

2885

74

есть в ун  
ур



ОТРАСЛЕВОЙ СТАНДАРТ

ОСТ 4 ГО. 070. 003

АППАРАТУРА РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ  
СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ  
ВЫБОР СПОСОБА ОХЛАЖДЕНИЯ

ОСТ 4 ГО. 070. 003

Редакция 2-72

СВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ  
с 1 VI 1975 г.  
Стандарт 12/от 16.5.72  
Дата 3/12/75 Подпись

Издание официальное

1972

## О Т Р А С Л Е В О Й   С Т А Н Д А Р Т

---

АППАРАТУРА РАДИОЭЛЕКТРОННАЯ	ОСТ4.ГО.070.003
Системы охлаждения. Выбор способа охлаждения	Редакция 2-72
	Взамен
	ОСТ4 ГО.070.003
	Редакция 1-71

---

Директивным письмом организации от 29 августа 1972 г. № 22-107/В/45 срок вступления в силу установлен с 1 июля 1973 г.

Настоящий стандарт распространяется на выбор способа охлаждения радиоэлектронной аппаратуры, работающей в стационарном тепловом режиме.

Настоящий стандарт устанавливает принципы выбора области применения естественного и принудительного воздушного, принудительного жидкостного, естественного и принудительного испарительного способов охлаждения радиоэлектронной аппаратуры.

## 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ОХЛАЖДЕНИЯ

### 1.1. Исходные данные:

- мощность, рассеиваемая блоком или индивидуальным элементом,  $Q$ , Вт;
- допустимая температура нагретой зоны  $t_{доп}$ , °C;
- диапазон изменения температуры окружающей среды

$$t_{oc\ min} - t_{oc\ max}, ^\circ C.$$

ОСТ4 ГО.070.003  
Стр.2  
Редакция 2-72

1.2. Определяется расчетная поверхность нагретой зоны  $S_3$ , м<sup>2</sup>:

а) для блока при воздушном охлаждении

$$S_3 = 2 [L_1 \cdot L_2 + (L_1 + L_2) \cdot L_3 \cdot K_3], \quad (1)$$

где  $L_1, L_2$  — горизонтальные размеры кожуха блока, м;  
 $L_3$  — высота кожуха блока, м;  
 $K_3$  — коэффициент заполнения;

б) для блока при жидкостном и испарительном охлаждении и для индивидуального элемента при воздушном, жидкостном и испарительном охлаждениях значение величины  $S_3$  рассчитывается по геометрическим размерам охлаждаемой поверхности, находящейся в непосредственном контакте с теплоносителем.

1.3. Определяется величина удельной мощности нагретой зоны  $q$ , Вт/м<sup>2</sup>:

$$q = \frac{Q}{S_3}. \quad (2)$$

1.4. Определяется минимальная величина допустимого перегрева нагретой зоны  $\Delta t_{gon}$ , °C

$$\Delta t_{gon} = t_{gon} - t_{oc, max}. \quad (3)$$

1.5. По известным значениям  $q$  и  $\Delta t_{gon}$  осуществляется выбор способа охлаждения соответственно зоне на черт.1, в которой находится точка с координатами  $q$  и  $\Delta t_{gon}$ . Нижняя часть черт.1 относится к блокам, верхняя — к индивидуальным элементам. В случае соответствия данным значениям  $q$  и  $\Delta t_{gon}$  нескольких способов охлаждения выбирается один из них с использованием технических характеристик систем охлаждения (и их элементов), способ определения которых приведен в дальнейших разделах настоящего стандарта.

## 2. ЕСТЕСТВЕННОЕ ВОЗДУШНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

### 2.1. Естественное воздушное охлаждение при нормальном атмосферном давлении

2.1.1. По значениям  $q$  и  $\Delta t_{\text{дон}}$ , определенным в пп.1.3 и 1.4, находим значение вероятности  $P$  обеспечения нормального теплового режима блоков при нормальном атмосферном давлении:

а) блоки с герметичным кожухом и внутренним перемешиванием (массовая скорость воздуха  $\omega = 0-3 \text{ кг/м}^2 \text{ сек}$ ) - черт.2;

б) блоки с герметичным кожухом с наружным обдувом (массовая скорость воздуха  $\omega = 0-4 \text{ кг/м}^2 \text{ сек}$ ) - черт.3;

в) блоки с перфорированным кожухом - черт.4.

2.1.2. В зависимости от области значений  $P$  на черт.2-4:

$P < 0,05$  - обеспечить нормальный тепловой режим блока практически невозможно;

$0,05 \leq P < 0,1$  - обеспечить нормальный тепловой режим блока удается очень редко;

$0,1 \leq P < 0,3$  - обеспечить нормальный тепловой режим блока возможно, уделяв особое внимание вопросам охлаждения даже за счет ухудшения других параметров блока;

$0,3 \leq P < 0,8$  - обеспечить нормальный тепловой режим блока возможно. При этом чем меньше значений  $P$ , тем большее внимание следует уделять вопросам охлаждения при конструировании блока;

$P \geq 0,8$  - обеспечить нормальный тепловой режим блока возможно, причем не следует уделять особое внимание вопросам охлаждения при конструировании блока.

Практически рекомендуется использовать условия охлаждения, соответствующие области  $P > 0,3$ .

Стр.4 ОСТ4 ГО.070.003  
Редакция 2-72

## 2.2. Естественное воздушное охлаждение при атмосферном давлении, отличном от нормального

2.2.1. Кроме перечисленных в п.1.1 исходных данных, должны быть известны значения следующих величин:

а) атмосферное давление  $H_1$  вне корпуса блока, мм рт.ст.;

б) атмосферное давление  $H_2$  внутри корпуса блока, мм рт.ст.

2.2.2. Определяется способ естественного охлаждения согласно подразделу 2.1.

2.2.3. Соответственно значениям  $H_1$  и  $H_2$  определяем значения поправочных коэффициентов  $\eta$  при помощи следующих таблиц:

а) блоки герметизированные без наддува ( $H_1 = H_2$ ) - табл.1;

б) блоки с герметизированным кожухом - табл.2;

в) блоки с перфорированным кожухом - табл.3;

г) блоки с герметичным кожухом с внутренним перемешиванием - табл.4;

д) блоки с герметичным кожухом с наружным обдувом кожуха - табл.5.

2.2.4. Определяется эквивалентное значение удельной мощности нагретой зоны

$$q_1 = q \cdot \eta \quad (4)$$

2.2.5. Осуществляется окончательный выбор способа охлаждения при помощи черт.1 согласно подразделу 1.5 с использованием значений  $q_1$  и  $\Delta t_{\text{зоп}}$ .

При выборе способа охлаждения следует руководствоваться пп.1.1-1.5, 2.1.

Таблица 3

$H_1 = H_2$ , мм рт.ст.	1520	760	500	400	300	200	100	80	60	40	20	5
$\eta$	0,85	1,00	1,07	1,19	1,28	1,36	1,60	1,67	1,76	1,87	2,02	2,17

Таблица 4

$\omega$ , кг м <sup>2</sup> /сек	$H_1$ , мм рт.ст.											
	1520	760	500	400	300	200	100	80	60	40	20	5
	$\eta$											
1	0,88	1,00	1,05	1,09	1,13	1,22	1,35	1,41	1,47	1,53	1,61	1,73
2	0,87	1,00	1,07	1,10	1,16	1,25	1,40	1,48	1,54	1,61	1,70	1,83
3	0,85	1,00	1,08	1,12	1,18	1,30	1,48	1,55	1,64	1,72	1,85	2,02
4	0,84	1,00	1,09	1,14	1,21	1,34	1,55	1,65	1,74	1,84	1,96	2,16

Т а б л и ц а 5

$\omega$ , кг м <sup>2</sup> .сек	$H_1$ , мм пр.ст.											
	1520	760	500	400	300	200	100	80	60	40	20	5
	$\eta$											

1,2	0,90	1,00	1,03	1,06	1,10	1,16	1,24	1,28	1,30	1,35	1,37	1,39
3,4	0,89	1,00	1,05	1,09	1,15	1,22	1,32	1,33	1,38	1,45	1,48	1,51

Стр. 12  
Релакция 2-72

ОСТ 4 ГО.070.008

- 6 -

2.3. Примеры выбора способа охлаждения и определения основных технических характеристик естественно-го воздушного охлаждения приведены в рекомендуемом приложении 3.

### 3. ПРИНУДИТЕЛЬНОЕ ВОЗДУШНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

#### 3.1. Определение массового расхода воздуха

3.1.1. При помощи графика черт.5, по значениям  $Q$  и  $\Delta t_{гон}$ , определенным в пп.1.3 и 1.4, находим величину удельного массового расхода воздуха  $\frac{G}{Q} \frac{кг}{сек \cdot кВт}$ .

При этом черт.5а - для  $\Delta t_{гон} \leq 20^\circ C$ ; черт.5б -  $20 < \Delta t_{гон} \leq 40^\circ C$ ; черт.5в -  $40 < \Delta t_{гон} \leq 60^\circ C$ .

Рекомендуемая вероятностная оценка:

- а) для стационарной РЭА  $P > 0,5$ ;
- б) для передвижной РЭА  $0,5 \leq P < 0,7$ ;
- в) для бортовой РЭА  $0,3 \leq P < 0,5$ .

3.1.2. Определяем величину массового расхода воздуха  $G, \frac{кг}{сек}$ , по формуле

$$G = \left( \frac{G}{Q} \right) \cdot Q \cdot 10^{-3}, \quad (5)$$

где  $Q$  - мощность, рассеиваемая РЭА, Вт.

#### 3.2. Определение аэродинамического сопротивления блоков, шкафов, стоек РЭА и системы в целом

3.2.1. Величина аэродинамического сопротивления блоков, шкафов, стоек РЭА и системы в целом

$\Delta H, \frac{Н}{м^2}$ , определяется при помощи графика черт.6.



