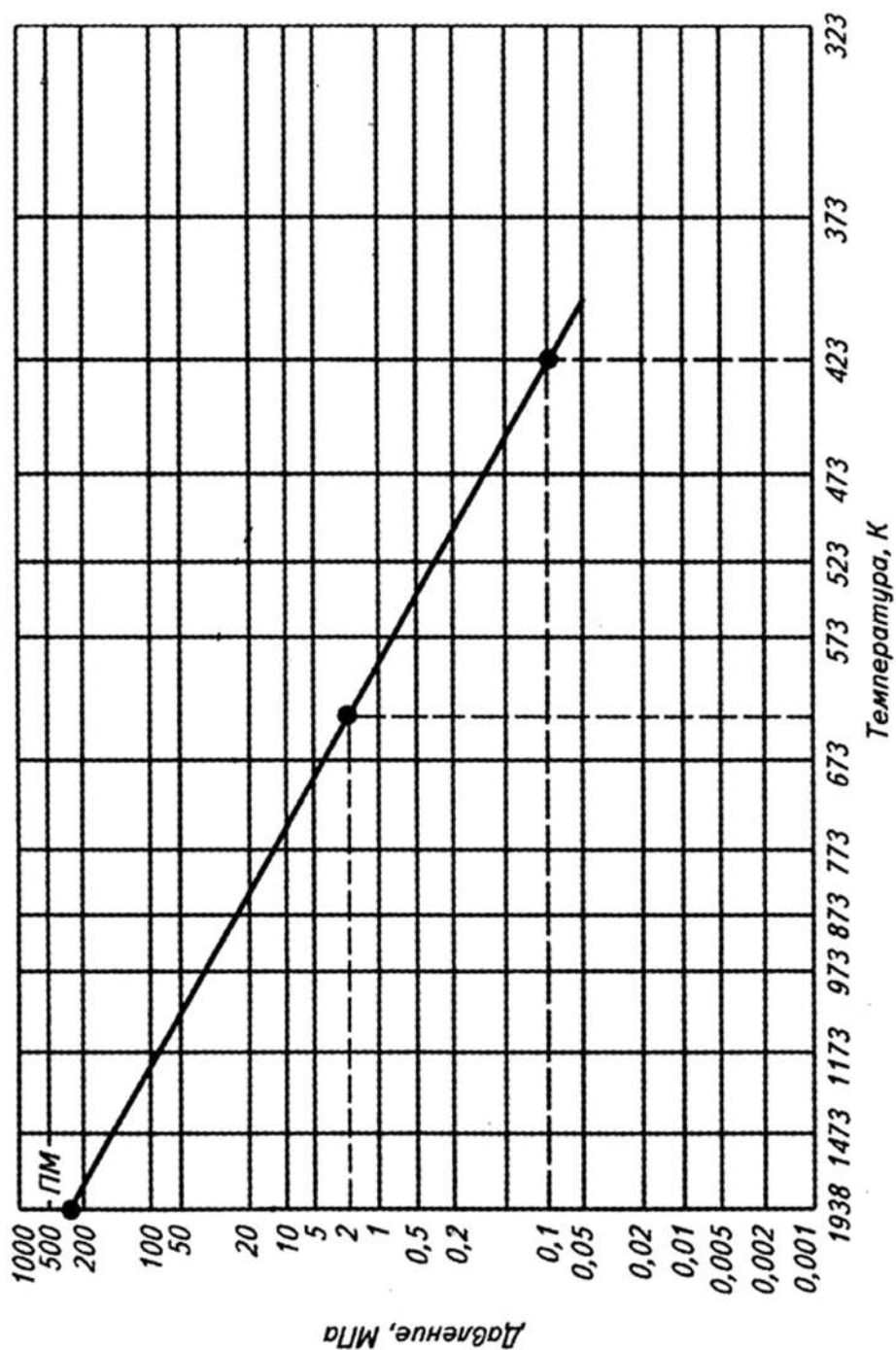
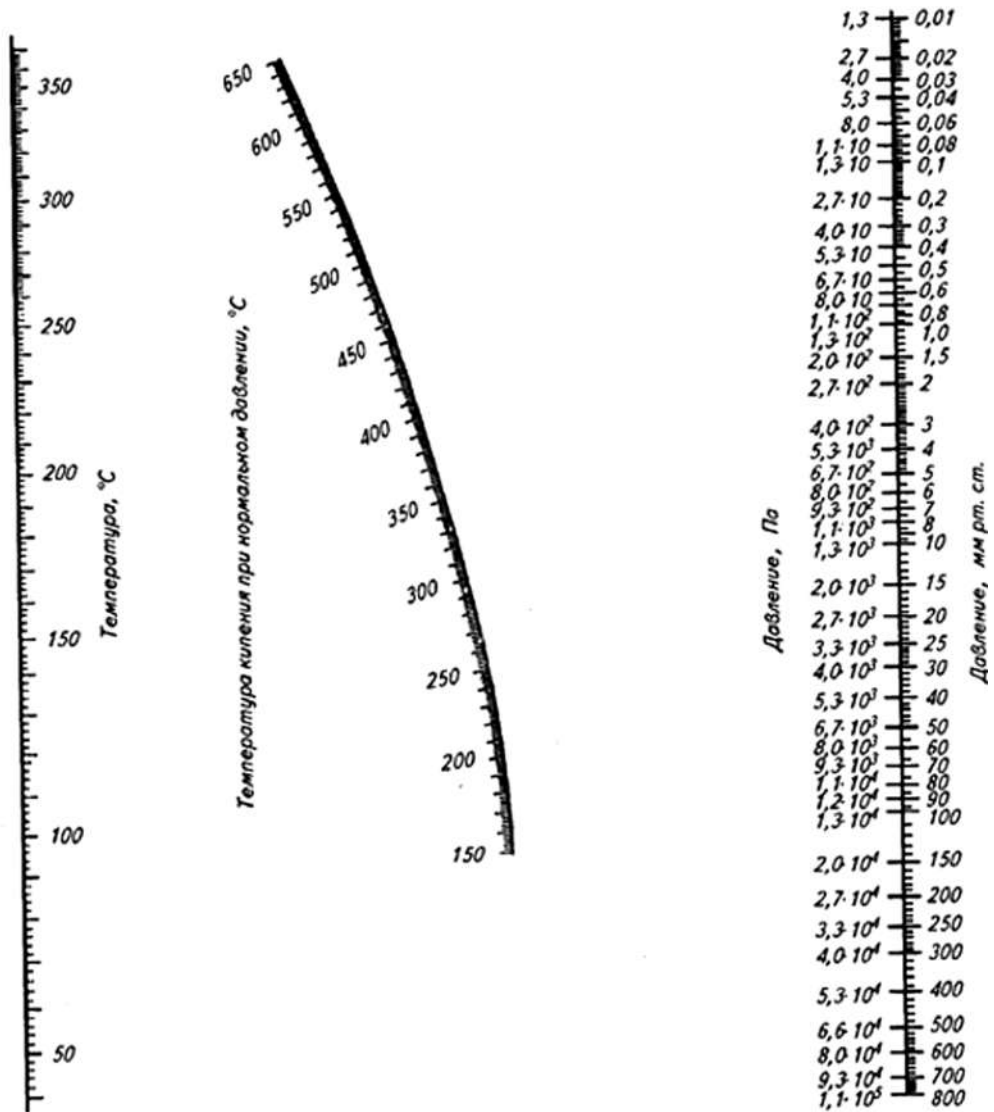


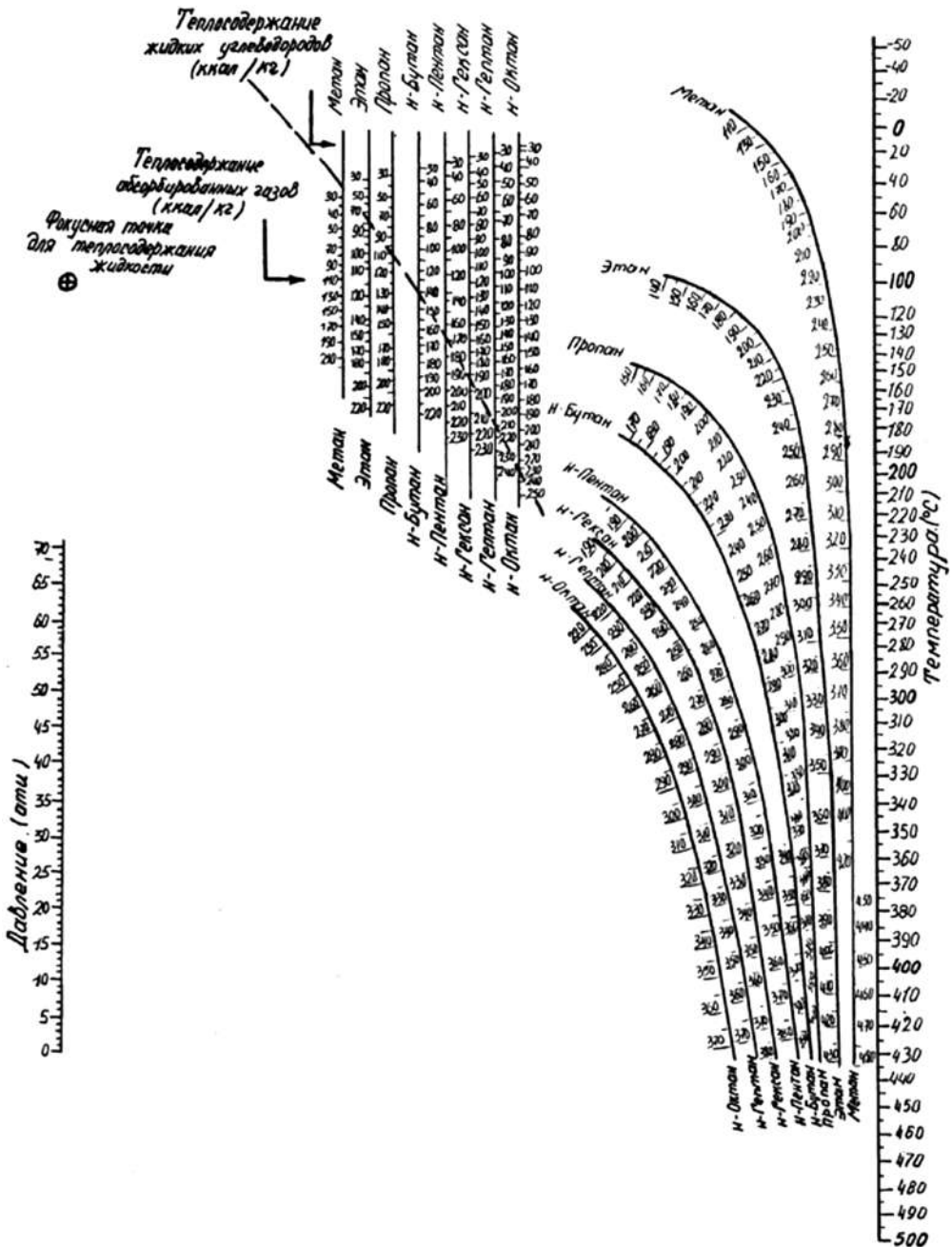
График Максвелла (ПМ — полюс Максвелла)

