

# Системы обеспечения тепловых режимов электрофизической аппаратуры, чиллеры.

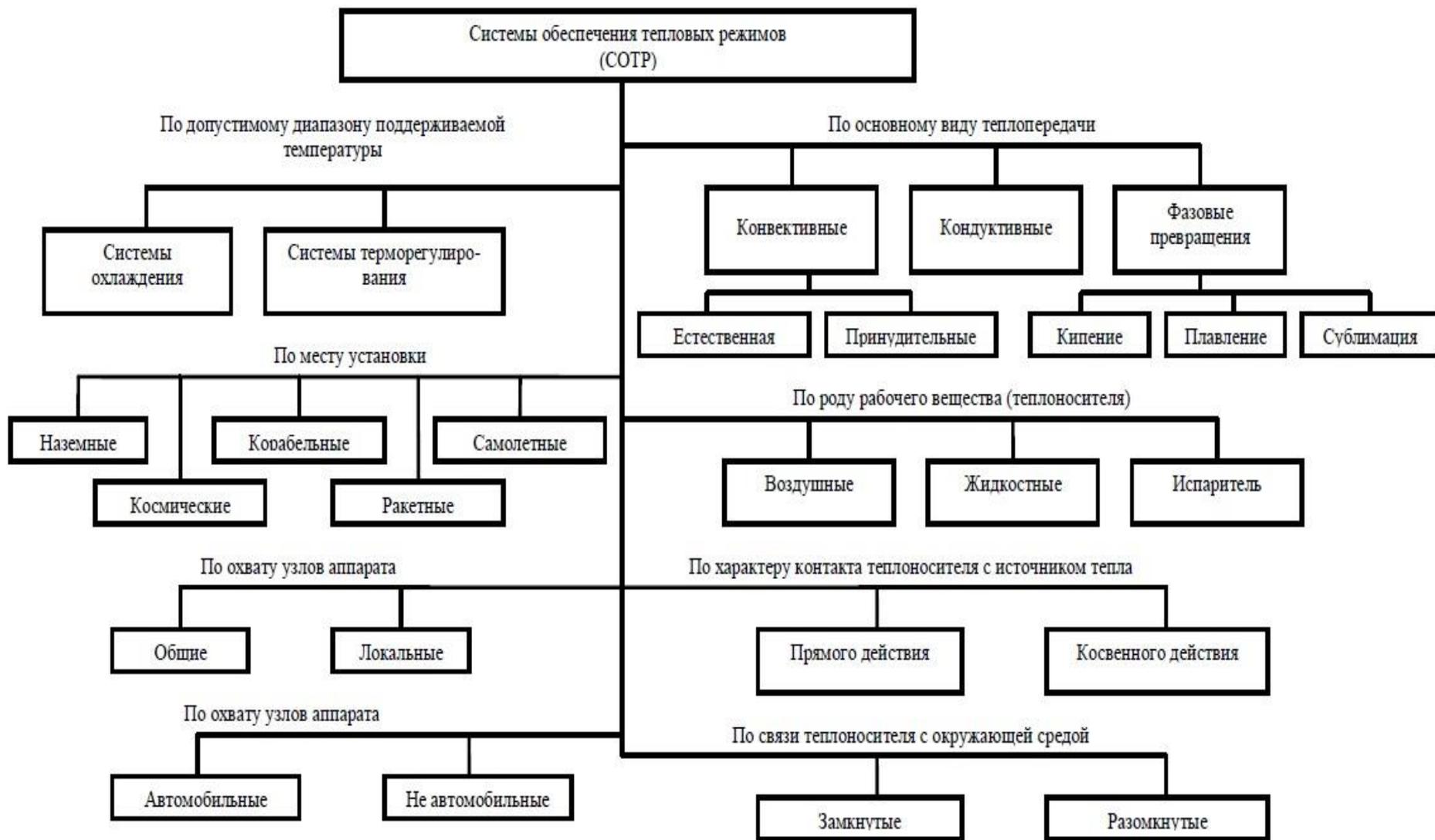
доц. Прокопенко А.В.

20.04.2020

# Основные элементы электрофизических установок (ускорителей), требующие принудительного охлаждения

- Генераторы: СВЧ, радиочастотные;
- Циркуляторы;
- Ускоряющие структуры;
- Нагрузки;
- Радиоэлектронная аппаратура;
- Магнитные системы;
- Инжекторы;
- Высоковольтные источники;
- Изоляторы;
- Системы термостабилизации
- Системы контроля пучка.

# Классификация систем обеспечения тепловых режимов



Связь с объектом размещения -- на автономная и не автономная

# Воздушные системы охлаждения

Естественная конвекция до  $200 \text{ Вт/м}^2$

- перфорация корпуса;
  - ребрение кожуха;
  - перемешивается воздух во внутреннем объём
- радиаторы, профилированные трубы*



Принудительное охлаждение - до  $2...3 \cdot 10^3 \text{ Вт/м}^2$

- обдувом внешней поверхности кожуха аппарата;
- продувом воздуха через внутренний объём.