Рекомендуемая вероятностная оценка

$$0,4 \leq P < 0,7.$$

Чем выше значение  $P$ , тем больше вероятность того, что величина аэродинамического сопротивления реального изделия будет не выше значения, определенного по графику черт.6.

### 3.3. Определение массы системы охлаждения

3.3.1. При помощи графика черт.7 определяем величину удельной массы системы охлаждения (без воздухоохладителей)

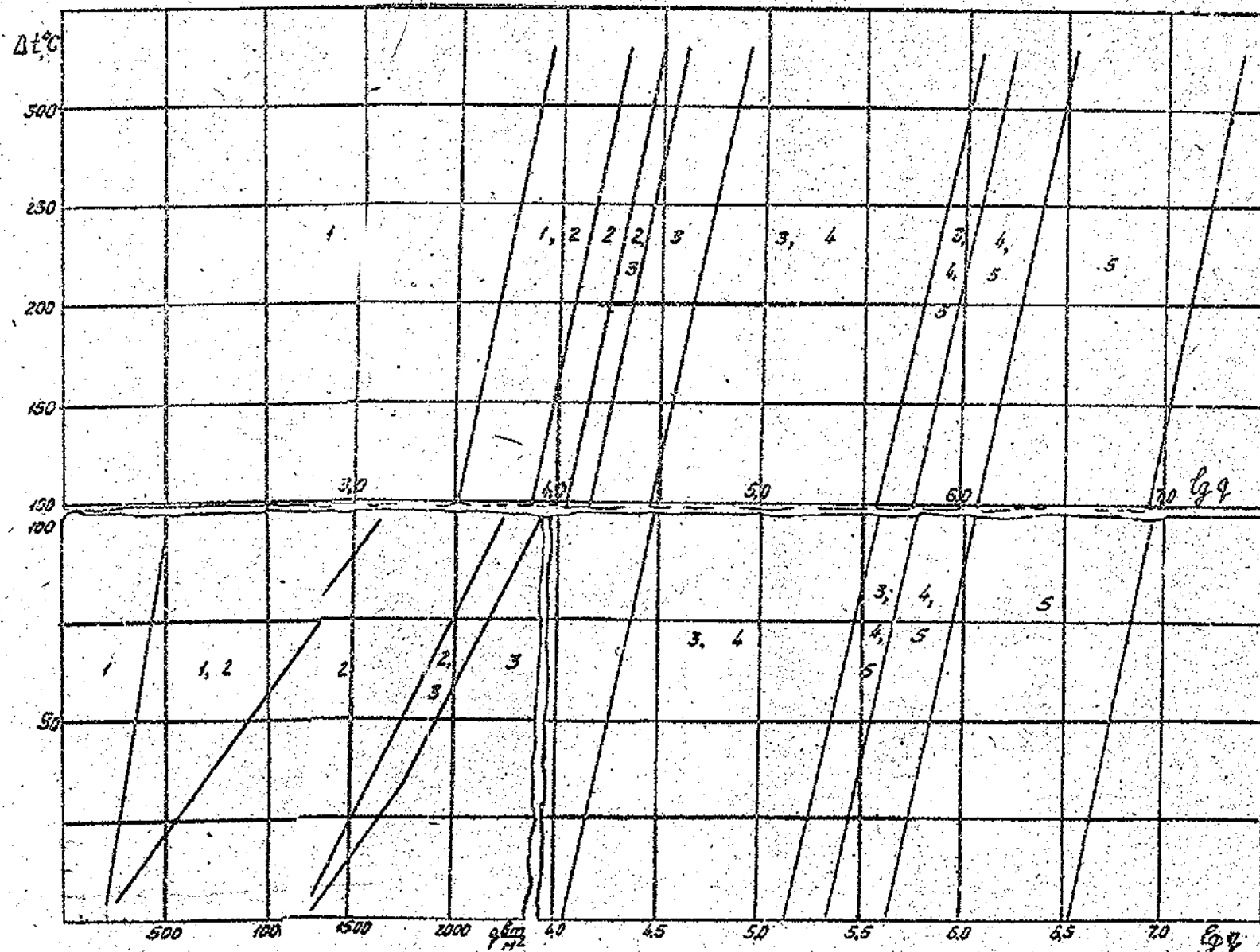
$$\frac{M}{Q} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{кВт}}$$

Рекомендуемая вероятностная оценка:

- а) для стационарной РЭА  $P > 0,5$ ;
  - б) для передвижной РЭА  $0,5 \leq P < 0,7$ ;
  - в) для бортовой РЭА  $0,3 \leq P < 0,5$ ;
  - г) для РЭА, в которой "приготовление" холодного воздуха осуществляется централизованной системой, масса и потребляемая мощность не учитываются.
- $0,3 \leq P < 0,5$ .

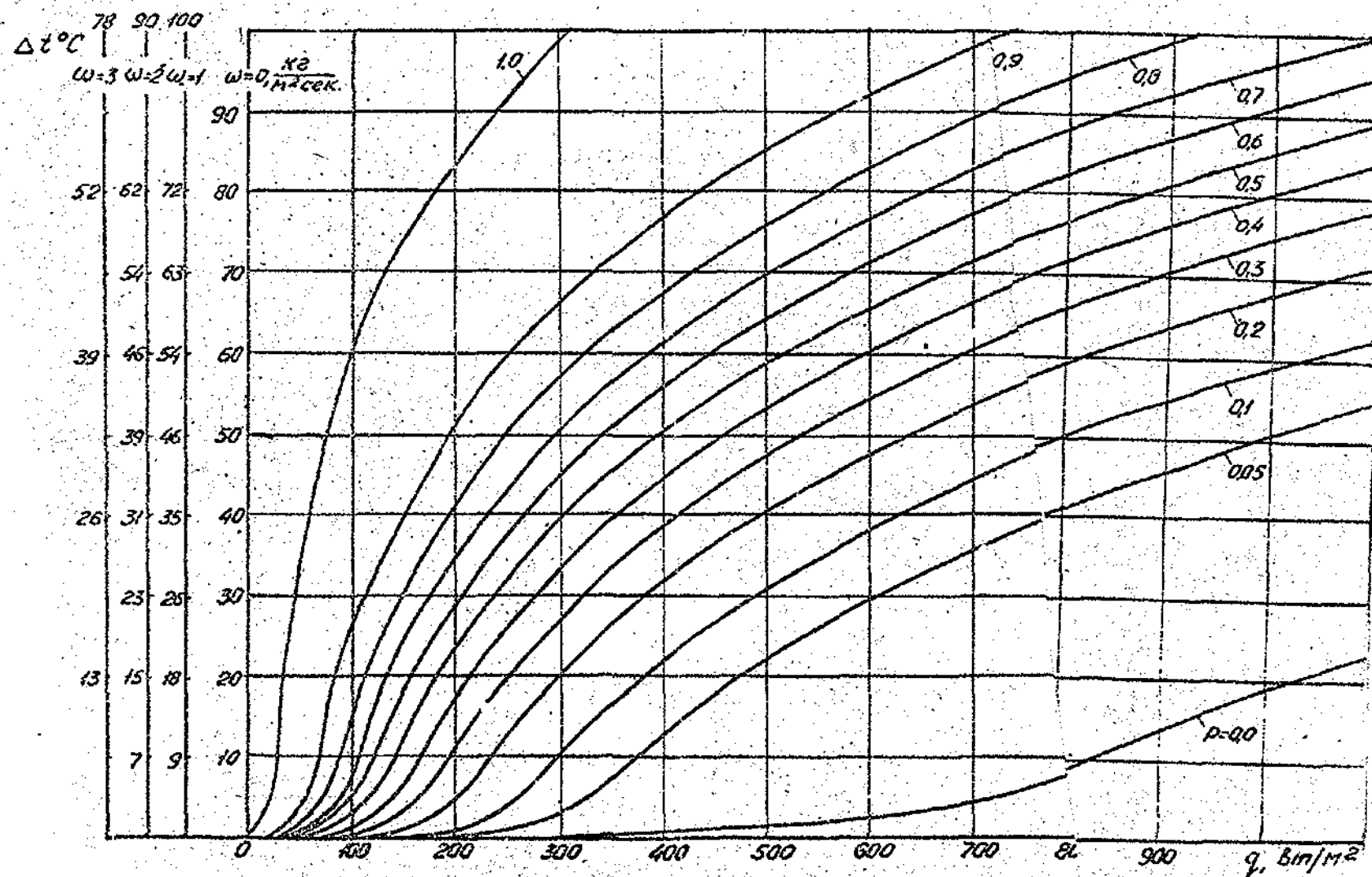
3.3.2. Определяем массу системы охлаждения (без воздухоохладителей)  $M$ , кг, по формуле