ПРИЛОЖЕНИЕ 2



Номограмма УОР для пересчета температур кипения нефтепродукта при глубоком вакууме на температуры кипения при атмосферном давлении

ПРИЛОЖЕНИЕ 3



Теплосодержание легких углеводородов

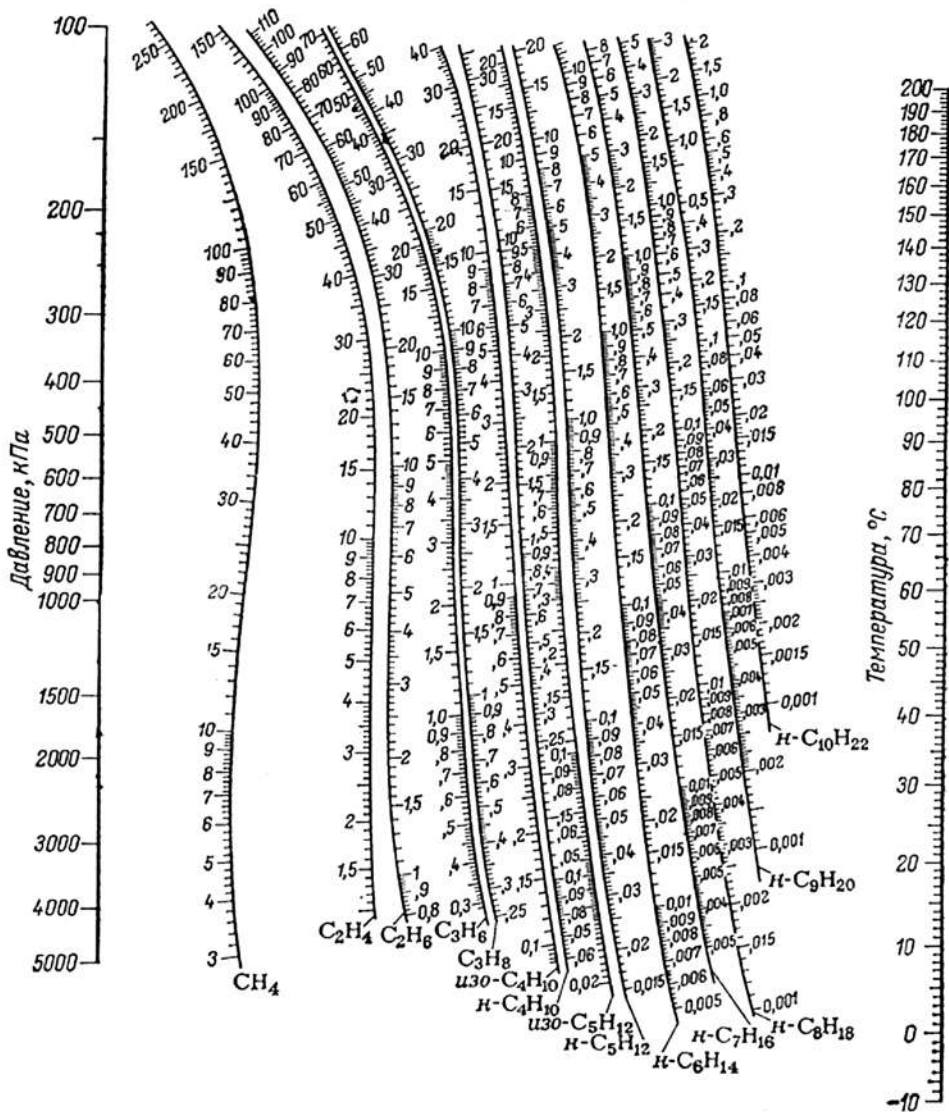
ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ (НА ЛИНИИ НАСЫЩЕНИЯ).

Пересчет в СИ: $1 \text{ кгс/см}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па}$

p , кгс/см ²	t , °C	ρ , кг/м ³	i , кДж/кг	c , кДж/кг·K	$\lambda \cdot 10^{-2}$, Вт/м·K	$\alpha \cdot 10^{-7}$, м ² /с	$\mu \cdot 10^{-6}$, Па·с	$\nu \cdot 10^{-6}$, м ² /с	$\beta \cdot 10^{-4}$, K ⁻¹	$\sigma \cdot 10^{-4}$, кг/с ²	Pr
1	0	1000	0	4,23	55,1	1,31	1790	1,79	-0,63	756	13,7
1	10	1000	41,9	4,19	57,5	1,37	1310	1,31	+0,70	762	9,52
1	20	998	83,8	4,19	59,9	1,43	1000	1,01	1,82	727	7,02
1	30	996	126	4,18	61,8	1,49	804	0,81	3,21	712	5,42
1	40	992	168	4,18	63,4	1,53	657	0,66	3,87	697	4,31
1	50	988	210	4,18	64,8	1,57	549	0,556	4,49	677	3,54
1	60	983	251	4,18	65,9	1,61	470	0,478	5,11	662	2,98
1	70	978	293	4,19	66,8	1,63	406	0,415	5,70	643	2,55
1	80	972	335	4,19	67,5	1,66	355	0,365	6,32	626	2,21
1	90	965	377	4,19	68,0	1,68	315	0,326	6,95	607	1,95
1,03	100	958	419	4,23	68,3	1,69	282	0,295	7,5	589	1,75
1,46	110	951	461	4,23	68,5	1,69	256	0,268	8,0	569	1,58
2,02	120	943	503	4,23	68,6	1,72	231	0,244	8,6	549	1,43
2,75	130	935	545	4,27	68,6	1,72	212	0,226	9,2	529	1,32
3,68	140	926	587	4,27	68,5	1,72	196	0,212	9,7	507	1,23
4,85	150	917	629	4,32	68,4	1,72	185	0,202	10,3	487	1,17
6,30	160	907	671	4,36	68,3	1,72	174	0,191	10,8	466	1,10
8,08	170	897	713	4,40	67,9	1,72	163	0,181	11,5	444	1,05
10,23	180	887	755	4,44	67,5	1,72	153	0,173	12,2	424	1,01

ПРИЛОЖЕНИЕ 5



Номограмма для определения констант фазового равновесия k углеводородов при высоких температурах

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

СВОЙСТВА НАСЫЩЕННОГО ВОДЯНОГО ПАРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ.

Пересчет в СИ: $1 \text{ кгс/см}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па}$

Темпе- ратура, °С	Давление (абсолютное), кгс/см ²	Удельный объем, м ³ /кг	Плотность, кг/м ³	Удельная энтальпия жидкости i' , кДж/кг	Удельная энтальпия пара i'' , кДж/кг	Удельная теплота парообра- зования r , кДж/кг
1	2	3	4	5	6	7
0	0,0062	206,5	0,00484	0	2493,1	2493,1
5	0,0089	147,1	0,00680	20,95	2502,7	2481,7
10	0,0125	106,4	0,00940	41,90	2512,3	2470,4
15	0,0174	77,9	0,01283	62,85	2522,4	2459,5
20	0,0238	57,8	0,01729	83,80	2532,0	2448,2
25	0,0323	43,40	0,02304	104,75	2541,7	2436,9
30	0,0433	32,93	0,03036	125,70	2551,3	2425,6
35	0,0573	25,25	0,03960	146,65	2561,0	2414,3
40	0,0752	19,55	0,05114	167,60	2570,6	2403,0
45	0,0977	15,28	0,06543	188,55	2579,8	2391,3
50	0,1258	12,054	0,0830	209,50	2589,5	2380,0
55	0,1605	9,589	0,1043	230,45	2598,7	2368,2
60	0,2031	7,687	0,1301	251,40	2608,3	2356,9
65	0,2550	6,209	0,1611	272,35	2617,5	2345,2
70	0,3177	5,052	0,1979	293,30	2626,3	2333,0
75	0,393	4,139	0,2416	314,3	2636	2321
80	0,483	3,414	0,2929	335,2	2644	2310
85	0,590	2,832	0,3531	356,2	2653	2297
90	0,715	2,365	0,4229	377,1	2662	2285
95	0,862	1,985	0,5039	398,1	2671	2273
100	1,033	1,675	0,5970	419,0	2679	2260
105	1,232	1,421	0,7036	440,4	2687	2248
110	1,461	1,212	0,8254	461,3	2696	2234
115	1,724	1,038	0,9635	482,7	2704	2221
120	2,025	0,893	1,1199	504,1	2711	2207
125	2,367	0,7715	1,296	525,4	2718	2194
130	2,755	0,6693	1,494	546,8	2726	2179
135	3,192	0,5831	1,715	568,2	2733	2165
140	3,685	0,5096	1,962	589,5	2740	2150