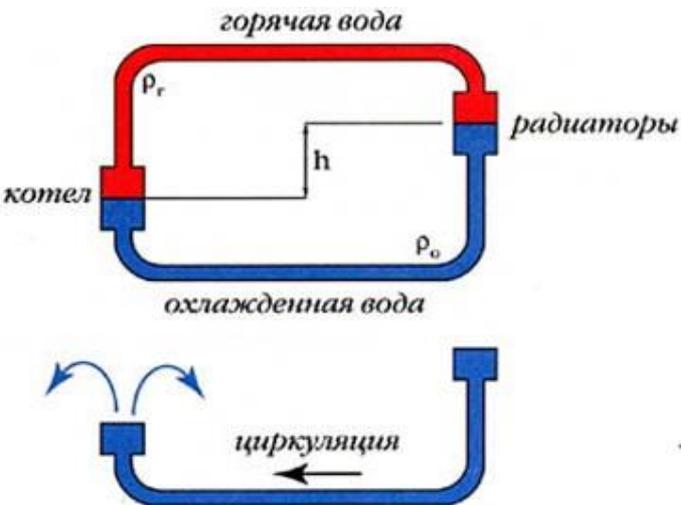
*компрессоры, вентиляторы*

приточные, вытяжные, приточно-вытяжные

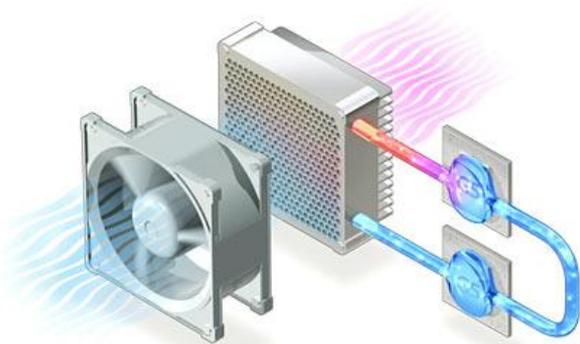
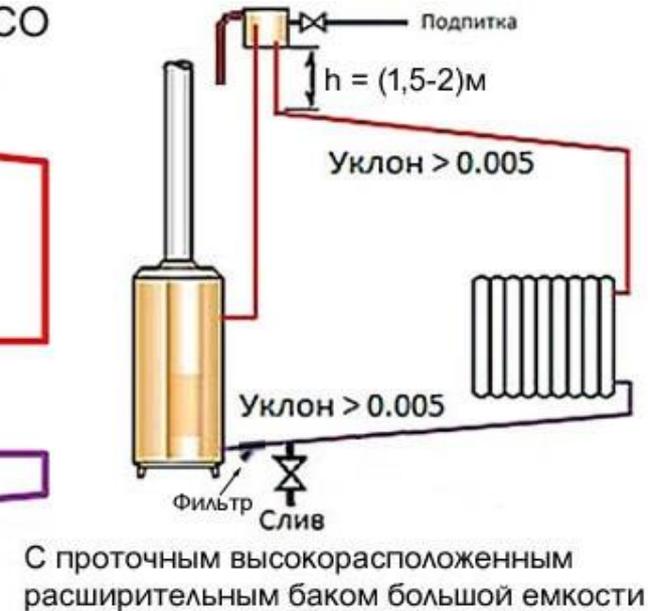


# Жидкостные системы охлаждения

Термосифонная система охлаждения до  $10^3 - 10^4$  Вт/м<sup>2</sup>



Графическая схема возникновения циркуляционного напора

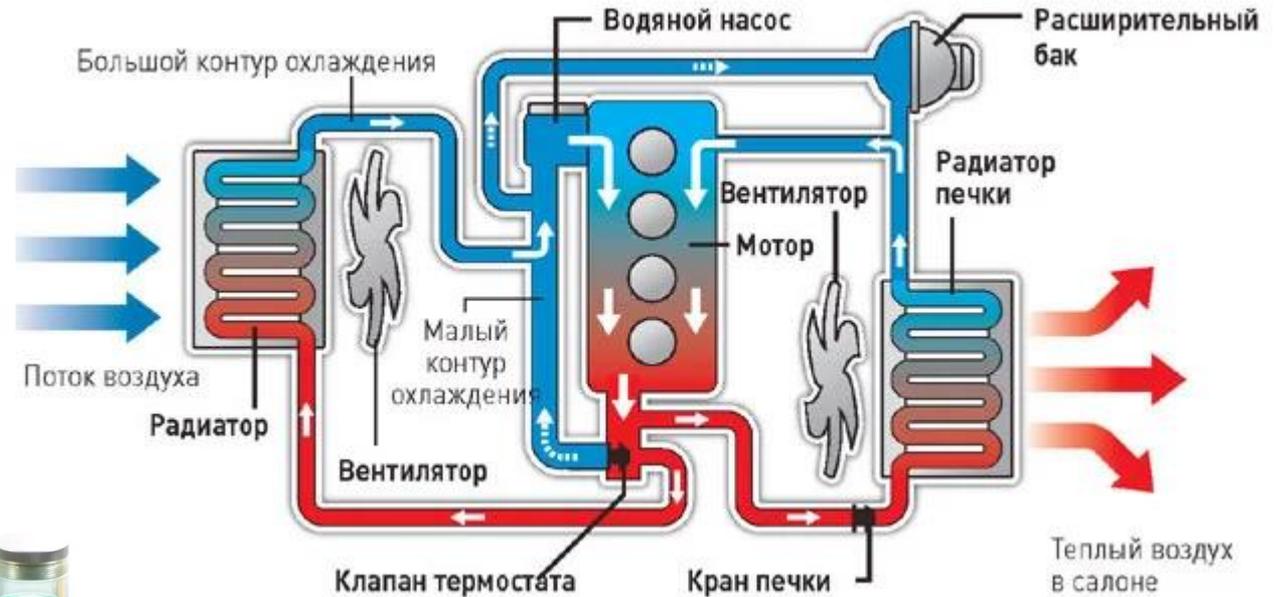


Гравитация-плотность;  
Холодный источник ниже  
горячего

# Жидкостные системы охлаждения с принудительной циркуляцией теплоносителя до $5 \cdot 10^5$ Вт/м<sup>2</sup>

Открытая система;

Замкнутая система



# Теплоноситель

Теплоносители (рабочие вещества) оказывают существенное влияние на эффективность, массу, габариты и эксплуатационные характеристики систем охлаждения.