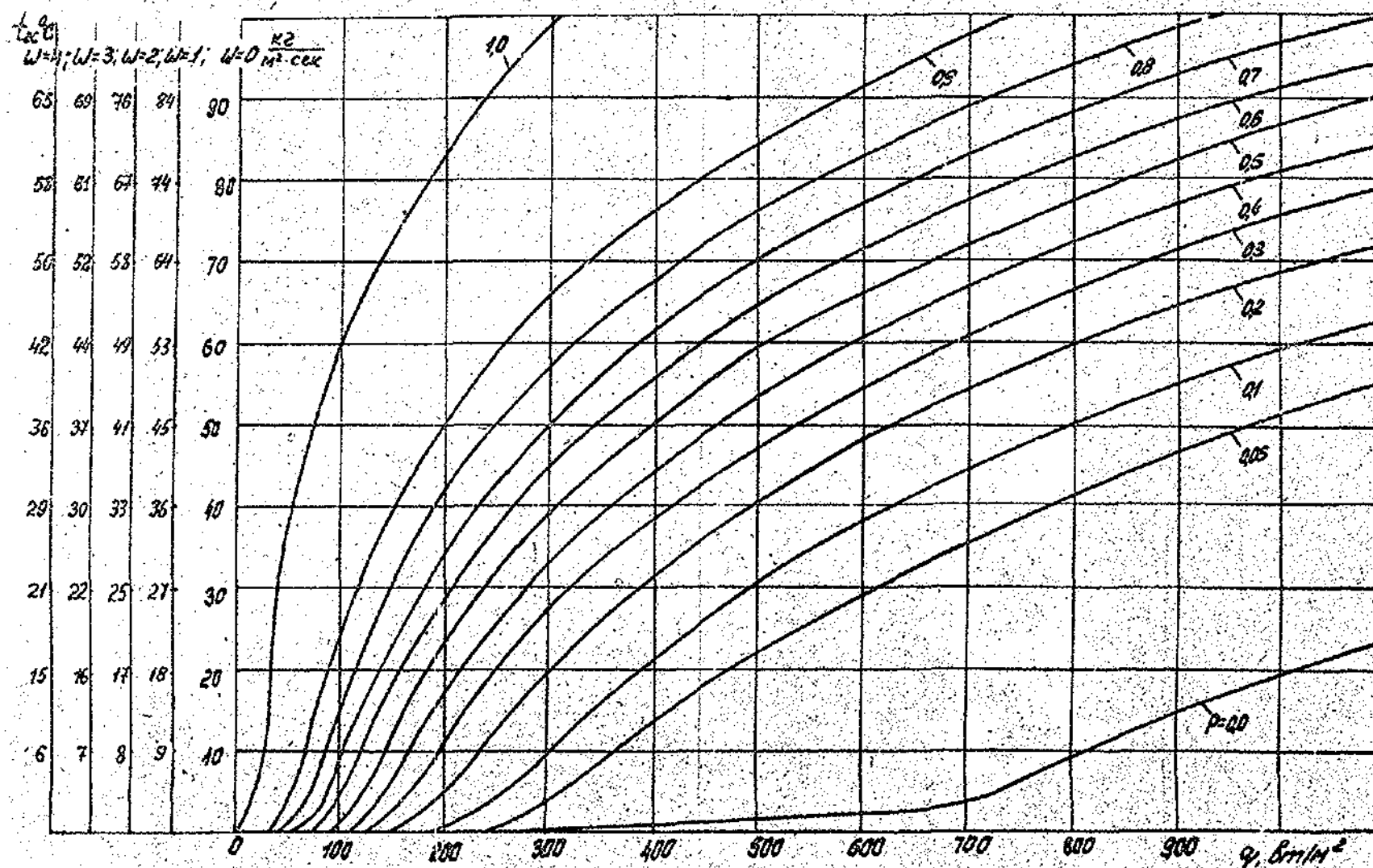
$$M = \left( \frac{M}{Q} \right) \cdot Q \cdot 10^{-3} \quad (6)$$



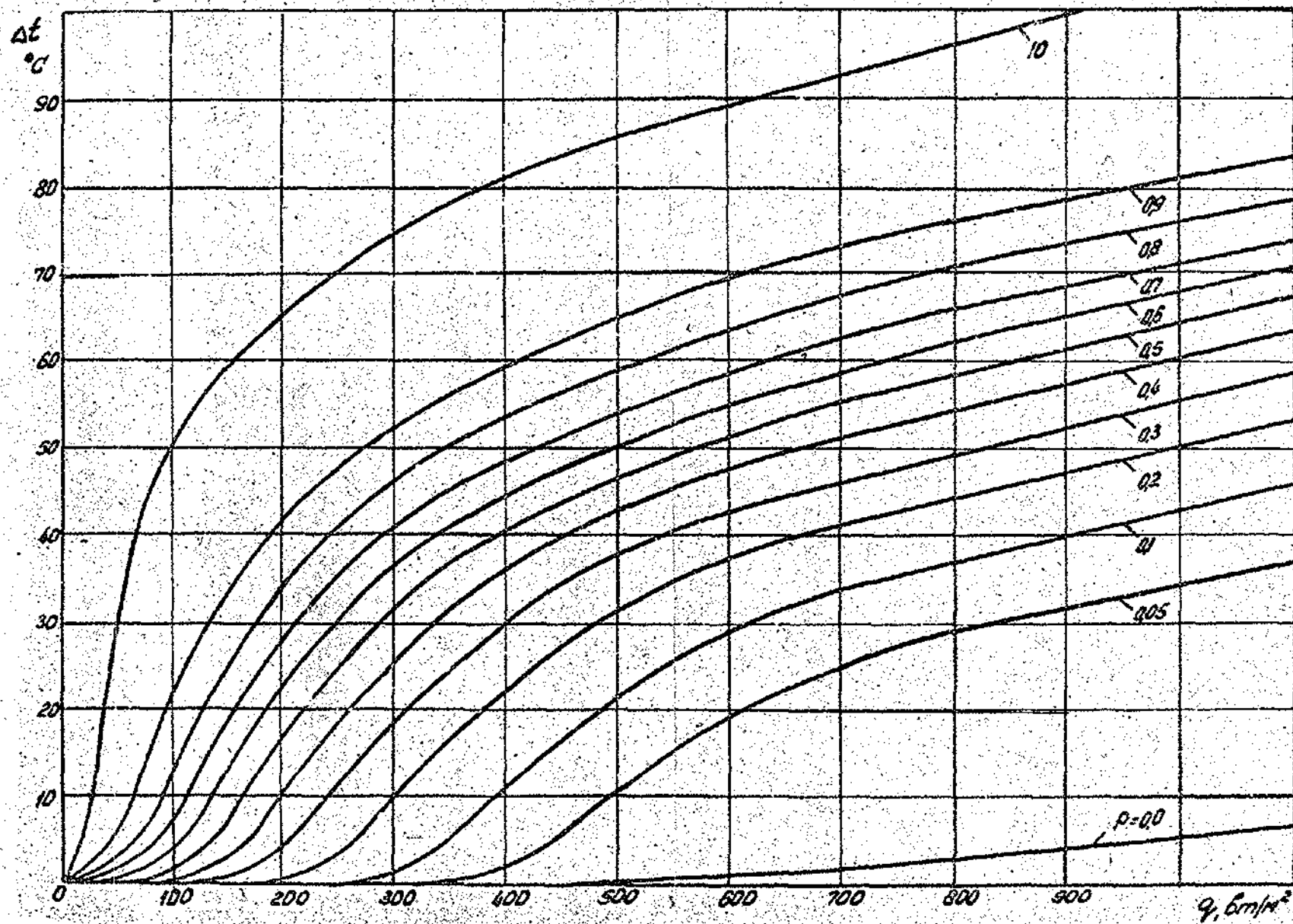
Способы сушки: 1 - естественный воздушный; 2 - принудительный воздушный;  
 3 - принудительный жидкостный; 4 - естественный испарительный;  
 5 - принудительный испарительный.

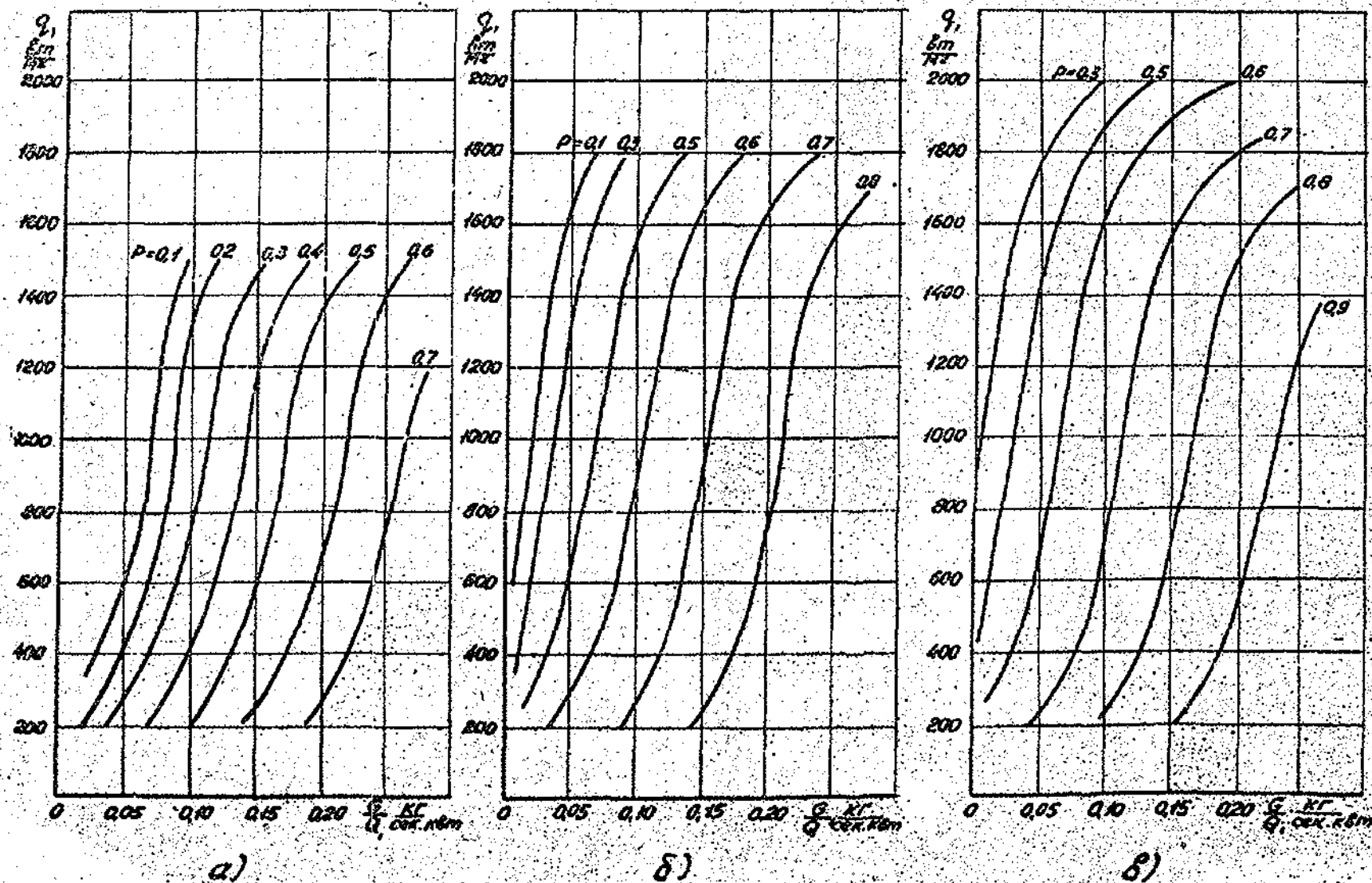
Черт.1





Черт.8





а) при  $\Delta t_{don} \leq 20^\circ\text{C}$ ; б) при  $20 < \Delta t_{don} \leq 40^\circ\text{C}$ ; в) при  $40 \leq \Delta t_{don} < 60^\circ\text{C}$ .