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
145	4,238	0,4469	2,238	611,3	2747	2125
150	4,855	0,3933	2,543	632,7	2753	2120
160	6,303	0,3075	3,252	654,1	2765	2089
170	8,080	0,2431	4,113	719,8	2776	2056
180	10,23	0,1944	5,145	763,8	2785	2021
190	12,80	0,1568	6,378	808,3	2792	1984
200	15,85	0,1276	7,840	852,7	2798	1945
210	19,55	0,1045	9,567	897,9	2801	1904
220	23,66	0,0862	11,600	943,2	2803	1860
230	28,53	0,07155	13,98	989,3	2802	1813
240	34,13	0,05967	16,76	1035	2799	1763
250	40,55	0,04998	20,01	1082	2792	1710
260	47,85	0,04199	23,82	1130	2783	1653
270	56,11	0,03538	28,27	1178	2770	1593
280	65,42	0,02988	33,47	1226	2754	1528
290	75,88	0,02525	39,60	1275	2734	1459
300	87,6	0,02131	46,93	1327	2710	1384
310	100,7	0,01799	55,59	1380	2682	1302
320	115,2	0,01516	65,95	1437	2650	1213
330	131,3	0,01273	78,53	1498	2613	1117
340	149,0	0,01064	93,98	1564	2571	1009
350	168,6	0,00884	113,2	1638	2519	881,2
360	190,3	0,00716	139,6	1730	2444	713,6
370	214,5	0,00585	171,0	1890	2304	411,5
374	225	0,00310	322,6	2100	2100	0

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

ЭНТАЛЬПИЯ НЕФТЯНЫХ ЖИДКОСТЕЙ (в кДж/кг)

Т, К	Относительная плотность при 288 К							
	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
1	2	3	4	5	6	7	8	9
273	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
275	4,23	4,06	3,89	3,77	3,68	3,56	3,48	3,38
277	8,42	8,08	7,83	7,58	7,37	7,16	6,95	6,77
279	12,64	12,18	11,76	11,39	11,05	10,76	10,47	10,19
281	16,87	16,24	15,70	15,20	14,74	14,36	13,98	13,61
283	21,14	20,39	19,68	19,05	18,51	17,96	17,50	17,04
285	25,41	24,49	23,66	22,90	22,23	21,27	21,02	20,49
287	29,73	28,64	27,63	26,80	20,00	25,20	24,58	23,95
289	34,04	32,78	31,69	30,69	29,77	28,93	28,14	27,43
291	38,35	36,97	35,71	34,58	33,58	32,57	31,74	30,92
293	42,66	41,16	39,77	38,48	37,35	36,30	35,30	34,42
295	47,06	45,34	43,79	42,41	41,16	39,98	38,94	37,94
297	51,46	49,57	47,90	46,35	44,97	43,71	42,54	41,47
299	55,87	53,80	52,00	50,33	48,82	47,44	46,18	45,02
301	60,25	58,03	56,10	54,30	52,88	51,20	49,82	48,58
303	64,67	62,34	60,21	58,28	56,56	54,93	53,51	52,15
305	69,12	66,65	64,35	63,30	60,46	58,74	57,23	55,73
307	73,60	70,92	68,50	66,36	64,39	62,55	60,88	59,33
309	78,08	75,24	72,68	70,38	68,29	66,36	64,56	62,94
311	82,56	79,63	76,87	74,44	72,18	70,21	68,29	66,57
313	87,09	83,90	81,06	78,50	76,16	74,02	72,01	70,20
315	91,61	88,26	85,29	82,56	80,09	77,83	75,78	73,86
317	96,17	92,65	89,51	86,67	84,07	81,73	79,55	77,52
319	100,73	97,05	93,78	90,77	88,09	85,58	83,32	81,22
321	105,30	101,49	98,01	94,92	92,07	89,17	87,13	84,90
323	109,90	105,93	102,33	99,06	96,09	93,41	90,81	88,61
325	114,51	110,36	106,60	103,20	100,15	97,34	94,71	92,32
327	119,11	114,80	110,91	107,39	104,21	101,28	98,56	96,06

1	2	3	4	5	6	7	8	9
329	123,80	119,28	115,26	111,58	108,27	105,21	102,41	99,81
331	128,45	123,80	119,58	115,81	112,33	109,19	106,26	103,57
333	133,14	128,28	123,97	119,99	116,44	113,17	110,11	107,34
335	137,83	132,85	128,33	124,26	120,54	117,19	114,01	111,13
337	142,52	137,37	132,72	128,49	124,64	121,17	117,90	114,93
339	147,25	141,93	137,12	132,76	128,79	125,19	121,84	118,75
341	152,02	146,50	141,56	137,03	132,97	129,25	125,77	122,58
343	156,80	151,10	145,99	141,35	137,12	133,27	129,67	126,42
345	161,57	155,71	150,43	145,66	141,31	137,33	133,64	130,28
347	166,39	160,35	154,91	150,01	145,49	141,43	137,62	134,15
349	171,20	165,00	159,43	154,33	149,72	145,49	141,60	138,03
351	176,01	169,65	163,96	158,68	153,95	149,59	145,62	141,92
353	180,01	174,30	168,52	163,12	158,18	153,78	149,68	145,84
355	185,77	179,03	173,08	167,43	162,45	157,84	153,66	149,76
357	190,63	183,72	177,60	171,83	166,72	162,03	157,68	153,70
359	195,52	188,45	182,13	176,26	170,99	166,22	161,74	157,65
361	200,46	193,18	186,65	180,70	175,30	170,36	165,80	161,61
363	205,36	197,95	191,21	185,14	179,57	174,59	169,94	165,59
365	210,35	202,68	195,78	189,58	183,93	178,78	174,00	169,58
367	215,29	207,50	200,38	194,10	188,28	183,01	178,11	173,59
369	220,27	212,27	205,07	198,58	192,64	187,23	182,21	177,60
371	225,29	217,09	209,72	203,02	196,99	191,50	186,36	181,62
373	230,32	221,94	214,41	207,58	201,43	195,69	190,50	185,69
375	235,34	226,80	219,10	212,15	205,78	200,05	194,69	189,75
377	240,36	231,66	223,83	216,67	210,22	204,32	198,87	193,82
379	245,47	236,55	228,52	221,27	214,66	208,63	203,06	197,90
381	250,54	241,41	233,25	225,84	219,14	212,94	207,25	201,96
383	255,66	246,35	237,98	230,48	223,53	217,25	211,43	206,95
385	260,84	251,33	242,75	235,09	228,01	221,61	215,66	210,24
387	265,90	256,23	247,52	239,65	232,49	215,96	219,93	214,39
389	271,05	261,17	252,34	244,30	237,02	230,40	224,20	218,54

1	2	3	4	5	6	7	8	9
391	276,25	266,16	257,11	248,99	241,54	234,75	228,47	222,71
393	281,40	271,18	261,97	253,64	246,06	239,15	232,74	226,89
395	286,63	276,20	266,83	258,37	250,66	243,59	237,10	231,09
397	291,86	281,23	271,68	263,06	255,23	247,98	241,41	235,29
399	297,10	286,29	276,58	267,75	259,79	252,46	245,72	239,52
401	302,33	291,36	281,48	272,52	264,40	256,94	250,08	243,76
403	307,60	296,43	286,38	277,29	269,00	261,42	254,43	248,01
405	312,92	301,53	291,28	282,02	273,61	265,90	258,83	252,27
407	318,62	306,64	296,22	286,84	278,26	270,43	263,22	256,54
409	323,51	311,75	301,20	291,61	282,90	274,95	267,62	260,83
411	328,87	316,9	306,14	296,43	287,59	279,47	272,02	265,13
413	334,23	322,05	311,12	301,24	292,28	284,03	276,45	269,44
415	339,59	327,20	316,15	306,10	296,97	288,55	280,89	273,78
417	345,24	332,68	321,17	310,95	301,66	293,41	285,37	278,13
419	350,39	337,62	326,19	315,81	306,39	297,77	289,81	282,49
421	355,84	342,86	331,22	320,71	311,08	302,37	294,29	286,86
423	358,81	348,09	336,28	325,61	315,89	307,02	298,81	291,25
425	366,72	353,37	341,39	330,55	320,67	311,62	303,33	295,64
427	372,16	358,64	346,46	335,49	325,44	316,27	307,86	300,06
429	377,65	363,92	351,61	340,43	330,26	320,96	312,38	304,48
431	383,18	369,28	356,76	345,37	335,07	325,65	316,94	308,92
433	388,70	374,55	361,87	350,35	339,88	330,34	321,50	313,35
435	392,55	379,91	367,02	355,38	344,78	335,03	326,11	317,84
437	399,80	385,23	372,21	360,36	349,61	339,76	330,67	322,32
439	405,37	390,63	377,40	365,38	354,50	344,49	335,32	326,81
441	410,98	395,90	382,51	370,41	359,35	349,26	339,93	331,32
443	416,59	401,43	387,82	375,51	364,29	353,99	344,57	335,84
445	422,07	406,83	393,02	380,54	369,19	358,73	349,22	340,38
447	427,85	412,27	398,29	385,65	374,13	363,58	353,87	344,93
449	433,50	417,76	404,40	390,59	379,07	368,40	358,56	349,49
451	439,15	423,20	408,84	395,86	384,06	373,21	363,25	354,06