**Теплофизические свойства** – теплоёмкость, теплопроводность, вязкость, плотность, теплоты парообразования и т.д.

**Электрофизические свойства** - диэлектрическая проницаемость, пробивное напряжение, тангенса угла диэлектрических потерь и т.д.

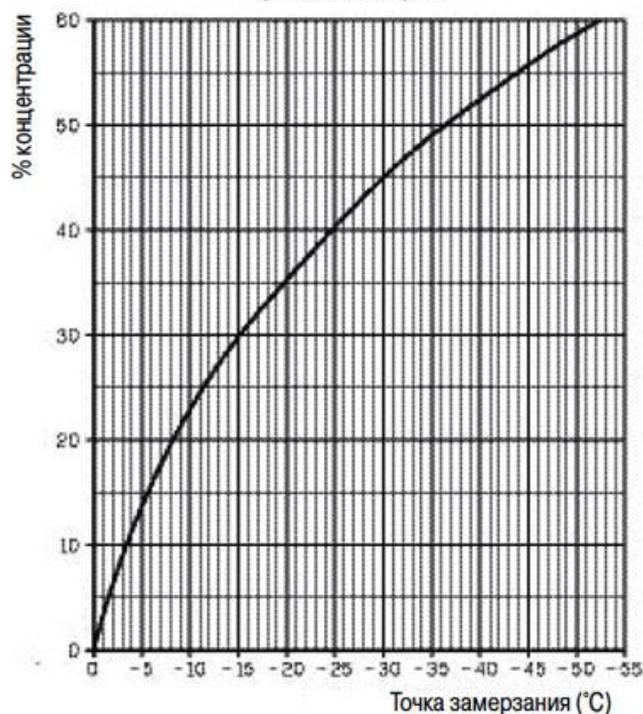
**Эксплуатационные свойства** – температуры замерзания и кипения, пожаровзрывобезопасность, нетоксичность, малая коррозионная активность, по отношению к конструкционным материалам, стабильности состава.

В качестве теплоносителей используются воздух, вода, спирты (этиловый, метиловый) и их смеси, кремний-органические и фторорганические жидкости ( $C_nF_{2n}$ ), этилен гликоль ( $HO-CH_2-CH_2-OH$ ) и пропиленгликоль ( $CH_3-CH(OH)-CH_2-OH$ ).

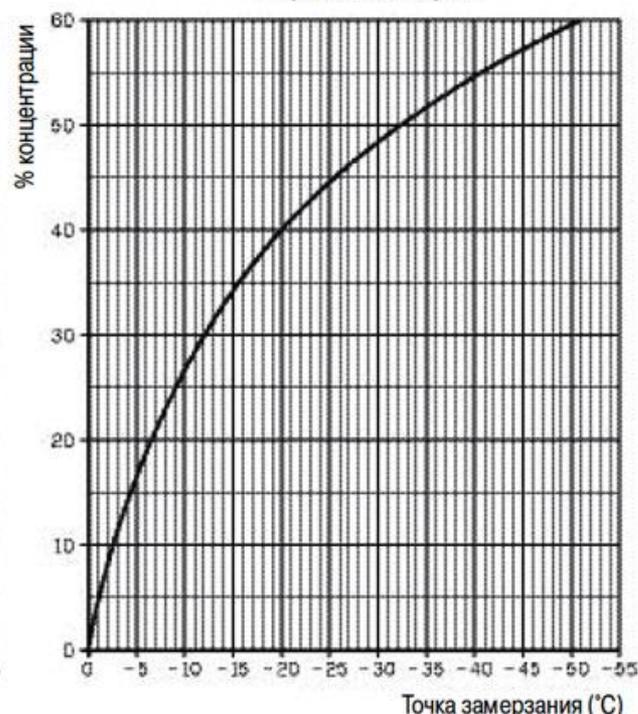
ЛАМИНАРНЫЙ И ТУРБУЛЕНТНЫЙ РЕЖИМ ТЕЧЕНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

Пропиленгликоль		Этиленгликоль		Хлорид натрия		Хлорид кальция	
Концентрация, %	Температура замерзания, °C						
10	- 2,7	10	- 5,6	10	- 6,7	10	- 9,3
15	- 4,7	15	- 8	15	- 11	15	- 10,9
20	- 7,1	20	- 10,3	20	- 16,7	20	- 16,1
25	- 10,1	25	- 12,8			25	- 29,3
30	- 13,5	30	- 15,8				
35	- 17,5	35	- 19,6				
40	- 21,7	40	- 24,4				
		45	- 30,6				
		50	- 38,3				

ЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ



ПРОПИЛЕНГЛИКОЛЬ



## Точки кристаллизации этиленгликоля



Кремнийорганические жидкости — жидкие кремнийорганические полимеры, кремниевые аналоги органических соединений, где некоторые атомы углерода замещены на атомы кремния. Полимерные цепи силоксанов образованы чередующимися атомами кремния и кислорода (... Si-O-Si-O-Si ...), или силоксановыми связями.