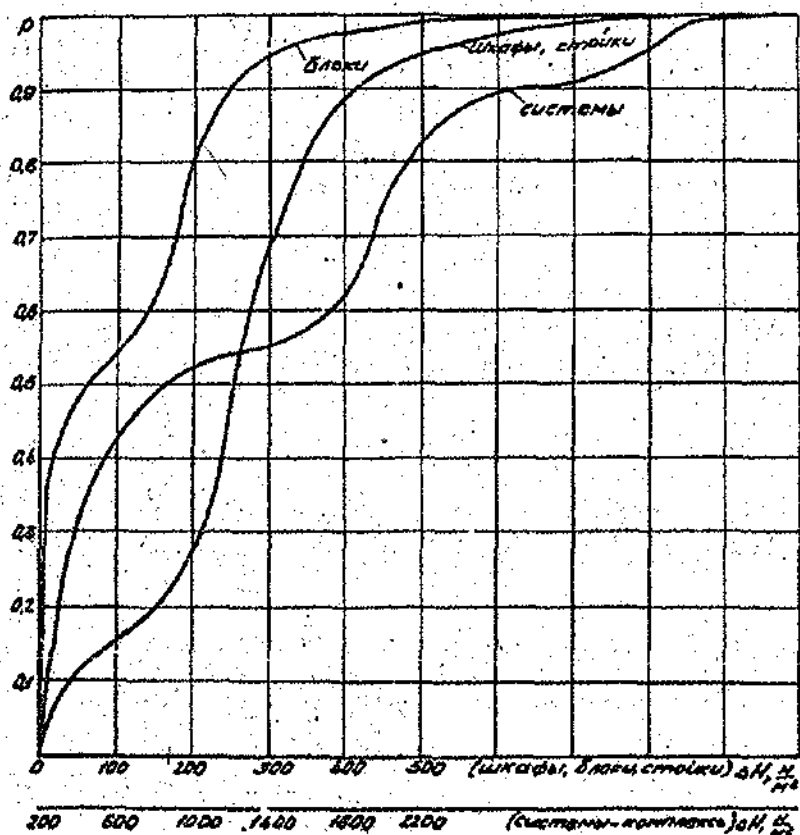
Черт.8

Т а б л и ц а 1

$H_1 = H_2$ , мм рт.ст.	1520	760	500	400	300	200	100	80	60	40	20	5
$\eta$	0,89	1,00	1,08	1,12	1,19	1,26	1,35	1,38	1,41	1,44	1,47	1,51

Т а б л и ц а 2

$H_2$ , мм рт.ст.	$H_1$ , мм рт.ст.											
	1520	760	500	400	300	200	100	80	60	40	20	5
	$\eta$											
1520	0,90	0,92	0,95	0,98	1,00	1,04	1,11	1,14	1,16	1,18	1,21	1,23
760	-	1,00	1,01	1,04	1,07	1,11	1,19	1,22	1,24	1,26	1,29	1,32
500	-	-	1,06	1,10	1,13	1,17	1,25	1,28	1,31	1,33	1,36	1,39
400	-	-	-	1,11	1,15	1,19	1,26	1,29	1,31	1,34	1,36	1,39
300	-	-	-	-	-	1,26	1,32	1,35	1,36	1,39	1,41	1,43
200	-	-	-	-	-	-	1,35	1,38	1,40	1,42	1,45	1,46



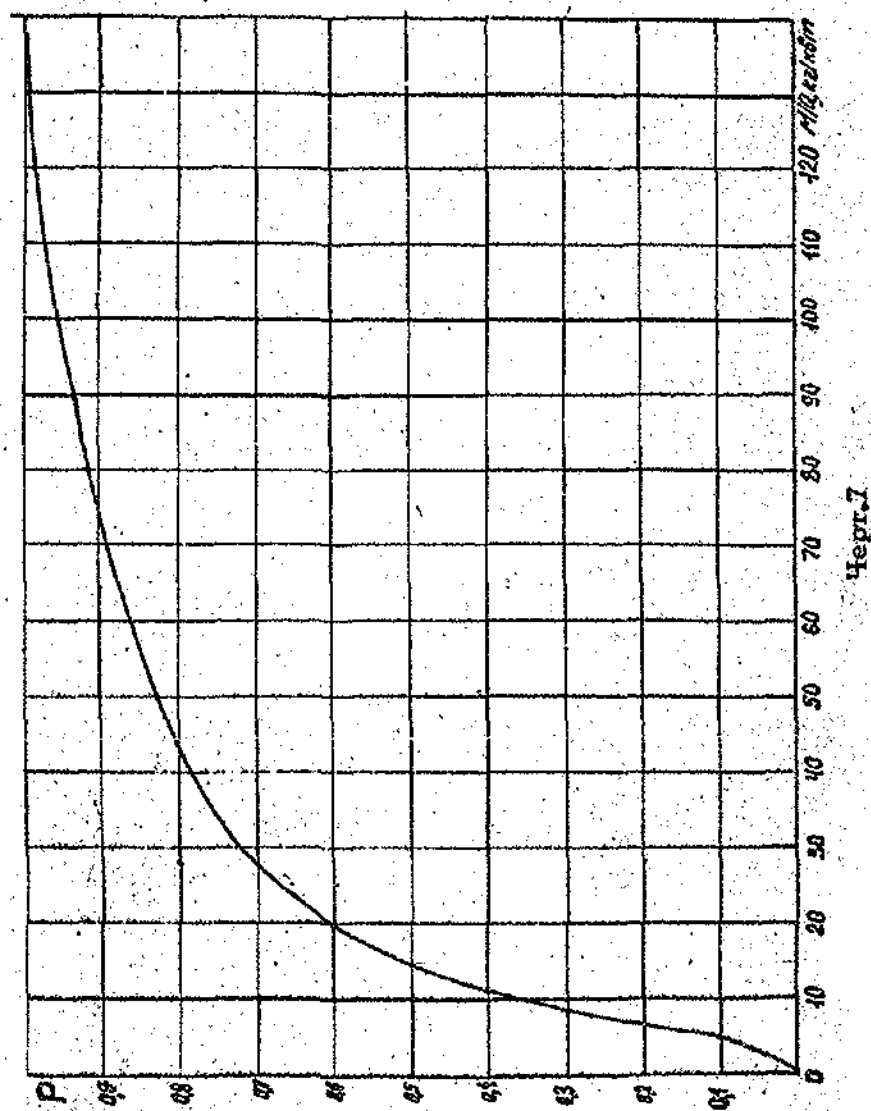
Черт.6



Стр.16

ОСТ4 ГО.070.008

Редакция 2-72



### 3.4. Определение мощности, потребляемой системой охлаждения

3.4.1. При помощи графика черт.8 определяем величину удельной мощности, потребляемой системой охлаждения (без воздухоохладителей).

Рекомендуемая вероятностная оценка в зависимости от типа РЭА определяется согласно п.3.1.1.

3.4.2. Определяем мощность, потребляемую системой охлаждения (без воздухоохладителей)  $N$ , Вт, по формуле

$$N = \left( \frac{N}{Q} \right) \cdot Q. \quad (7)$$

### 3.5. Определение объема системы охлаждения

3.5.1. Величину удельного объема системы охлаждения (без воздухоохладителей)  $\frac{V}{Q} \cdot \frac{M^3}{kВт}$  определяем:

а) для стационарной РЭА - при помощи графика черт.9;