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
453	444,85	428,69	414,12	401,01	389,00	378,03	367,98	358,65
455	450,58	431,21	419,48	406,12	394,02	382,88	372,67	363,25
457	456,32	439,74	424,79	411,31	399,04	387,78	377,44	367,87
459	462,10	445,27	430,15	416,46	404,07	392,64	382,17	372,50
461	467,79	450,79	437,98	421,65	409,09	397,54	386,94	377,14
463	473,57	456,36	440,87	426,89	414,16	402,44	391,72	381,80
465	479,39	461,97	446,27	432,08	419,22	407,38	396,53	386,47
467	485,17	467,54	451,67	437,31	424,29	412,32	401,31	391,15
469	490,99	473,19	457,12	442,59	429,52	417,26	405,12	395,85
471	496,85	478,80	462,56	447,86	434,51	422,24	410,93	400,56
473	502,71	484,41	467,96	453,14	439,61	427,26	415,79	405,28
475	508,57	489,27	473,49	458,41	444,76	432,25	420,69	410,02
477	514,47	495,63	478,97	463,73	449,91	437,19	425,55	414,77
479	520,38	501,50	484,46	469,09	455,11	442,29	430,45	419,48
481	526,24	507,19	489,91	474,34	460,19	447,25	435,28	424,26
483	532,27	512,84	495,44	479,70	465,33	452,32	440,18	429,05
485	538,21	518,62	500,96	485,06	470,61	457,30	445,12	433,85
487	544,20	524,44	506,53	490,46	475,85	462,45	450,06	438,67
489	550,19	527,70	512,06	495,90	481,08	467,52	455,04	443,50
491	556,22	535,83	517,71	501,26	486,31	472,58	459,08	448,35
493	562,25	541,73	523,32	506,70	491,59	477,77	464,96	453,21
495	568,27	547,59	528,89	512,18	496,90	483,17	469,99	458,08
497	574,30	553,41	534,62	517,62	502,18	488,07	475,05	462,96
499	580,42	559,32	540,27	523,11	507,49	493,22	479,95	467,87
501	586,49	565,22	545,92	528,58	512,73	498,41	485,06	472,78
503	592,85	571,00	551,70	534,19	518,24	503,67	490,19	477,78
505	598,71	576,82	557,43	539,72	523,60	508,86	495,26	482,72
507	604,99	582,89	563,13	545,25	529,00	514,06	500,32	487,67
509	611,27	588,87	568,86	550,82	534,36	519,29	505,43	492,64
511	617,13	594,78	574,60	556,34	539,76	524,52	510,54	497,60
513	623,25	600,76	580,37	561,95	545,21	529,80	515,65	502,62

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
515	629,70	606,75	586,15	567,56	550,61	535,07	520,80	507,62
517	635,98	612,78	591,97	573,17	556,09	540,39	525,95	512,65
519	642,26	618,81	597,79	578,74	561,53	545,67	531,14	517,68
521	648,54	624,84	603,61	584,44	567,02	550,98	536,29	22,74
523	654,82	630,83	609,43	589,92	572,50	556,55	541,52	527,80
525			615,33	595,87	578,03	561,79	546,71	532,88
527			621,20	601,48	583,56	567,14	551,95	537,96
529			627,06	607,17	589,08	572,50	557,18	543,07
531			633,00	612,91	594,61	577,90	562,46	548,19
533			638,95	618,64	600,18	583,35	567,69	553,32
535			633,89	624,38	605,79	588,75	571,00	558,47
537			650,84	630,16	611,36	594,19	578,24	563,62
539			656,87	635,93	616,97	599,55	583,35	568,79
541			662,81	644,68	622,62	605,12	588,87	573,98
543			668,80	647,57	628,23	610,60	594,65	579,18
545			674,83	653,39	633,88	616,09	599,55	584,39
547			680,86	659,21	639,58	621,61	604,91	589,62
549			686,89	665,07	645,27	627,14	610,31	594,86
551			692,92	670,98	650,96	632,67	615,67	600,11
553			699,03	676,84	656,66	638,19	621,11	605,38
555			705,14	682,70	662,39	643,76	626,56	610,66
557			711,25	688,69	668,13	649,37	631,96	615,97
559			717,41	694,55	673,91	656,94	637,40	621,24
561			723,52	701,83	679,64	660,55	642,88	626,58
563			729,68	706,52	685,46	666,20	648,33	631,91
565			735,83	712,51	691,24	671,81	653,81	637,27
567			742,07	718,54	697,06	677,47	659,30	642,63
569			748,22	724,48	702,88	683,12	664,82	648,00
571			754,50	730,51	708,74	688,77	670,39	653,43
573			760,64	736,58	714,60	693,67	675,92	658,79
575			766,98	742,61	720,42	700,24	681,49	664,21

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
577			773,26	748,68	726,37	705,85	687,01	669,64
579			779,54	754,80	732,27	711,59	692,58	675,08
581			785,82	760,87	738,18	717,45	698,19	680,54
583			792,14	766,98	744,12	723,23	703,80	686,01
585			798,47	773,14	750,02	728,88	709,45	691,49
587			804,83	779,29	756,05	734,70	715,11	696,99
589			811,19	784,84	762,00	740,60	720,72	702,50
591			817,60	791,60	767,94	746,42	726,41	708,03
593			824,00	797,84	774,06	752,33	732,15	713,61
595			830,41	803,99	780,04	758,10	737,80	719,16
597			836,77	810,27	786,07	763,97	743,53	724,72
599			843,26	816,47	792,10	769,79	749,23	730,28
601			849,75	822,75	798,17	775,77	754,96	735,90
603			856,20	828,99	804,24	781,63	760,70	741,50
605			862,48	835,27	810,36	787,54	766,48	747,12
607			869,18	841,59	816,47	793,48	777,26	752,75
609			875,88	847,91	822,58	799,43	778,12	758,40
611			882,16	854,19	828,74	805,46	783,90	764,06
613			888,86	860,51	834,85	810,15	789,71	769,74
615			895,56	866,96	840,96	817,35	795,58	775,42
617			902,26	873,33	847,24	823,46	801,40	781,12
619			908,54	879,69	853,44	829,49	807,22	786,84
621			915,24	886,09	859,68	835,52	813,08	792,56
623			921,93	892,50	865,87	841,46	818,98	798,27
625			928,21	898,95	872,15	847,62	824,88	804,02
627			934,91	905,40	878,39	853,73	830,83	809,79
629			941,61	911,84	884,67	859,80	836,73	815,57
631			948,31	918,33	890,95	865,79	842,68	821,37
633			955,01	924,82	897,23	872,03	848,66	827,18
635			961,71	931,81	903,55	878,18	854,61	833,00
637			968,41	937,89	909,83	885,22	860,60	838,84

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
639			975,52	944,42	916,24	890,49	866,63	844,69
641			982,22	950,99	922,60	896,69	872,70	850,55
643			988,92	957,52	928,97	902,88	878,64	856,43
645			995,62	964,14	935,37	909,08	884,71	862,32
647			998,13	970,71	941,78	915,32	890,74	868,23
649			1010,69	977,31	948,19	921,56	896,81	874,14
651			1016,14	983,98	954,51	927,80	902,93	880,07
653			1023,25	990,64	961,08	934,08	909,00	886,02
655			1029,95	997,30	967,53	940,36	915,11	891,98
657			1036,65	1003,91	973,94	946,51	921,26	897,95
659			1043,77	1010,65	980,51	952,96	927,38	903,88
661			1050,89	1017,35	987,04	959,57	933,53	909,93
663			1058,00	1024,05	993,53	965,94	939,73	915,95
665			1063,95	1030,79	1000,02	971,97	945,88	921,98
667			1071,40	1037,57	1006,63	978,25	952,08	928,02
669			1078,52	1044,31	1013,54	984,74	958,33	933,82
671			1085,64	1051,18	1019,78	991,10	964,56	940,14
673			1092,76	1057,92	1026,39	997,55	970,79	946,22
675			1099,45	1064,70	1032,88	1003,58	977,07	952,31
677			1106,57	1071,53	1039,58	1009,44	983,31	958,42
679			1113,69	1076,01	1046,24	1016,60	989,59	964,54
681			1120,81	1085,26	1052,81	1023,17	995,91	970,68
683			1127,92	1093,55	1059,51	1029,66	1002,19	976,83
685			1135,04	1099,04	1066,21	1036,15	1008,52	982,99
687			1142,16	1105,90	1072,91	1042,68	1014,55	989,16
689			1149,28	1112,85	1079,61	1049,21	1021,20	995,35
691			1156,39	1119,76	1086,39	1055,70	1027,57	1001,55
693			1163,64	1127,25	1093,01	1063,07	1033,55	1007,76
703			1199,77	1162,26	1126,96	1096,10	1065,62	1034,04