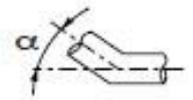
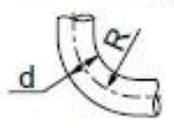
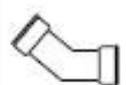
# Проектирование трубопроводных систем охлаждения ЭФУ

## Потеря силы напора в стальных трубах

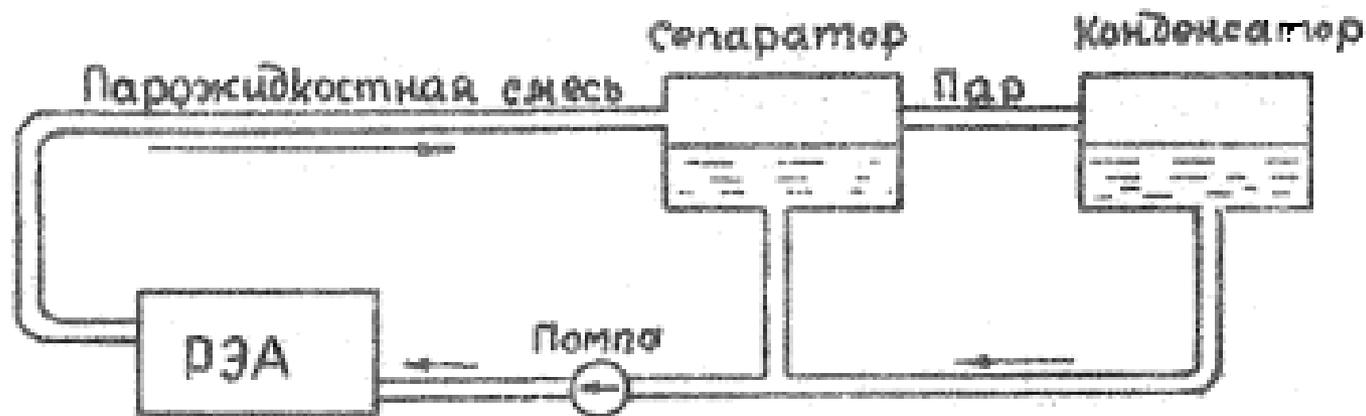
Труба		Q м³/ч	1	3	6	9	12	18	24	30	36	42	48	60	90	120	180	240	300	360	420	
G	Ø мм	Q л/мин.	16	50	100	150	200	300	400	500	600	700	800	1000	1500	2000	3000	4000	5000	6000	7000	
G 1	DN 25	HL v м/100м м/сек.	2,7 0,6	21 1,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
G 1 1/4	DN 32		0,7 0,35	5,5 1	22 2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 1 1/2	DN 40		-	1,8 0,7	7 1,35	14 1,9	23 2,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 2	DN 50		-	0,5 0,4	2,2 0,8	4 1,25	8 1,5	17 2,5	28 3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G 2 1/2	DN 65		-	-	0,6 0,5	1,2 0,75	2,1 1	4,2 1,4	8 2	12 2,5	17 3	22 3,4	28 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	DN 80		-	-	-	-	0,8 0,7	1,6 0,95	2,8 1,25	4,2 1,6	6,5 2	7,5 2,1	10,5 2,6	15 3,3	-	-	-	-	-	-	-	-
	DN 100		-	-	-	-	-	0,55 0,6	0,9 0,8	1,4 1,1	2 1,25	2,4 1,4	3,5 1,6	5 2	11 3,2	20 4	-	-	-	-	-	-
	DN 125		-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,9 0,95	1,2 1,1	1,8 1,4	4 2	6,5 2,7	15 4	-	-	-	-	-
	DN 150		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,6 0,9	1,5 1,4	2,5 1,7	5 2,7	8 3,5	14 4,8	-	-	-
	DN 200		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4 0,8	0,6 1	1,3 1,6	2 2	3,5 2,6	4,6 3	6,5 3,5	-
	DN 250		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,4 1	0,7 1,3	1,1 1,6	1,6 2	2 2,3	-
	DN 300		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,3 0,9	0,45 1,25	0,7 1,4	0,9 1,6	-

Q Расход HL Потери силы напора в м на 100 м v = Скорость: макс. 1,5 м/сек. на всасывании и 3 м/сек. на подаче

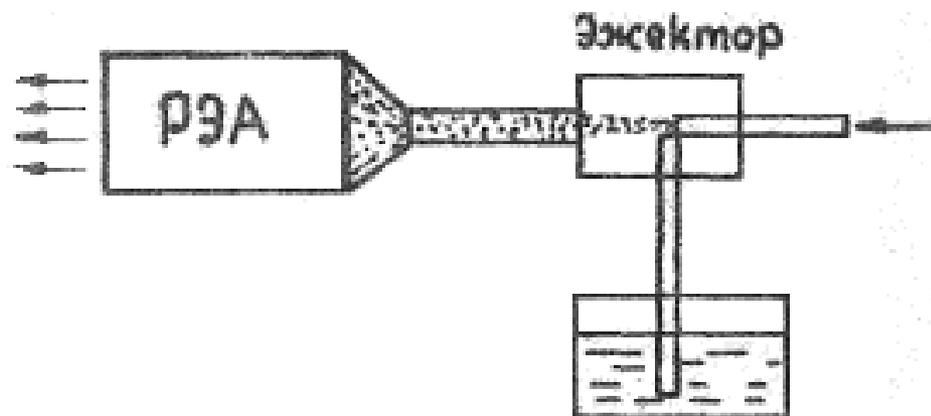
## Потери силы напора в коленах, задвижках, донных и стопорных клапанах в см