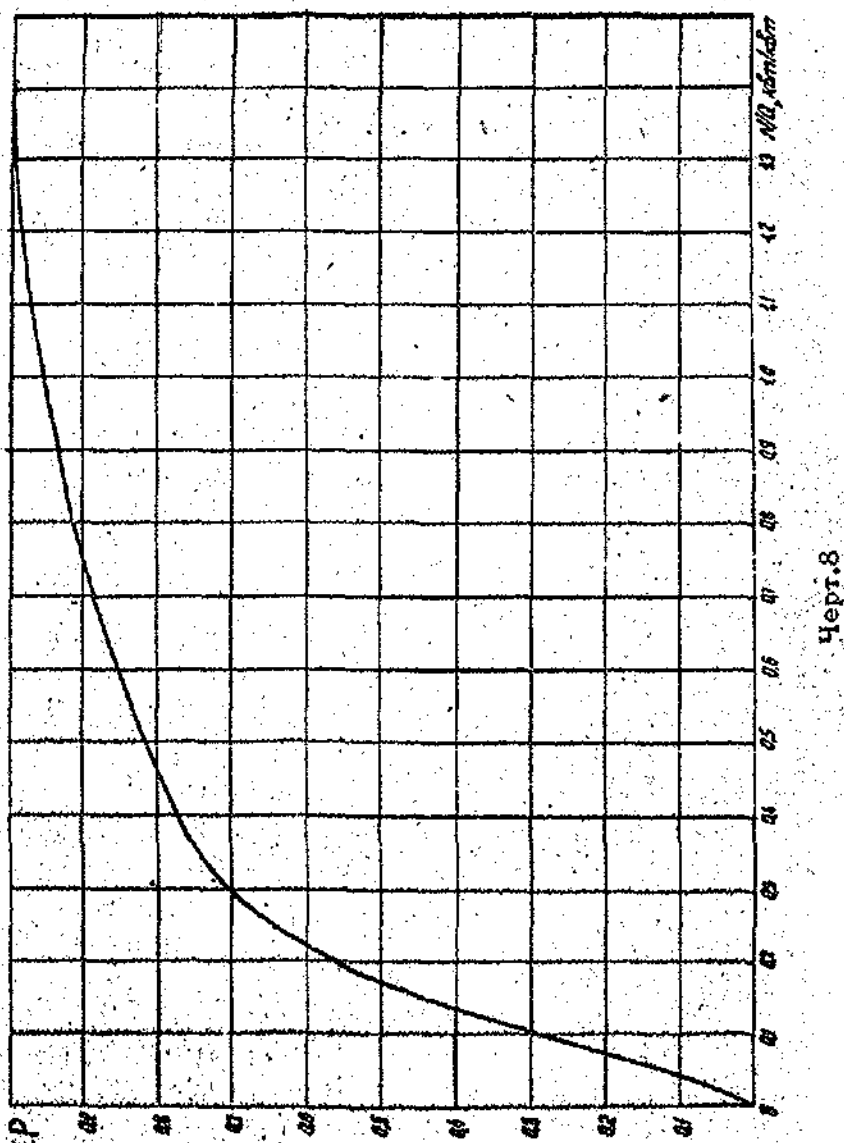
б) для передвижной и бортовой РЭА - при помощи графика черт.10.

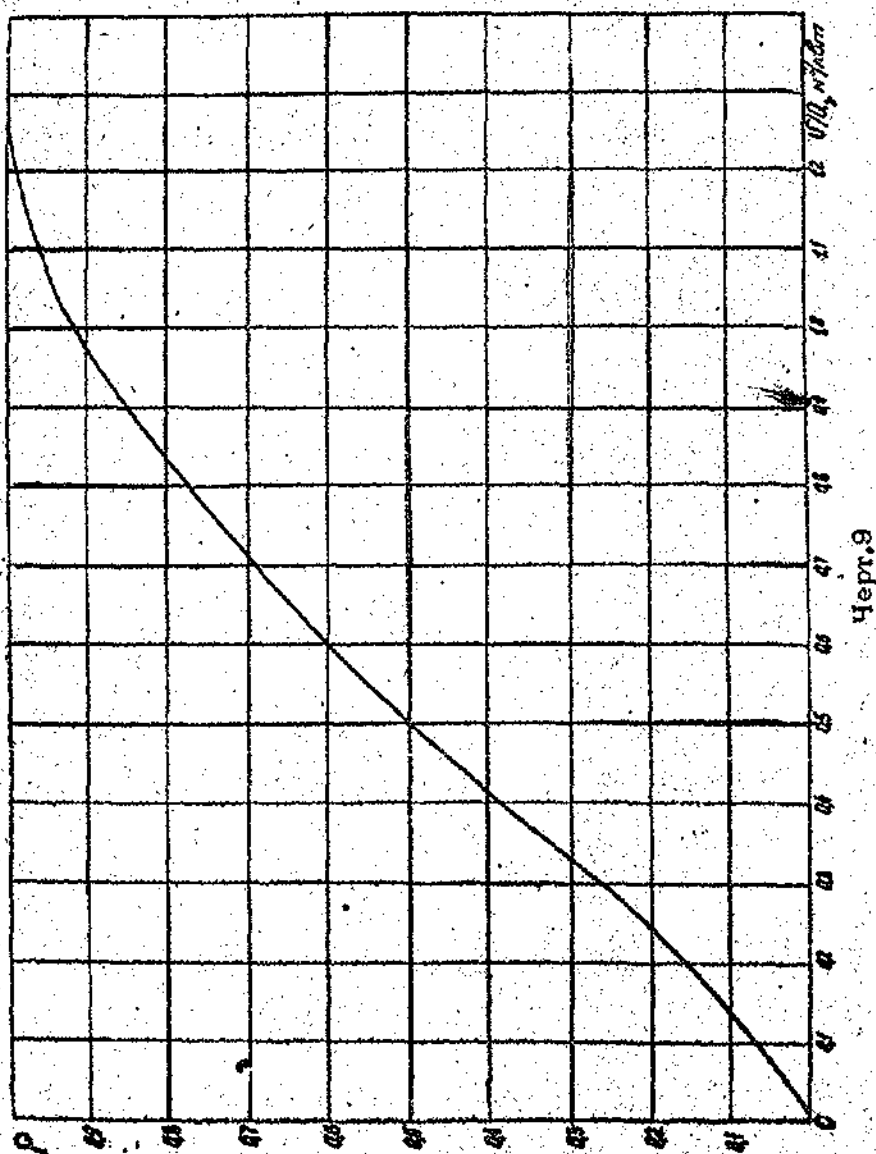
Рекомендуемая вероятностная оценка

$$0,5 \leq P < 0,7.$$

3.5.2. Определяем объем системы охлаждения (без воздухоохладителей)  $V$ ,  $M^3$ , по формуле

$$V = \left( \frac{V}{Q} \right) \cdot Q \cdot 10^{-3}. \quad (8)$$





П р и м е ч а н и е. Масса, потребляемая мощность и объем воздухоохлаждаителей определяются по графикам черт. 7, 8 (рекомендуемое приложение 2).

3.6. Определение усредненных технических характеристик ряда элементов систем принудительного воздушного охлаждения производится по формулам и графикам, приведенным в рекомендуемом приложении 2.

3.7. Пример выбора принудительного воздушного способа охлаждения и определения основных технических характеристик системы охлаждения приведен в рекомендуемом приложении 3.

#### 4. ПРИНУДИТЕЛЬНОЕ ЖИДКОСТНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

##### 4.1. Исходные данные:

- а) мощность  $Q$ , рассеиваемая РЭА, Вт;
- б) допустимая температура нагретой зоны  $t_{доп}$ , °C;
- в) диапазон изменения температуры окружающей среды

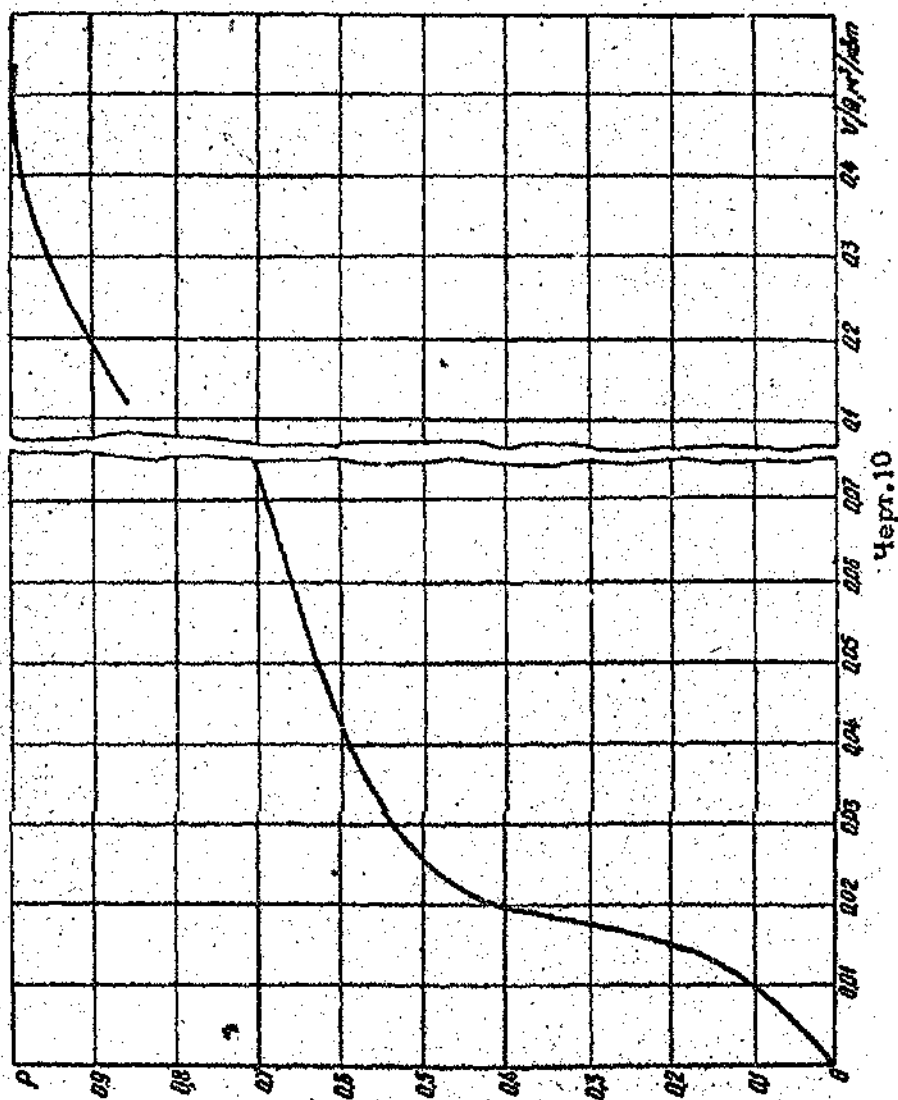
$$t_{ос min} - t_{ос max}, \text{ } ^\circ\text{C};$$

- г) максимально допустимая величина гидравлического сопротивления РЭА  $\Delta H_{доп}$ ,  $\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ ;

д) требования к теплоносителю по диэлектрическим и эксплуатационным характеристикам.

##### 4.2. Выбор теплоносителя

4.2.1. Определяется перечень теплоносителей, удовлетворяющих требованиям, изложенным в п.4.1.