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
713			1236,28	1197,63	1161,25	1129,43	1098,07	1070,65
723			1273,21	1233,39	1195,92	1163,18	1130,86	1102,64
733			1310,51	1269,52	1210,96	1197,26	1163,97	1134,92
743			1348,19	1306,07	1266,34	1231,67	1199,94	1167,57
753			1386,25	1342,96	1302,14	1266,47	1231,30	1198,30
763			1424,77	1380,22	1338,27	1301,63	1265,46	1233,89
773			1463,62	1417,86	1374,78	1337,14	1300,00	1267,55
783			1502,89	1455,92	1411,66	1372,98	1334,84	1301,55
793			1542,54	1494,31	1448,88	1409,19	1370,09	1335,88
803			1582,57	1533,08	1494,02	1445,79	1405,63	1370,55
813			1623,01	1572,27	1524,50	1482,71	1441,56	1405,56
823			1663,83	1611,83	1562,39	1520,02	1477,82	1440,93

ЭНТАЛЬПИЯ НЕФТЯНЫХ ПАРОВ (в кДж/кг)

T, К	Относительная плотность при 288 К							
	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
1	2	3	4	5	6	7	8	9
323	476,00	464,23	452,47	440,70	428,85	417,20	405,49	393,77
325	479,39	467,25	455,82	443,97	432,12	420,36	408,63	396,83
327	482,86	471,06	459,17	447,28	435,39	423,70	411,77	399,92
329	486,34	472,94	462,56	450,63	438,65	426,64	414,95	403,06
331	489,81	477,88	465,95	453,51	441,92	429,98	418,09	406,20
333	493,33	481,36	469,34	457,32	445,22	433,33	421,32	409,34
335	496,85	484,83	472,73	460,55	448,53	436,27	424,54	412,48
337	500,41	488,18	476,17	464,19	451,88	439,61	427,89	415,67
339	503,97	491,82	479,64	467,46	455,23	442,96	430,82	418,89
341	507,52	495,34	483,12	470,85	458,46	446,31	434,17	422,03
343	511,13	498,86	486,59	474,28	461,80	449,66	437,52	424,96
345	514,31	502,42	490,07	477,71	465,15	453,01	440,87	428,31

1	2	3	4	5	6	7	8	9
347	518,37	505,98	493,58	481,19	468,92	456,36	444,22	431,66
349	522,01	509,99	497,14	484,66	472,27	459,71	447,57	435,01
351	525,65	513,18	500,66	488,14	475,62	463,06	450,50	438,36
353	529,34	516,78	504,22	491,66	478,97	466,41	453,85	441,71
355	532,98	520,42	507,82	495,59	482,32	470,18	457,20	444,64
357	536,71	523,69	511,38	498,73	486,09	473,52	460,97	447,99
359	540,10	527,70	514,98	502,25	489,44	476,88	463,90	451,34
361	544,16	531,39	518,62	505,81	491,79	480,23	467,67	454,69
363	547,89	535,07	522,26	509,49	496,56	483,99	471,02	458,04
365	551,65	538,80	525,90	513,01	499,90	487,34	474,36	461,39
367	555,42	542,53	529,55	516,61	503,67	490,69	477,71	464,74
369	559,23	546,25	533,23	520,21	507,02	494,46	481,06	468,08
371	563,04	550,02	536,96	523,39	510,79	497,81	484,83	471,85
373	566,85	553,79	540,64	527,54	514,14	501,16	488,18	475,20
375	570,70	557,56	544,37	531,18	517,91	504,93	491,95	478,55
377	574,56	561,32	548,09	534,86	521,68	508,28	495,30	481,90
379	578,45	565,18	551,86	538,59	525,03	512,06	498,65	485,25
381	582,59	586,99	555,63	542,27	528,79	515,40	502,00	489,02
383	586,24	572,84	559,44	546,00	532,56	519,16	505,77	492,37
385	590,13	576,73	563,25	549,77	536,33	522,93	509,12	496,14
387	594,07	580,58	567,06	553,54	539,68	526,28	512,88	499,49
389	598,04	584,48	570,87	557,31	543,45	530,05	516,65	502,84
391	601,98	588,37	574,72	561,07	547,22	533,82	520,00	505,77
393	606,00	592,35	578,57	564,88	550,98	537,59	523,77	510,79
395	609,98	596,24	582,43	568,69	554,88	541,35	527,54	513,72
397	613,91	600,22	586,32	572,50	558,18	544,28	530,89	517,07
399	618,01	604,16	590,26	576,40	562,41	548,47	534,65	520,84
401	622,08	608,18	594,19	580,25	566,22	552,24	538,42	524,61

1	2	3	4	5	6	7	8	9
403	626,14	612,15	598,13	584,14	570,03	556,01	542,19	527,06
405	630,20	616,17	602,27	588,04	573,89	559,78	545,96	531,72
407	634,30	620,19	606,04	591,93	577,74	563,54	549,78	535,49
409	638,40	624,29	610,06	595,87	581,59	567,31	553,50	539,26
411	642,51	628,31	614,04	599,80	585,36	571,50	556,84	543,04
413	646,65	632,37	618,00	603,74	589,33	575,27	560,61	546,38
415	650,80	636,48	622,08	607,71	593,27	578,62	564,38	550,15
417	654,98	640,58	626,14	611,65	597,16	582,80	568,57	553,91
419	659,17	644,73	630,20	615,71	601,10	586,57	572,34	557,68
421	663,36	648,87	634,26	619,69	605,08	590,76	576,10	561,45
423	667,59	653,02	638,36	623,75	609,01	594,53	579,87	565,22
425	671,81	657,16	642,47	627,77	612,99	598,29	583,64	568,99
427	676,09	661,35	646,57	631,83	617,01	602,48	588,25	572,75
429	680,36	665,58	650,71	635,89	621,03	606,25	591,60	576,52
431	684,63	669,80	654,86	639,99	625,05	610,01	595,36	580,29
433	688,90	674,03	659,04	644,10	629,07	614,20	599,13	584,48
435	693,21	678,26	663,23	648,20	633,13	617,97	603,32	588,24
437	697,56	682,53	667,42	652,34	637,15	622,16	607,09	592,01
439	701,92	686,80	671,65	656,49	641,29	626,35	611,27	596,20
441	707,15	691,12	675,83	660,68	645,35	630,11	615,04	599,97
443	710,58	695,43	680,10	664,86	649,50	634,30	618,81	603,74
445	715,02	699,74	684,37	669,05	653,60	638,49	623,00	607,92
447	719,42	704,05	688,65	673,23	657,75	642,67	627,18	611,17
449	723,86	708,45	692,92	677,47	661,89	646,87	630,53	615,46
451	728,29	712,80	697,23	681,70	666,08	652,72	634,72	619,23
453	732,73	717,20	701,54	685,92	670,27	654,81	639,32	623,42
455	737,21	721,60	705,90	690,24	674,45	659,00	643,09	627,60
457	741,69	725,99	710,25	694,51	678,68	663,19	647,28	631,79

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
459	746,17	730,43	714,60	698,82	682,91	667,25	651,47	635,56
461	750,69	734,87	718,96	703,13	687,18	671,44	655,65	639,74
463	755,15	739,35	723,35	707,44	691,41	675,62	659,84	643,93
465	759,78	743,83	727,79	711,80	695,68	679,81	663,61	647,70
467	764,34	748,31	732,19	716,15	700,00	684,04	667,80	651,89
469	768,91	752,83	736,67	720,51	704,30	688,27	671,98	656,07
471	773,51	757,35	741,10	724,90	708,62	692,54	676,17	660,26
473	778,12	761,91	745,58	729,30	712,93	696,81	680,35	664,45
475	782,76	766,44	750,06	733,37	717,28	701,04	684,54	668,21
477	787,37	771,04	754,54	738,18	721,64	705,39	688,73	672,40
479	792,02	775,61	759,07	742,61	726,03	709,71	692,92	676,59
481	796,71	780,21	763,55	747,05	730,43	714,02	697,52	680,77
483	801,40	784,86	768,15	751,53	734,83	718,41	701,71	684,86
485	806,13	789,46	772,72	756,05	739,26	722,68	705,89	689,15
487	810,82	794,11	777,28	760,53	743,70	727,08	710,08	693,33
489	815,55	798,80	781,88	765,05	748,14	731,43	714,69	697,52
491	820,32	803,45	786,49	769,62	752,62	735,83	718,87	702,13
493	825,09	808,18	791,14	774,18	757,10	740,35	723,06	706,70
495	829,87	812,87	795,74	778,70	761,58	744,66	727,67	710,50
497	834,68	817,60	800,43	783,31	766,10	749,10	731,85	714,69
499	839,45	822,33	805,08	787,91	770,50	753,58	736,46	719,29
501	844,31	827,10	809,73	792,52	775,14	758,02	740,65	723,48
503	849,17	831,88	814,46	797,13	779,62	762,50	744,83	726,83
505	854,02	836,65	819,19	801,77	786,37	767,02	749,44	732,27
507	858,88	841,46	823,92	806,46	788,88	771,50	754,04	736,46
509	863,78	846,28	828,65	811,11	793,44	776,02	758,23	740,65
511	868,68	851,09	833,42	815,80	798,09	780,59	762,84	745,25
513	873,62	855,95	838,20	820,53	802,69	785,15	767,44	749,86