Скорость воды м/сек.	Колена с острым углом 					$\alpha = 90^\circ$ Колена с округленным углом 					Стандартные задвижки 	Донные клапана 	Стопорные клапана 
	$\alpha = 30^\circ$ 	$\alpha = 40^\circ$ 	$\alpha = 60^\circ$ 	$\alpha = 80^\circ$ 	$\alpha = 90^\circ$ 	$\frac{d}{R} = 0,4$	$\frac{d}{R} = 0,6$	$\frac{d}{R} = 0,8$	$\frac{d}{R} = 1$	$\frac{d}{R} = 1,5$			
0,4	0,43	0,52	0,71	1,0	1,2	0,11	0,13	0,16	0,23	0,43	0,23	32	31
0,5	0,67	0,81	1,1	1,6	1,9	0,18	0,21	0,26	0,37	0,67	0,37	33	32
0,6	0,97	1,2	1,6	2,3	2,8	0,25	0,29	0,36	0,52	0,97	0,52	34	32
0,7	1,35	1,65	2,2	3,2	3,9	0,34	0,40	0,48	0,70	1,35	0,70	35	32
0,8	1,7	2,1	2,8	4,0	4,8	0,45	0,53	0,64	0,93	1,7	0,95	36	33
0,9	2,2	2,7	3,6	5,2	6,2	0,57	0,67	0,82	1,18	2,2	1,20	37	34
1,0	2,7	3,3	4,5	6,4	7,6	0,7	0,82	1,0	1,45	2,7	1,45	38	35
1,5	6,0	7,3	10	14	17	1,6	1,9	2,3	3,3	6	3,3	47	40
2,0	11	14	18	26	31	2,8	3,3	4,0	5,8	11	5,8	61	48
2,5	17	21	28	40	48	4,4	5,2	6,3	9,1	17	9,1	78	58
3,0	25	30	41	60	70	6,3	7,4	9	13	25	13	100	71
3,5	33	40	55	78	93	8,5	10	12	18	33	18	123	85
4,0	43	52	70	100	120	11	13	16	23	42	23	150	100
4,5	55	67	90	130	160	14	21	26	37	55	37	190	120
5,0	67	82	110	160	190	18	29	36	52	67	52	220	140