4.2.2. Из числа определенных в п.4.2.1 теплоносителей выбираются те, для которых выполняется условие

$$t_{нк} > t_{гон},$$

где  $t_{нк}$  — температуры кипения теплоносителей при атмосферном давлении, приведены в табл.6

Т а б л и ц а 6

Номер теплоносителя	Наименование теплоносителя	$t_{нк}, ^\circ\text{C}$
1	Вода	100
2	Метиловый спирт	64
3	Этиловый спирт	78
4	Антифриз-65	121
5	Перфтордиметилциклогексилламин	111
6	Перфтордибутиловый эфир	100
7	Перфтортриэтиламин	69
8	ИД	130
9	ИМС-10	250
10	ФМ-1322	190

4.2.3. Из числа определенных в п.4.2.2 теплоносителей выбираем тот, который имеет в табл.6 меньший порядковый номер.

## 4.3. Определение массы системы охлаждения

4.3.1. Определяем минимальную величину допустимого перегрева нагретой зоны

$$\Delta t_{гон} = t_{гон} - t_{ос max}.$$

4.3.2. Определяем порядковый номер чертежа для определения величины удельной массы системы охлаждения

$\frac{M}{Q}$  при помощи табл.7.

Т а б л и ц а 7

Номер теплоносителя в табл.6	$\Delta H_{гон}, \frac{H}{Mg}$		
	$0-5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5-10^6$	$10^6-1,5 \cdot 10^6$
	Номер чертежа		
1	11	15	19
2,3,4	12	16	20
5,6,7,8	13	17	21
9,10	14	18	22

4.3.3. Откладываем значение  $\Delta t_{гон}$ , полученное в п.4.3.1, на оси  $\Delta t$  чертежа, порядковый номер которого определен в п.4.3.2.

4.3.4. Из полученной точки проводим прямую, параллельную оси ординат, до пересечения с нижней и верхней кривыми на этом графике.

4.3.5. Из полученных точек пересечения проводим прямые, параллельные оси абсцисс, до пересечения с осью  $\frac{M}{Q}$  и определяем минимальное и максимальное значения удельной массы системы охлаждения



$$\left(\frac{M}{Q}\right)_{\min}, \left(\frac{M}{Q}\right)_{\max}, \frac{\text{кг}}{\text{кВт}}$$

4.3.6. Определяем минимальное, максимальное и рекомендуемое значения массы системы охлаждения  $M$ , кг:

$$M_{\min} = \left(\frac{M}{Q}\right)_{\min} Q \cdot 10^{-3}; \quad (9)$$

$$M_{\max} = \left(\frac{M}{Q}\right)_{\max} Q \cdot 10^{-3}; \quad (10)$$

$$M_p = \frac{M_{\min} + M_{\max}}{2}. \quad (11)$$

4.3.7. При проектировании систем жидкостного охлаждения массу системы рекомендуется выбирать в пределах:

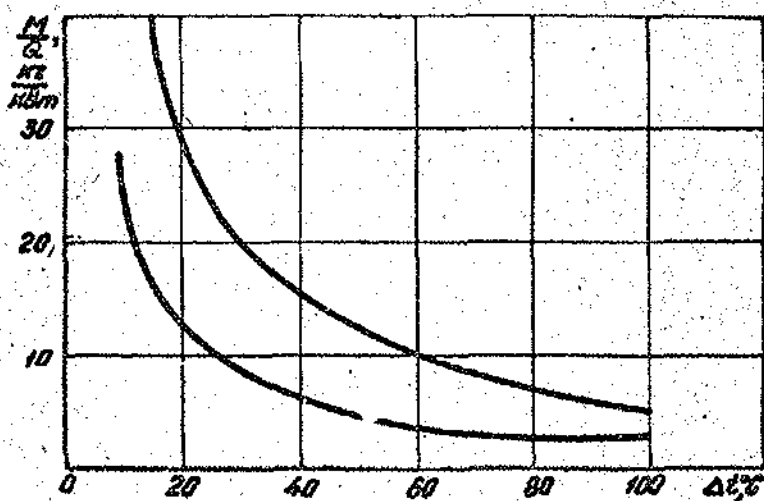
- а) для стационарной РЭА  $M_p \leq M < M_{\max}$ ;
- б) для передвижной и бортовой РЭА  $M_{\min} \leq M < M_p$ .

#### 4.4. Определение мощности, потребляемой системой охлаждения

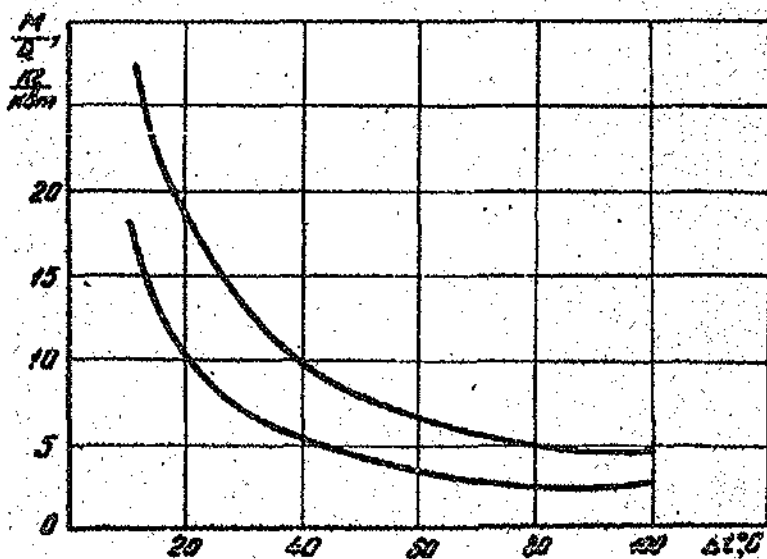
4.4.1. Определяем порядковый номер чертежа для определения величины удельной мощности, потребляемой системой охлаждения  $\frac{N}{Q}$ , при помощи табл.8.

Т а б л и ц а 8

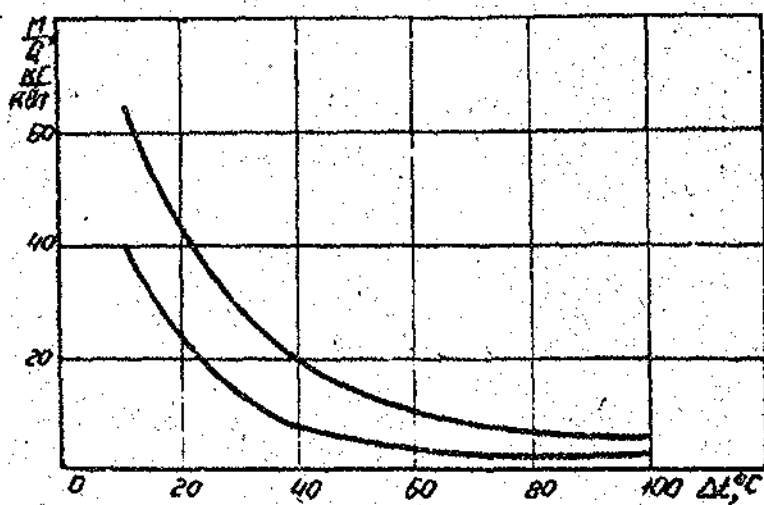
Номер теплоноси- теля в табл.6	$\Delta H_{доп}, \frac{H}{мг}$		
	$0-5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5 - 10^6$	$10^6 - 1,5 \cdot 10^6$
	Номер чертежа		
1	23	27	31
2,3,4	24	28	32
5,6,7,8	25	29	33
9,10	26	30	34