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
515	878,56	860,85	842,97	825,22	807,34	789,71	772,05	754,04
517	883,62	853,57	848,04	830,24	812,45	794,61	776,82	759,03
519	888,48	870,60	852,60	834,72	816,68	798,88	780,84	762,84
521	893,46	875,50	857,46	839,45	821,37	803,49	785,44	767,44
523	898,44	880,44	862,31	844,27	826,06	808,14	790,05	772,05
525	903,47	884,96	867,10	849,04	830,79	812,78	794,65	776,23
527	908,49	890,32	872,06	853,86	835,52	817,43	799,26	780,84
529	913,56	895,30	876,97	858,67	840,25	822,09	803,87	785,44
531	918,63	900,29	881,87	863,49	845,02	826,11	808,47	790,05
533	923,69	905,31	886,81	868,34	850,21	831,50	813,08	794,66
535	928,80	910,34	891,75	873,24	854,57	836,19	817,68	799,26
537	933,91	915,36	896,69	878,10	859,38	840,92	822,29	803,45
539	938,68	920,43	901,42	883,00	864,16	850,42	831,50	813,08
541	945,63	926,87	908,16	889,44	870,73	851,97	833,26	814,54
543	949,36	930,52	911,63	892,84	873,91	855,20	836,10	817,68
545	954,51	935,67	916,66	897,78	879,14	859,97	841,13	822,29
547	959,70	940,77	921,68	902,76	883,62	864,78	845,73	826,89
549	964,89	945,92	926,71	907,70	888,52	869,60	850,45	831,50
551	970,12	951,03	931,77	912,68	893,42	874,41	855,24	836,10
553	975,36	956,22	936,88	917,70	896,44	879,27	860,01	840,71
555	980,63	961,37	941,99	922,73	903,30	884,13	864,78	845,32
557	985,48	966,56	947,05	927,75	908,24	889,02	869,52	850,34
559	991,83	971,80	952,20	932,78	913,23	893,88	874,37	854,95
561	996,46	976,99	957,35	937,84	918,21	898,82	879,23	859,55
563	1001,76	982,22	962,50	942,95	923,19	903,72	884,04	864,57
565	1007,14	987,50	967,24	948,02	928,21	908,45	888,73	869,18
567	1012,45	992,73	972,85	953,12	933,24	913,60	893,76	874,20
569	1017,81	998,05	977,58	958,23	938,26	918,54	898,66	878,81
571	1023,21	1003,33	983,27	963,38	943,33	923,52	903,55	883,83
573	1028,61	1008,64	988,50	968,53	948,39	928,51	908,45	888,44

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
575	1034,01	1013,96	993,74	973,72	953,50	933,53	913,35	893,46
577	1039,42	1019,32	999,01	978,87	958,61	938,56	918,29	898,07
579	1044,86	1024,68	1004,29	984,11	963,72	943,58	923,27	903,09
581	1050,34	1030,03	1009,56	989,30	968,82	948,64	928,21	907,70
583	1055,78	1035,44	1014,88	994,53	973,97	953,67	933,20	912,72
585	1061,31	1040,84	1020,20	999,77	979,12	958,78	938,18	917,77
587	1066,79	1046,28	1025,56	1005,04	984,32	963,84	943,20	922,77
589	1072,32	1051,72	1030,92	1010,69	989,51	968,95	948,23	927,80
591	1077,85	1057,17	1036,28	1015,63	994,70	974,10	953,25	932,40
593	1084,05	1063,24	1041,68	1021,49	1000,52	979,80	958,06	938,26
595	1088,99	1068,14	1047,04	1026,19	1005,17	984,36	963,38	942,45
597	1094,56	1073,62	1052,48	1031,54	1010,40	989,40	968,45	947,47
599	1100,58	1079,15	1057,88	1036,86	1015,68	994,70	973,56	952,50
601	1105,78	1086,00	1063,32	1042,22	1020,95	999,89	978,66	957,52
603	1111,39	1092,29	1068,81	1047,62	1026,39	1005,12	983,77	962,54
605	1117,04	1095,77	1074,25	1053,02	1031,54	1010,32	988,92	967,57
607	1122,65	1101,34	1079,78	1058,42	1036,86	1015,55	994,07	972,59
609	1128,38	1106,95	1085,26	1063,82	1042,18	1020,83	999,22	977,62
611	1134,08	1112,56	1090,79	1069,27	1047,54	1026,10	1004,41	982,64
613	1139,77	1118,17	1096,31	1074,71	1052,90	1031,08	1009,61	987,67
615	1145,51	1123,82	1101,88	1080,15	1058,30	1036,65	1014,84	993,11
617	1151,24	1129,47	1107,45	1085,68	1063,70	1041,96	1020,03	998,13
619	1156,98	1135,17	1113,65	1091,16	1069,10	1047,29	1025,26	1003,58
621	1162,76	1140,82	1118,63	1096,23	1074,54	1052,65	1030,54	1008,60
623	1168,54	1146,51	1124,24	1102,22	1079,94	1057,96	1035,81	1014,88
625	1174,44	1152,33	1129,93	1107,83	1085,51	1063,45	1041,17	1018,98
627	1180,17	1157,52	1135,50	1113,31	1090,87	1068,72	1046,36	1024,13
629	1185,99	1163,72	1141,15	1118,88	1096,85	1073,71	1051,68	1030,15
631	1191,86	1169,46	1146,80	1124,45	1101,88	1079,52	1057,00	1034,56

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
633	1197,72	1175,24	1152,50	1130,06	1107,37	1084,97	1062,36	1039,83
635	1203,58	1181,01	1158,24	1135,67	1112,89	1090,41	1067,68	1045,07
637	1209,48	1186,83	1163,93	1141,32	1118,46	1095,85	1073,08	1050,34
639	1214,59	1196,17	1172,01	1149,24	1127,50	1100,71	1082,29	1055,66
641	1220,62	1200,61	1174,73	1151,91	1128,88	1106,15	1083,17	1060,31
643	1227,28	1204,38	1181,18	1158,28	1135,17	1112,31	1089,24	1066,29
645	1233,22	1210,24	1186,96	1163,97	1140,78	1117,83	1094,68	1071,61
647	1239,21	1216,10	1192,74	1169,67	1146,39	1123,36	1100,08	1076,97
649	1245,20	1222,00	1198,56	1175,40	1152,04	1128,89	1105,57	1082,33
651	1251,18	1227,90	1204,37	1181,14	1157,65	1134,16	1111,01	1087,98
653	1257,21	1233,85	1210,24	1186,87	1163,30	1140,02	1116,49	1093,09
655	1263,24	1239,79	1216,10	1192,65	1169,00	1145,59	1121,98	1098,49
657	1269,31	1245,78	1221,96	1198,43	1174,69	1151,20	1127,50	1103,89
659	1275,38	1251,77	1227,40	1204,25	1180,38	1156,81	1133,03	1109,33
661	1281,45	1256,92	1233,72	1210,03	1186,12	1162,42	1138,56	1114,78
663	1287,57	1263,74	1239,67	1215,89	1191,86	1168,08	1144,13	1120,22
665	1293,68	1269,77	1245,57	1221,71	1197,59	1173,56	1149,65	1125,29
667	1299,79	1275,80	1251,52	1227,57	1203,37	1179,00	1155,26	1131,19
669	1305,95	1281,87	1257,46	1233,42	1209,15	1185,07	1160,83	1136,72
671	1312,10	1287,94	1263,45	1239,33	1214,93	1190,81	1166,44	1142,20
673	1318,30	1294,01	1269,48	1245,24	1220,75	1196,50	1172,97	1147,77
675	1324,50	1300,13	1275,47	1251,14	1226,57	1202,24	1178,58	1153,17
677	1330,70	1306,24	1281,50	1257,50	1232,39	1207,98	1183,23	1158,86
679	1336,93	1312,39	1287,52	1263,03	1238,25	1213,75	1189,05	1164,43
681	1339,78	1318,51	1293,60	1268,98	1244,41	1219,53	1194,70	1170,00
683	1349,41	1324,70	1299,67	1274,96	1250,01	1225,31	1200,40	1175,61
685	1355,69	1330,86	1305,74	1280,95	1255,87	1231,09	1206,09	1181,22
687	1361,97	1337,05	1311,81	1286,94	1261,82	1236,91	1211,83	1186,83