# Испарительные системы охлаждения до $5 \cdot 10^5$ Вт/м<sup>2</sup>

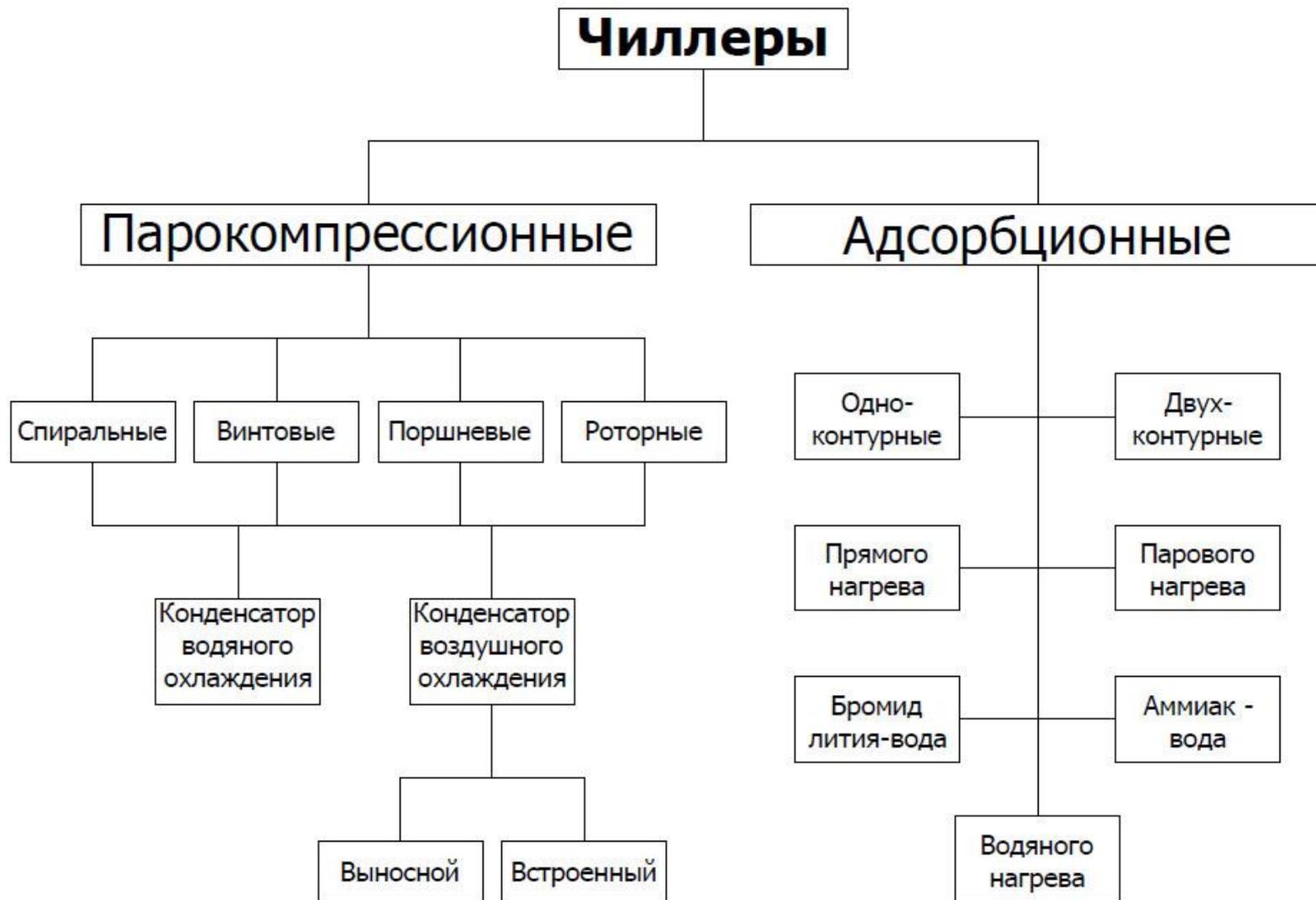


Испарительно-жидкостная система охлаждения

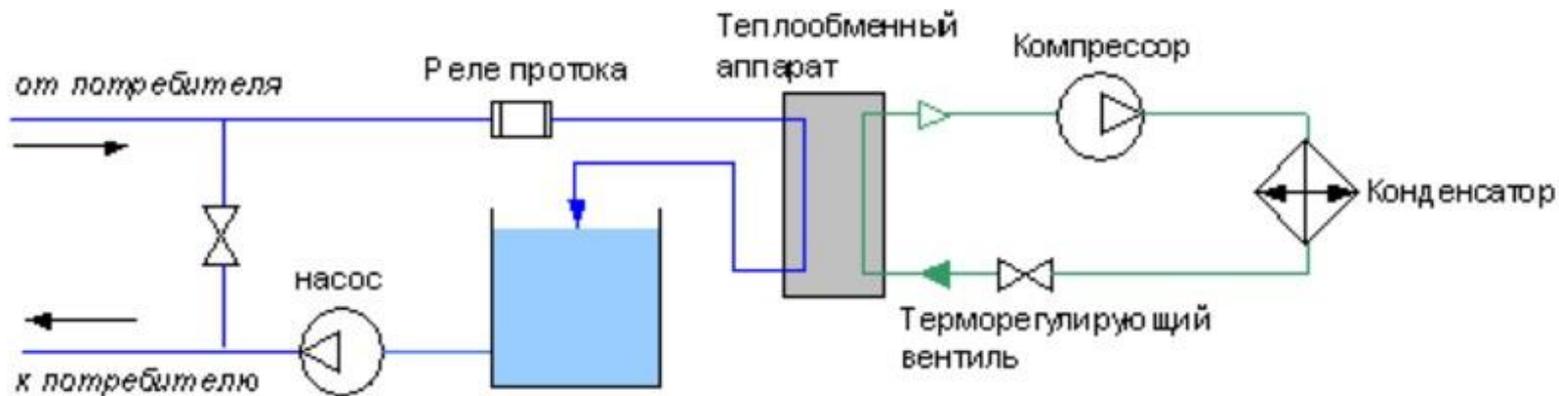


Газоиспарительное охлаждение

**Чиллер** - устройство для охлаждения жидкости использующее парокompрессионный или абсорбционный холодильный цикл.

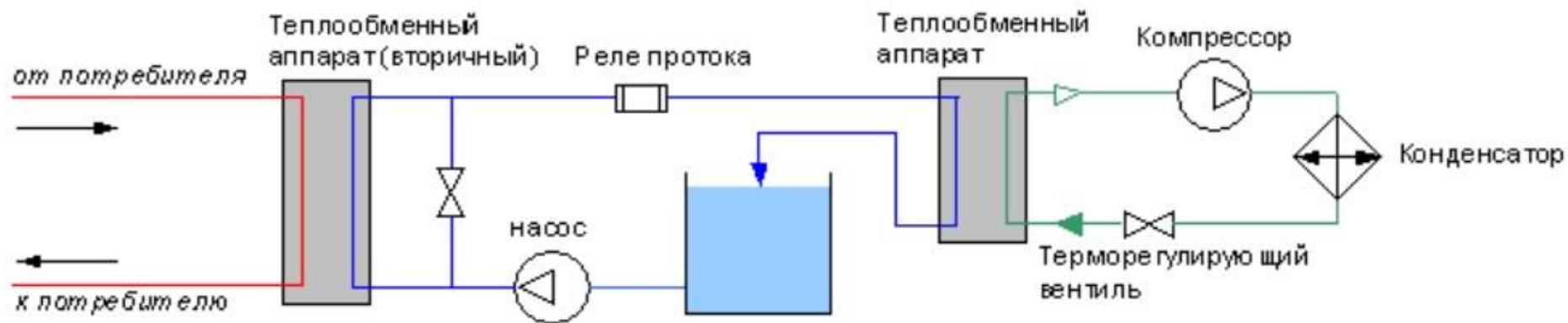


# Схема непосредственного охлаждения жидкости



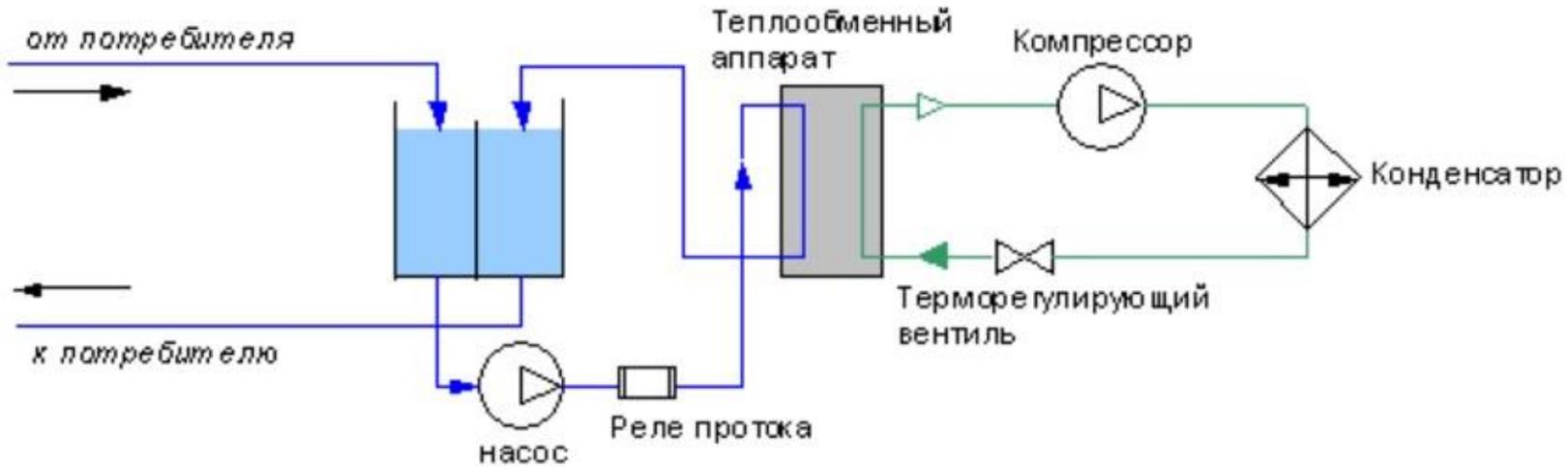
$$\Delta T_{\text{ж}} \leq 7^{\circ}\text{C}$$