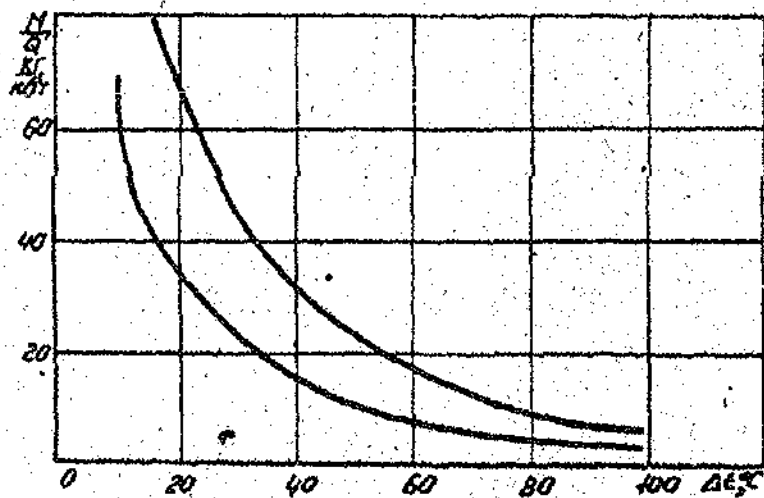
Черт. 11



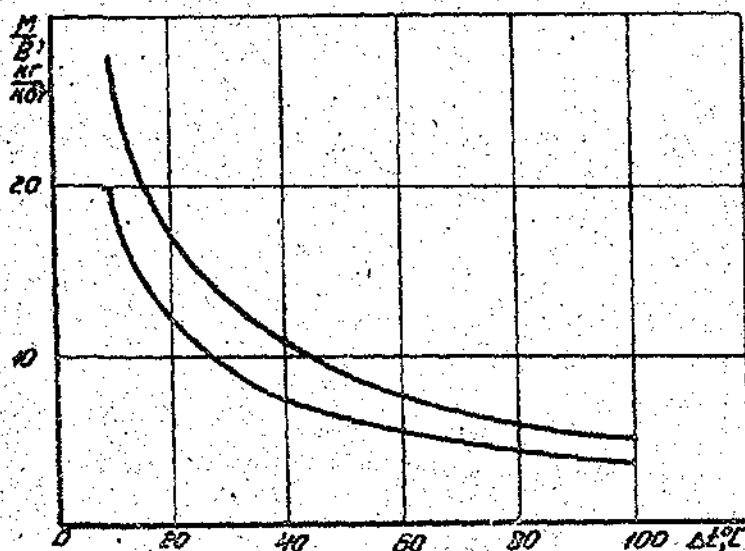
Черт. 12



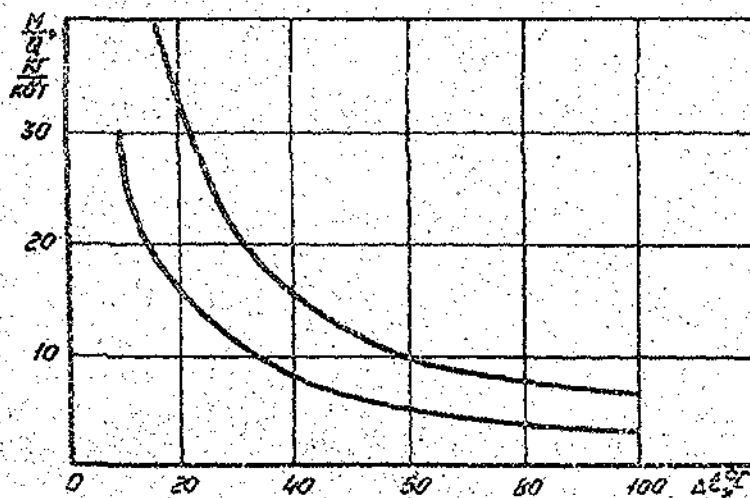
Черт.13



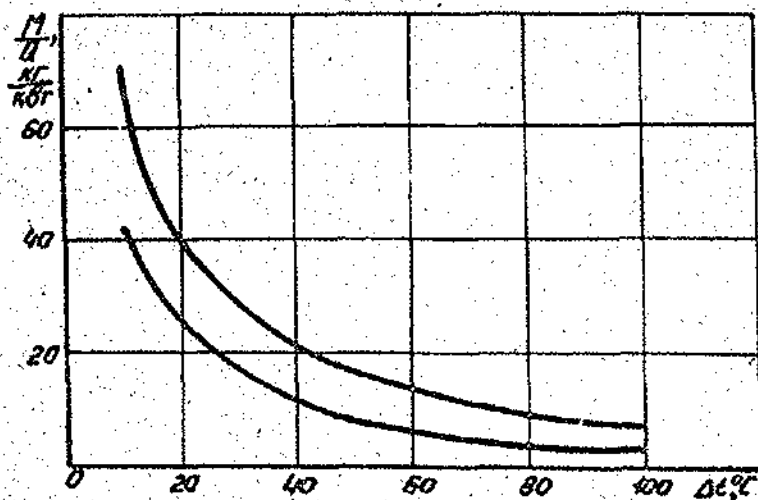
Черт.14



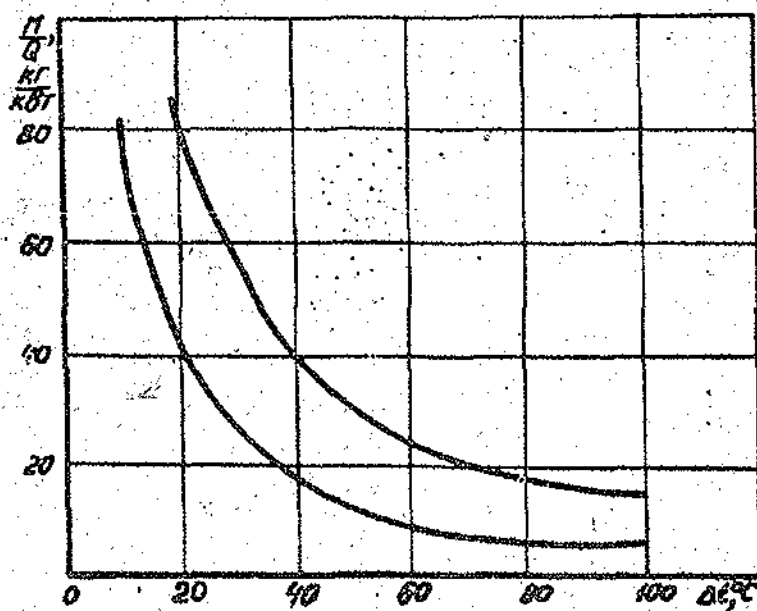
Черт. 15



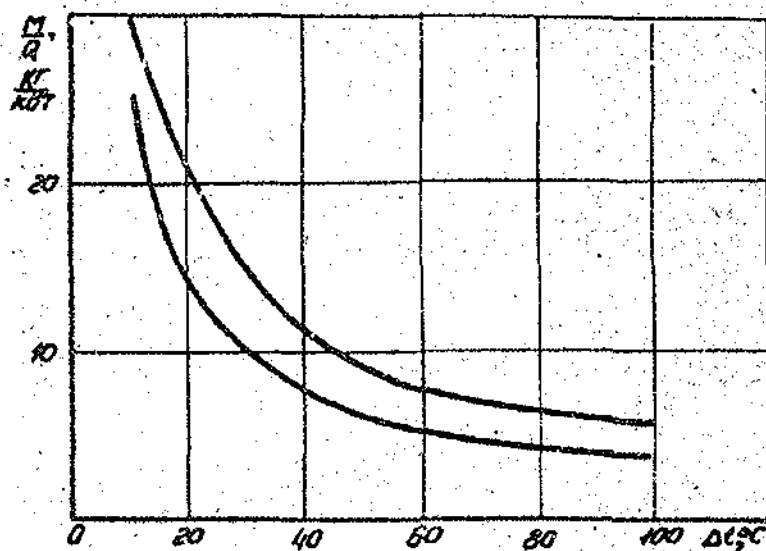
Черт. 16



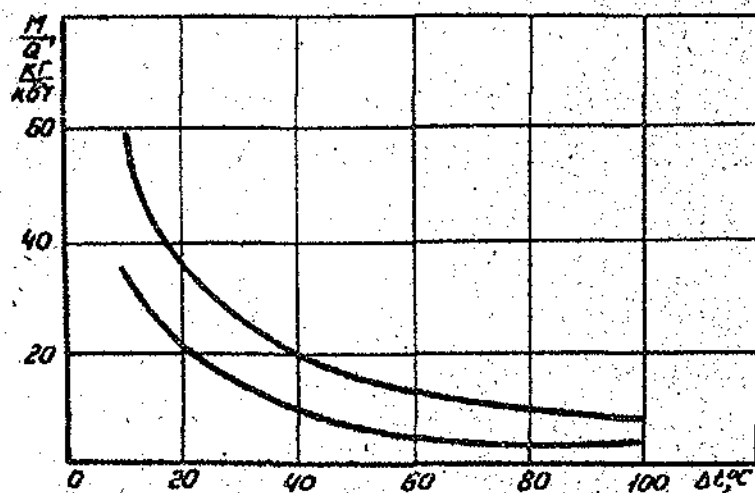
Черт.17



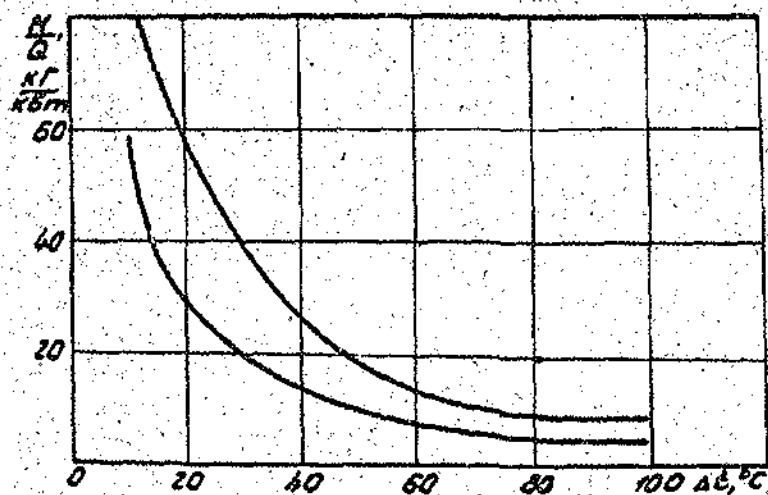
Черт.18