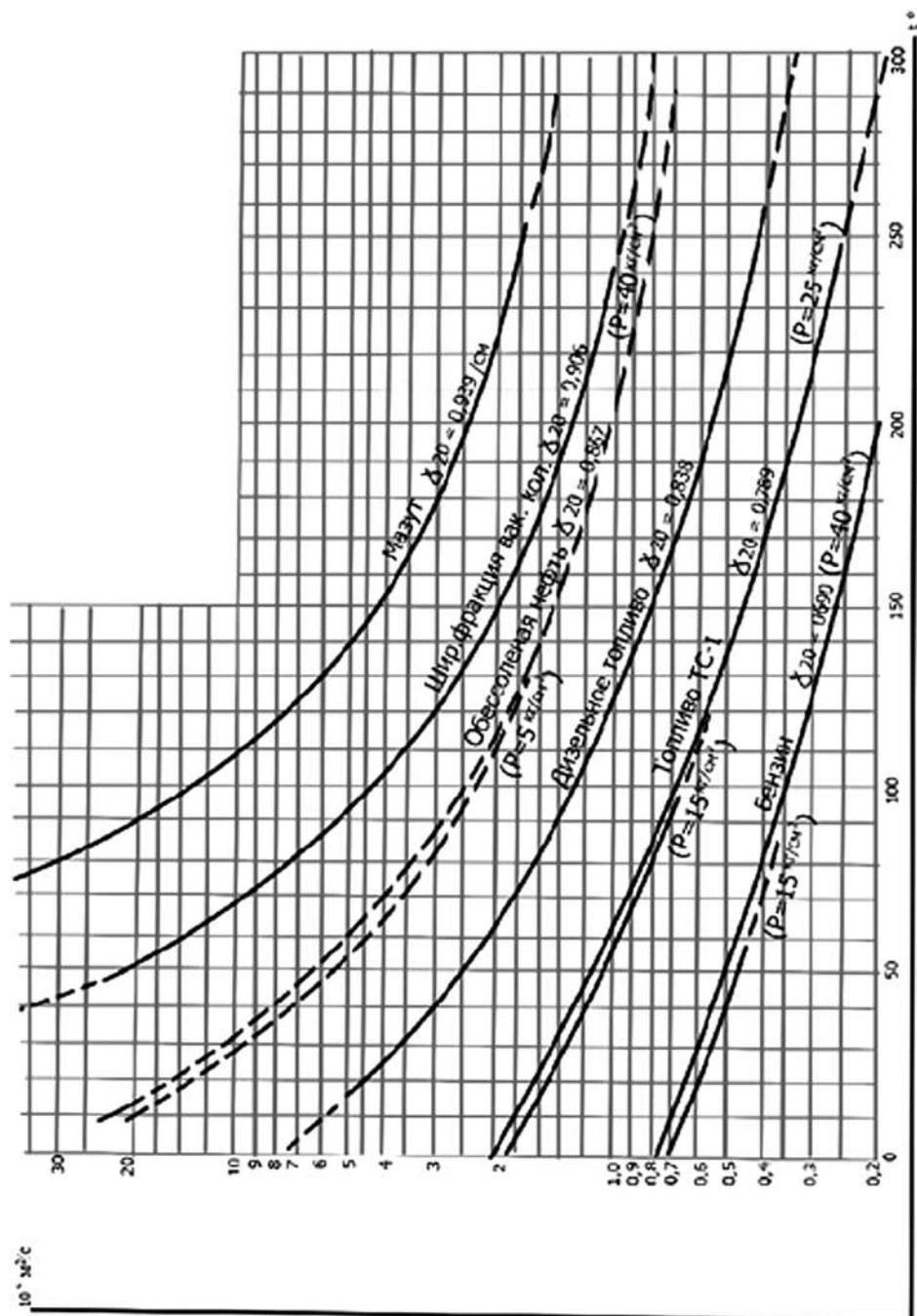
Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
689	1368,71	1343,25	1318,00	1292,63	1267,72	1242,73	1217,56	1192,48
691	1374,61	1349,45	1324,08	1299,00	1273,67	1248,59	1223,30	1198,14
693	1381,77	1356,56	1331,03	1305,36	1280,37	1255,20	1229,79	1204,54
695	1387,30	1362,01	1336,38	1311,14	1285,60	1260,31	1234,86	1209,48
697	1393,66	1368,25	1342,54	1317,21	1291,59	1266,21	1240,67	1215,22
699	1400,02	1371,55	1348,74	1323,28	1297,57	1271,70	1246,45	1220,91
701	1406,43	1380,85	1354,93	1329,39	1303,60	1278,02	1252,27	1226,65
703	1412,84	1387,17	1461,17	1335,55	1309,63	1283,97	1258,13	1232,30
705	1419,07	1393,49	1367,40	1341,66	1315,66	1289,91	1263,95	1238,12
707	1425,73	1399,69	1373,65	1374,82	1321,73	1295,65	1269,86	1243,90
709	1432,18	1406,22	1379,93	1354,01	1327,80	1301,84	1275,72	1249,68
711	1438,67	1412,58	1386,21	1360,17	1333,87	1307,83	1281,62	1255,50
713	1445,16	1418,09	1392,49	1366,36	1339,98	1313,86	1287,53	1261,27
715	1451,65	1425,40	1398,81	1372,60	1346,10	1319,89	1293,43	1267,09
717	1457,84	1421,47	1405,09	1378,71	1351,92	1325,54	1298,74	1272,37
719	1467,71	1438,25	1411,45	1385,04	1358,37	1331,82	1305,32	1278,77
721	1471,32	1444,70	1417,82	1391,32	1364,52	1338,02	1311,31	1284,68
723	1477,86	1451,19	1424,22	1397,60	1370,72	1344,05	1317,29	1290,54
728	1492,43	1467,43	1436,03	1409,19	1386,21	1357,82	1330,06	1303,56
733	1510,93	1483,80	1456,30	1429,20	1401,82	1372,89	1345,60	1318,51
738	1527,72	1500,21	1472,50	1445,16	1417,53	1390,14	1404,42	1335,09
743	1544,39	1516,79	1488,74	1461,19	1433,31	1405,68	1377,37	1350,12
748	1561,30	1533,42	1505,15	1477,31	1449,18	1421,29	1393,20	1365,23
753	1578,26	1550,10	1521,61	1493,51	1465,13	1436,99	1408,69	1380,43
758	1595,34	1566,95	1538,19	1509,84	1481,21	1452,82	1424,22	1395,71
763	1612,55	1583,91	1554,85	1526,26	1496,91	1468,69	1439,84	1411,12
768	1629,80	1600,91	1571,60	1542,75	1513,53	1484,68	1455,58	1426,44
773	1647,21	1618,03	1588,47	1559,37	1529,94	1500,76	1471,41	1442,14

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
778	1664,67	1635,24	1605,54	1576,04	1546,35	1516,46	1487,28	1457,76
783	1682,26	1652,57	1622,43	1592,83	1567,45	1533,16	1503,27	1473,50
788	1699,92	1669,95	1639,59	1609,66	1579,47	1549,54	1519,35	1489,29
793	1717,68	1687,45	1656,80	1626,66	1595,71	1565,95	1535,55	1505,20
798	1735,54	1705,07	1674,13	1643,65	1612,97	1582,48	1551,80	1521,19
803	1753,52	1722,78	1691,55	1660,90	1629,88	1599,11	1568,12	1637,27
813	1782,11	1753,85	1722,49	1695,49	1663,92	1632,60	1592,74	1659,71
823	1826,37	1794,50	1762,22	1730,44	1698,33	1666,47	1637,79	1602,46

ПРИЛОЖЕНИЕ 8



Коэффициент кинематической вязкости продуктов прямой гонки парафинистой сернистой нефти

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

ПЛОТНОСТЬ ЖИДКИХ ВЕЩЕСТВ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Вещество	Плотность, кг/м ³							
	–20°C	0°C	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C	120°C
Аммиак жидкий	665	639	610	580	545	510	462	390
Ацетон	835	813	791	768	746	719	693	665
Бензол	—	900	879	858	836	815	793	769
Бутиловый спирт	838	824	810	795	781	766	751	735
Вода	—	1000	998	992	983	972	958	943
Гексан	693	667	660	641	622	602	581	559
Дихлорэтан	1310	1282	1254	1224	1194	1163	1133	1102
Нитробензол	—	1223	1203	1183	1163	1143	1123	1103
Октан	734	718	702	686	669	653	635	617
Олеум, 20%-ный	—	1922	1896	1870	1844	1818	1792	1766
Серная кислота, 98%-ная	—	1857	1837	1817	1798	1779	1761	1742
Серная кислота, 92%-ная	1866	1845	1824	1803	1783	1765	1744	1723
Серная кислота, 75%-ная	1709	1689	1669	1650	1632	1614	1597	1580
Серная кислота, 60%-ная	1532	1515	1498	1482	1466	1450	1434	1418
Толуол	902	884	866	847	828	808	788	766
Фенол (расплавленный)	—	—	1075	1058	1040	1022	1003	987
Хлорбензол	1150	1128	1107	1085	1065	1041	1021	995
Этиловый спирт, 100%-ный	823	806	789	772	754	735	716	693
Этиловый спирт, 80%-ный	—	857	843	828	813	797	783	768
Этиловый спирт, 60%-ный	—	904	891	878	864	849	835	820
Этиловый спирт, 40%-ный	—	947	935	923	910	897	885	872
Этиловый спирт, 20%-ный	—	977	969	957	946	934	922	910