Схема охлаждения жидкости с использованием промежуточного хладоносителя и вторичного теплообменного аппарата

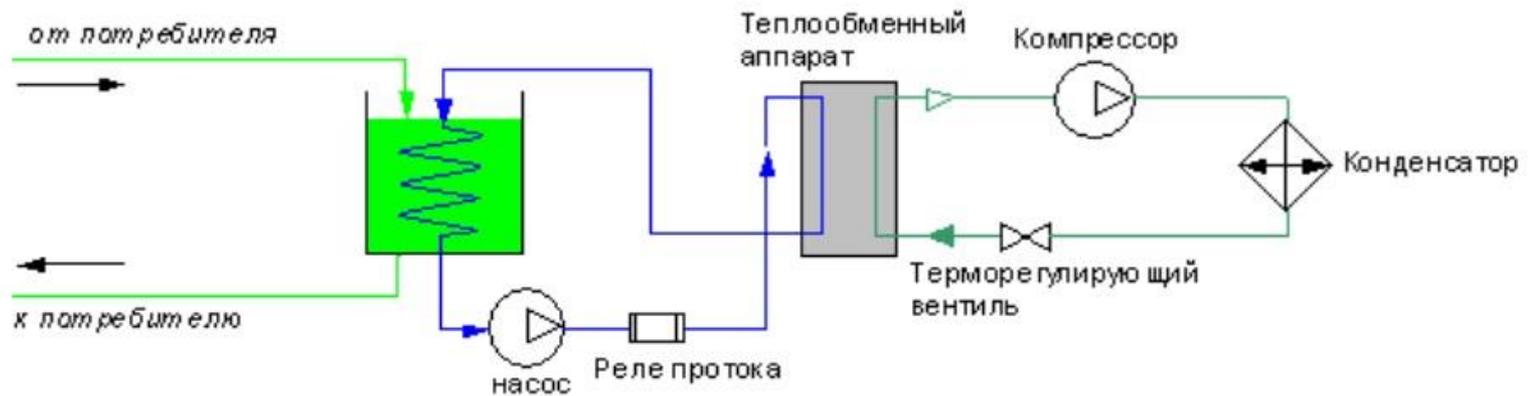


$$\Delta T_{\text{ж}} > 7^{\circ}\text{C}$$

# Схема охлаждения жидкости с использованием ёмкости-накопителя (N-users)



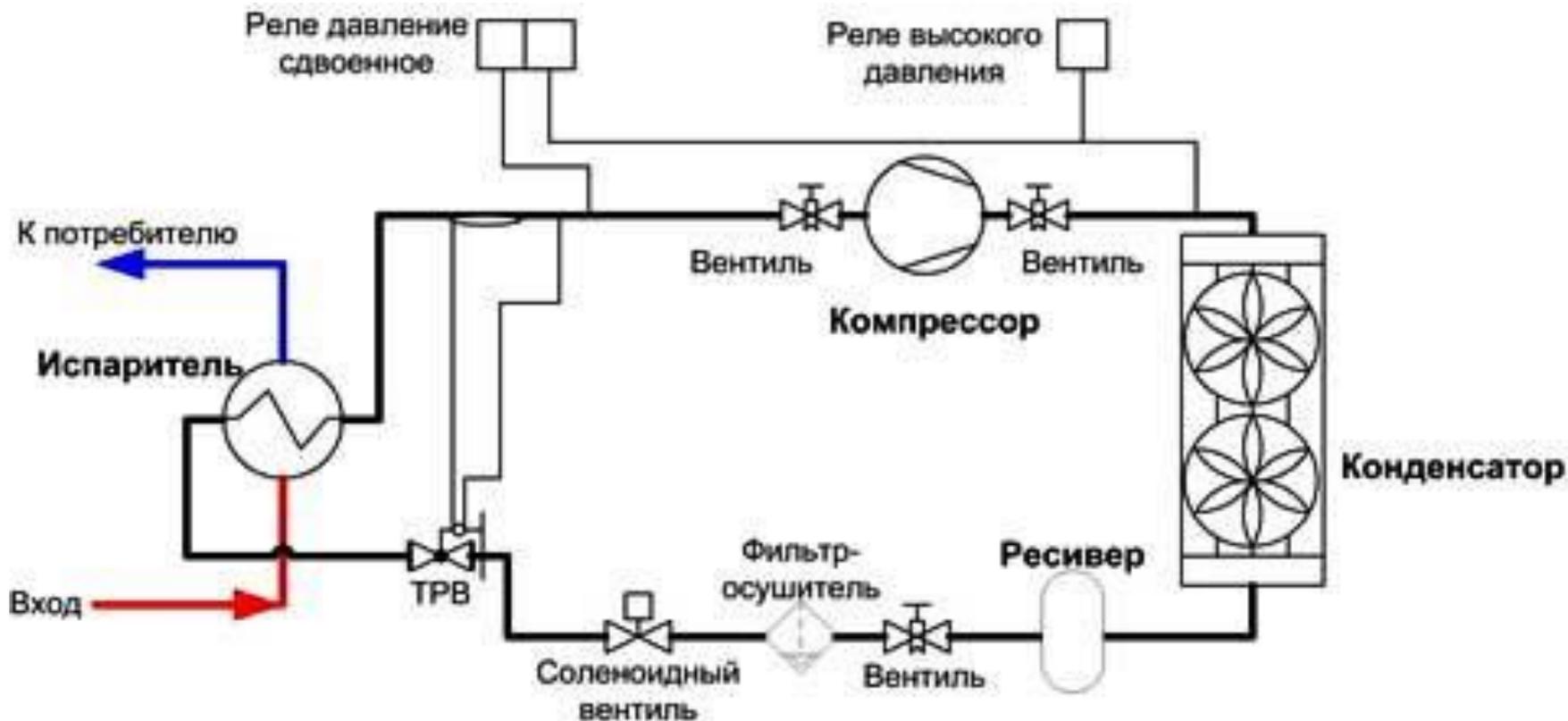
# Схема охлаждения жидкости с использованием промежуточного хладоносителя и открытого вторичного теплообменного аппарата