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЕМКОСТЬ ЖИДКИХ ВЕЩЕСТВ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Вещество	Удельная теплоемкость, кДж/кг·К							
	–20°C	0°C	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C	120°C
Аммиак жидкий	1,08	1,1	1,13	1,16	1,22	1,3	1,37	1,48
Ацетон	0,49	0,505	0,52	0,535	0,55	0,566	0,581	0,596
Бензол	—	0,39	0,413	0,436	0,46	0,483	0,506	0,52
Бутиловый спирт	0,47	0,503	0,555	0,607	0,66	0,712	0,765	0,817
Вода	—	1,01	0,999	0,998	1	1	1,01	1,02
Гексан	0,536	0,536	0,536	0,536	0,536	0,536	0,536	0,536
Дихлорэтан	0,232	0,253	0,274	0,296	0,317	0,339	0,361	0,382
Нитробензол	—	0,334	0,347	0,36	0,374	0,387	0,4	0,414
Октан	0,526	0,526	0,526	0,526	0,526	0,526	0,526	0,526
Олеум, 20%-ный	—	0,326	0,34	0,354	0,368	0,382	0,396	0,41
Серная кислота, 98%-ная	—	0,335	0,348	0,361	0,375	0,388	0,402	0,414
Серная кислота, 92%-ная	0,355	0,366	0,377	0,389	0,4	0,412	0,425	0,436
Серная кислота, 75%-ная	0,431	0,447	0,463	0,479	0,495	0,51	0,527	0,543
Серная кислота, 60%-ная	0,505	0,525	0,545	0,565	0,585	0,605	0,625	0,645
Толуол	0,363	0,385	0,407	0,429	0,451	0,473	0,494	0,506
Фенол (расплавленный)	—	—	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
Хлорбензол	0,285	0,3	0,315	0,33	0,345	0,36	0,376	0,391
Этиловый спирт, 100%-ный	0,505	0,547	0,593	0,648	0,708	0,769	0,839	0,909
Этиловый спирт, 80%-ный	—	0,64	0,68	0,72	0,77	0,82	0,87	0,93
Этиловый спирт, 60%-ный	—	0,73	0,75	0,79	0,83	0,86	0,9	0,95
Этиловый спирт, 40%-ный	—	0,82	0,84	0,87	0,88	0,91	0,94	0,96
Этиловый спирт, 20%-ный	—	0,91	0,92	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ЖИДКИХ ВЕЩЕСТВ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Вещество	Теплопроводность, Вт/м·К							
	–20°C	0°C	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C	120°C
Аммиак жидкий	0,504	0,465	0,426	0,387	0,348	0,309	0,27	0,231
Ацетон	0,154	0,15	0,146	0,142	0,138	0,134	0,13	0,126
Бензол	—	0,13	0,126	0,121	0,117	0,112	0,108	0,104
Бутиловый спирт	0,137	0,134	0,132	0,129	0,126	0,123	0,12	0,118
Вода	—	0,474	0,515	0,545	0,567	0,58	0,587	0,59
Гексан	0,118	0,118	0,118	0,118	0,118	0,118	0,118	0,118
Дихлорэтан	0,125	0,12	0,116	0,112	0,107	0,103	0,098	0,094
Нитробензол	—	0,132	0,13	0,127	0,125	0,122	0,12	0,1
Октан	0,133	0,132	0,131	0,129	0,127	0,126	0,125	0,124
Олеум, 20%-ный	—	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	—	—
Серная кислота, 98%-ная	—	0,264	0,284	0,294	0,306	0,324	0,334	0,344
Серная кислота, 92%-ная	0,256	0,276	0,296	0,306	0,324	0,336	0,346	0,356
Серная кислота, 75%-ная	0,3	0,315	0,33	0,345	0,365	0,385	0,405	0,425
Серная кислота, 60%-ная	0,33	0,35	0,37	0,38	0,4	0,43	0,45	0,47
Толуол	0,125	0,121	0,117	0,113	0,11	0,106	0,102	0,098
Фенол (расплавленный)	—	—	0,175	0,177	0,18	0,182	0,184	0,186
Хлорбензол	0,118	0,114	0,111	0,108	0,104	0,1	0,097	0,094
Этиловый спирт, 100%-ный	1,148	0,147	0,145	0,144	0,142	0,141	0,139	0,137
Этиловый спирт, 80%-ный	—	0,163	0,191	0,219	0,247	0,275	0,3	0,33
Этиловый спирт, 60%-ный	—	0,215	0,243	0,27	0,298	0,326	0,35	0,38
Этиловый спирт, 40%-ный	—	0,3	0,329	0,357	0,385	0,413	0,44	0,47
Этиловый спирт, 20%-ный	—	0,384	0,412	0,44	0,467	0,495	0,52	0,55

ПРИЛОЖЕНИЕ 12

ДИНАМИЧЕСКАЯ ВЯЗКОСТЬ ЖИДКИХ ВЕЩЕСТВ И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

Вещество	Динамическая вязкость, Па·С											
	–20°C	–10°C	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	80°C	100°C	120°C
Аммиак жидкий	0,258	0,251	0,244	0,235	0,226	0,217	0,208	0,199	0,19	—	—	—
Ацетон	0,5	0,442	0,395	0,356	0,322	0,293	0,268	0,246	0,23	0,2	0,17	0,15
Бензол	—	—	0,91	0,76	0,65	0,56	0,492	0,436	0,39	0,316	0,261	0,219
Бутиловый спирт	10,3	7,4	5,19	3,87	2,95	2,28	1,78	1,14	1,14	0,76	0,54	0,38
Вода	—	—	1,79	1,31	1	0,801	0,656	0,549	0,469	0,357	0,284	0,232
Гексан	0,497	0,426	0,397	0,355	0,32	0,29	0,264	0,241	0,221	0,19	0,158	0,132
Дихлорэтан	1,54	1,24	1,08	0,95	0,84	0,74	0,65	0,565	0,51	0,42	0,36	0,31
Нитробензол	—	—	3,09	2,46	2,01	1,69	1,44	1,24	1,09	0,87	0,7	0,58
Октан	0,968	0,829	0,703	0,61	0,54	0,479	0,428	0,386	0,35	0,291	0,245	0,208
Олеум, 20%-ный	—	—	95	60	36,6	28,8	20,8	12,8	9	5,3	—	—
Серная кислота, 98%-ная	—	—	55	37	25,8	17,1	12,9	9,46	7,5	4,1	2,7	2
Серная кислота, 92%-ная	130	90	48	32	23,1	15,6	11,8	8,4	6,7	3,8	2,5	1,95
Серная кислота, 75%-ная	95	50	30	20	13,9	10,6	8,1	5,9	4,6	2,8	1,9	1,45
Серная кислота, 60%-ная	20	15	10,5	7,7	5,52	4,08	3,42	2,8	2,4	1,5	1,07	0,9
Толуол	1,06	0,9	0,768	0,667	0,586	0,522	0,466	0,42	0,381	0,319	0,271	0,231
Фенол (расплавленный)	—	—	—	—	11,6	7	4,77	3,43	2,56	1,59	1,05	0,78
Хлорбензол	1,48	1,24	1,06	0,91	0,8	0,71	0,64	0,57	0,52	0,435	0,37	0,32
Этиловый спирт, 100%-ный	2,38	2,23	1,78	1,46	1,19	1	0,825	0,701	0,591	0,435	0,326	0,248
Этиловый спирт, 80%-ный	—	—	3,69	2,71	2,01	1,53	1,2	0,97	0,79	0,57	0,52	0,43
Этиловый спирт, 60%-ный	—	—	5,75	3,77	2,67	1,93	1,45	1,13	0,9	0,6	0,45	0,34
Этиловый спирт, 40%-ный	—	—	7,14	4,39	2,91	2,02	1,48	1,13	0,89	0,6	0,44	0,34
Этиловый спирт, 20%-ный	—	—	5,32	3,17	2,18	1,55	1,16	0,91	0,74	0,51	0,38	0,3

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Процессы и аппараты нефетегазопереработки нефтехимии / А. И. Скоб-ло, Ю. К. Молоканов, А. И. Владимиров, В. А. Щелкунов. — М., 2000. — 677 с.
2. *Глаголева, О. Ф.* Технология переработки нефти. Ч. 1 : Первичная пере-работка нефти / О. Ф. Глаголева, В. М. Капустин. — М. : Химия : КолосС, 2006. — 398 с.
3. *Плановский, А. М.* Процессы и аппараты химической технологии / А. М. Плановский, В. М. Рамм [и др.]. — М. : Госхимиздат, 1962. — 847 с.
4. *Павлов, К. Ф.* Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов хими-ческой технологии / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. — М. : Аль-янс, 2016. — 560 с.
5. *Кузнецов, А. А.* Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатываю-щей промышленности / А. А. Кузнецов [и др.]. — Л. : Химия, 1974. — 342 с.
6. *Сарданашвили, А. Г.* Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа : учеб. пособие / А. Г. Сарданашвили, А. И. Львова. — 3-е изд., стер. — СПб. : Лань, 2017. — 256 с.
7. *Адельсон, С. В.* Процессы и аппараты нефтепереработки и нефтехи-мии. — М. : Гостоптехиздат, 1963. — 310 с.
8. Нефти восточных районов СССР / под ред. С. Н. Павловой, З. В. Дра-ицкой. — М. : Химия, 1971. — 504 с.
9. Основные процессы и аппараты химической технологии : пособие по проектированию / под ред. Ю. И. Дытнерского [и др.]. — 4-е изд. — М. : Аль-янс, 2015. — 496 с.
10. *Баранов, Д. А.* Процессы и аппараты химической технологии : учеб. пособие. — СПб. : Лань, 2016. — 408 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. СВОЙСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ	4
1.1. Примеры решения задач.....	4
1.2. Задачи для самостоятельной работы.....	6
2. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ	9
2.1. Примеры решения задач.....	9
2.2. Задачи для самостоятельной работы.....	14
3. ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ.....	18
3.1. Примеры решения задач.....	18
3.2. Задачи для самостоятельной работы.....	20
4. МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ	22
4.1. Примеры решения задач.....	22
4.2. Задачи для самостоятельной работы.....	27
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	31
Приложение 1	32
Приложение 2	33
Приложение 3	34
Приложение 4	35
Приложение 5	36
Приложение 6	37
Приложение 7	39
Приложение 8	55
Приложение 9	56
Приложение 10	57
Приложение 11	58
Приложение 12	59
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	60

Алина Львовна ЛУКМАНОВА
**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ
ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ**
ПРИМЕРЫ И ЗАДАЧИ
Учебное пособие

Редакция
естественнонаучной литературы
Ответственный редактор *Т. С. Спирина*
Подготовка макета *Е. Е. Егорова*
Корректор *Т. А. Кошелева*
Выпускающий *Т. С. Симонова*

ЛР № 065466 от 21.10.97
Гигиенический сертификат 78.01.10.953.П.1028
от 14.04.2016 г., выдан ЦГСЭН в СПб

Издательство «ЛАНЬ»
lan@lanbook.ru; www.lanbook.com
196105, Санкт-Петербург, пр. Юрия Гагарина, д. 1, лит. А
Тел./факс: (812) 336-25-09, 412-92-72
Бесплатный звонок по России: 8-800-700-40-71

Подписано в печать 29.11.19.
Бумага офсетная. Гарнитура Школьная. Формат 70×100 ¹/₁₆.
Печать офсетная. Усл. п. л. 5,20. Тираж 100 экз.

Заказ № 061-20.

Отпечатано в полном соответствии с качеством
предоставленного оригинал-макета в АО «Т8 Издательские Технологии».
109316, г. Москва, Волгоградский пр., д. 42, к. 5.