Получение  $T_B = 0^\circ\text{C}$

# Принцип работы чиллера

Принцип работы чиллера схож с работой холодильников, кондиционеров, холодильных установок. Охлаждающий газ (фреон) в холодильных установках совершает так называемый обратный цикл Ренкина. При этом основная передача тепла основана не на сжатии или расширении, а на фазовых переходах — испарении и конденсации.



# Фреоны

Фреоны – фторсодержащие насыщенные углеводороды используемые в качестве хладогента

Химическая формула	Наименование	Техническое обозначение	Температура плавления, °С	Температура кипения, °С	Относительная молекулярная масса
$CF_3H$	<a href="#">трифторметан</a>	R-23	-155,15	-82,2	70,014
$CF_3Cl$	<a href="#">трифторхлорметан</a>	R-13	-181	-81,5	104,459
$CF_3Br$	<a href="#">трифторбромметан</a>	R-13B1	-174,7	-57,77	148,910
$CF_2H_2$	<a href="#">дифторметан</a>	R-32	-136	-51,7	52,024
$CF_2ClH$	<a href="#">хлордифторметан</a>	R-22	-157,4	-40,85	86,468
$CF_2Br_2$	<a href="#">дифтордибромметан</a>	R-12B2	-141	24,2	209,816

R-410A — фреон, неазеотропная смесь из 50 % дифторметана R-32 (англ.) и 50 % пентафторэтана R-125 (англ.), наиболее часто используемый фреон в современных кондиционерах. Озоноразрушающий потенциал равен нулю.

Свойство	Значение <sup>[1][2]</sup>
<a href="#">Температура кипения</a> ( $T_0$ )	-51,5 °С
<a href="#">Критическая температура</a> ( $T_c$ )	72 °С
<a href="#">Критическое давление</a> ( $p_c$ )	4.93 МПа (49,7 атм)
<a href="#">Теплота парообразования</a> при температуре кипения, кДж/кг	264,3
<a href="#">Коэффициент возможности истощения озонового слоя</a> (ODP)	0 ( $CCl_3F = 1$ )
<a href="#">Потенциал глобального потепления</a> (GWP)	1890 ( $CO_2 = 1$ )





- 1 Компрессор (Compressor)
- 2 Конденсатор воздушного охлаждения (Air-Cooled Condenser)
- 3 Реле высокого давления (High Pressure Limit)
- 4 Манометр высокого давления (High Pressure Pressure Gauge)
- 5 Жидкостной ресивер (Liquid Receiver)
- 6 Фильтр-осушитель (Filter Drier)
- 7 Соленоидный вентиль (Liquid Line Solenoid)
- 8 Смотровое стекло (Refrigerant Sight Glass)
- 9 Терморегулирующий вентиль (Expansion Valve)
- 10 Горячий Перепускной клапан газа (Hot Gas Bypass Valve)
- 11 Испаритель (Evaporator)
- 12 Манометр низкого давления фреона (Low Pressure Refrigerant Gauge)
- 13 Предельное Низкое давление хладагента (Low Refrigerant Pressure Limit)
- 14 Насос охлаждающей жидкости (Coolant Pump)
- 15 Ограничение температуры замерзания (Freezestat Limit)
- 16 Датчик температуры
- 17 Хладагент манометр (Coolant Pressure Gauge)
- 18 Автоматический долив (Water Make-Up Solenoid)
- 19 Резервуар Уровень поплавковый выключатель (Reservoir Level Float Switch)
- 20 Датчик температуры 2 (From Process Sensor Probe)
- 21 Реле протока (Evaporator Flow Switch)
- 22 Емкость (Reservoir)

# Чиллеры для помещений



# Уличные чиллеры или чиллеры со сплит системами



Характеристика чиллера	Значение
Модель	зависит от производителя
Холодопроизводительность, кВт	от 5 до 500
Номинальная мощность, кВт	от 3 до 200
Габариты, мм Ш×Д×В	от 500 до 4000
Вес, кг	от 100 до 5000
Тип компрессора, испарителя, конденсатора и цвет корпуса	зависит от производителя



«Дельта» г. Санкт-Петербург



Центрпромхолод г. Одинцово

Спасибо за внимание!