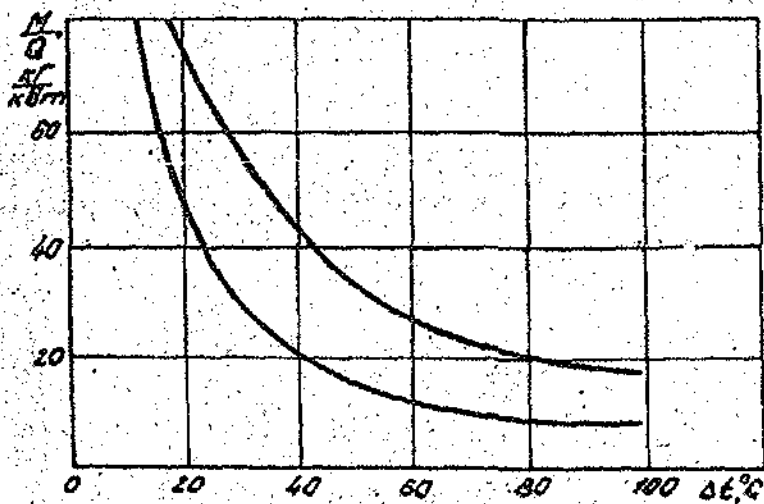
Черт. 19



Черт. 20

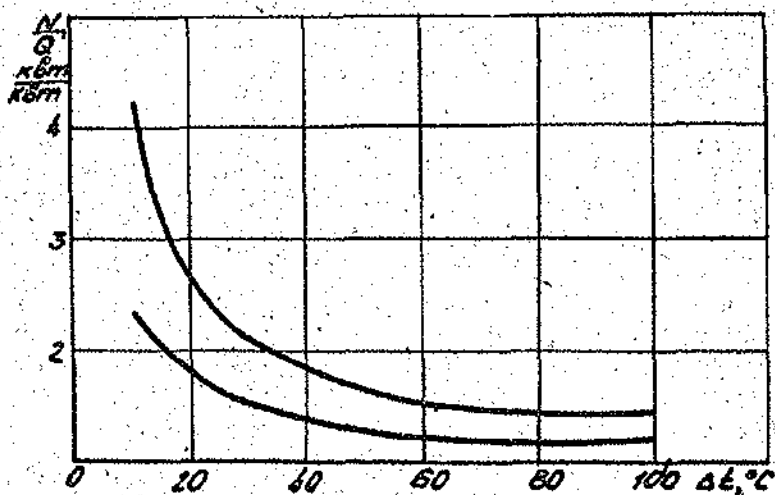


Черт.21

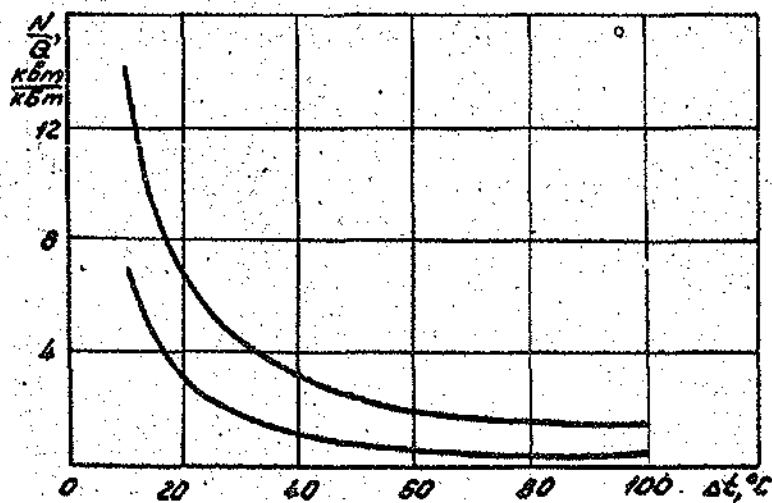


Черт.22

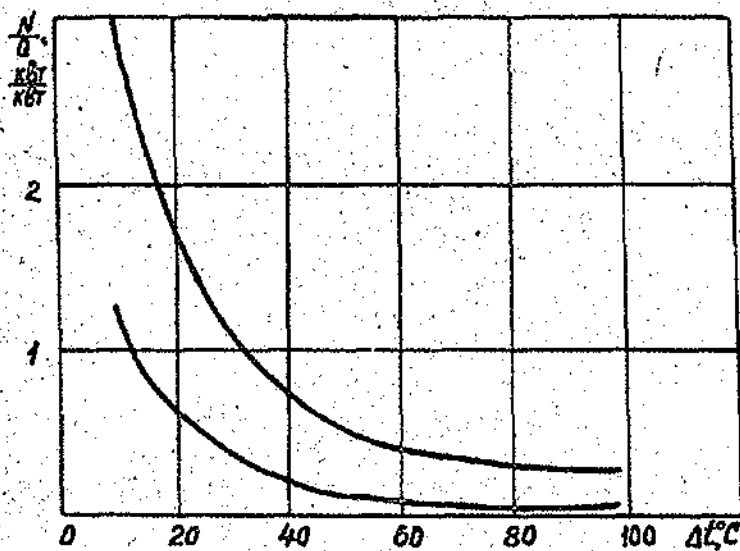




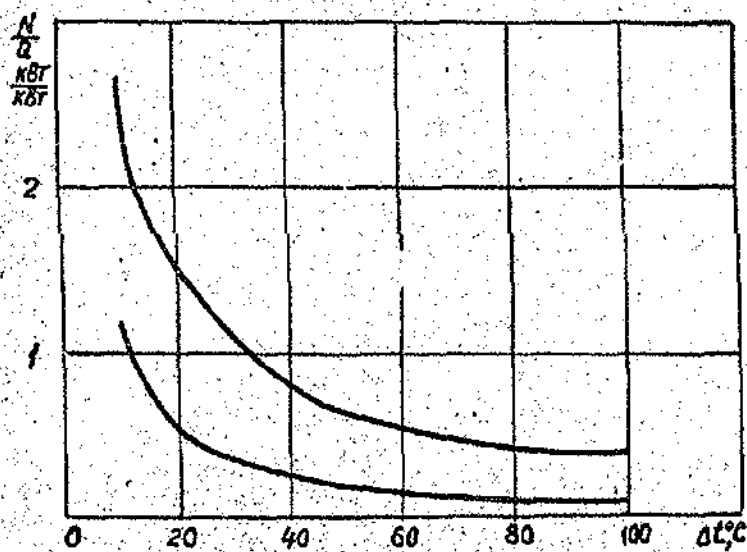
Черт.23



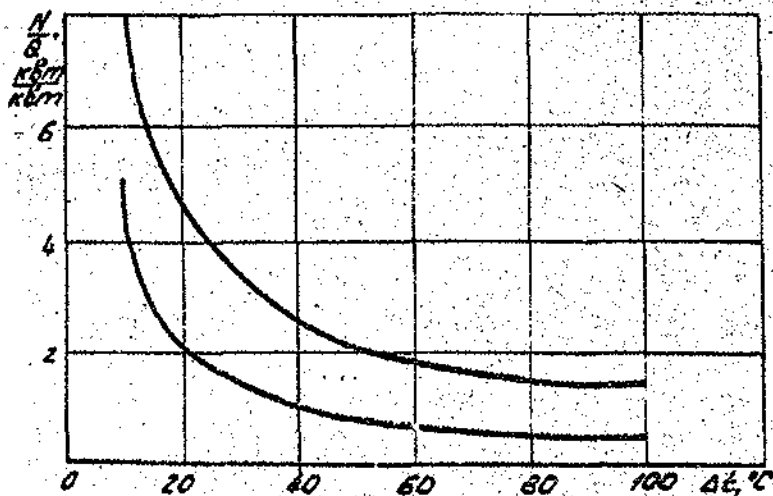
Черт.24



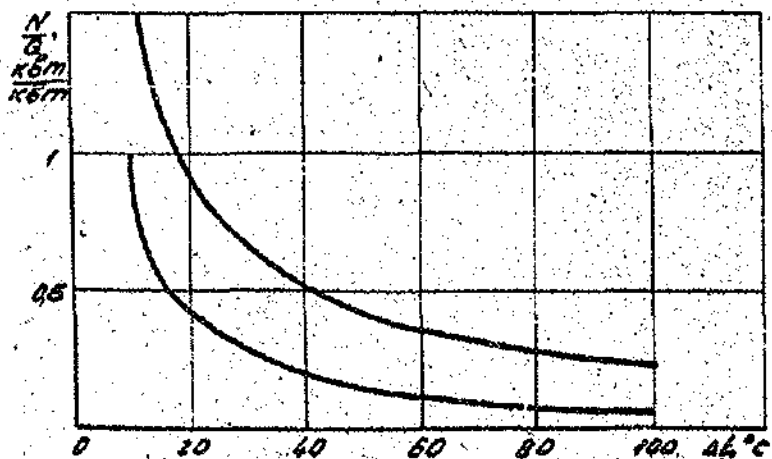
Черт.25



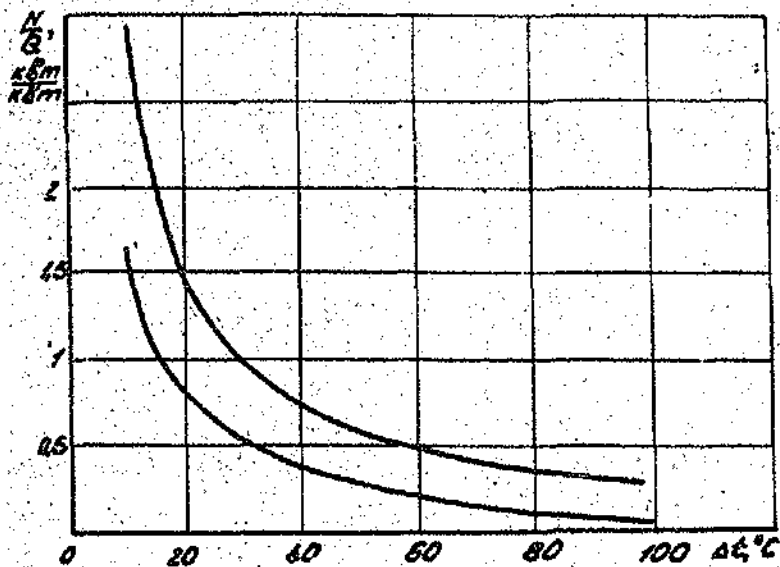
Черт.26



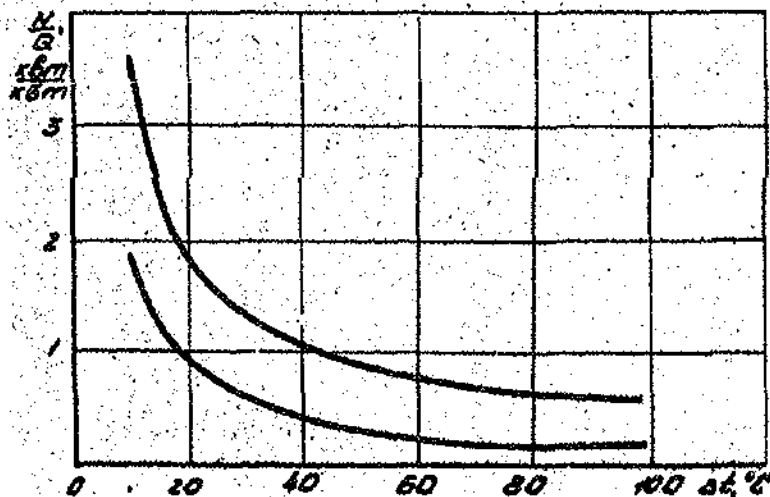
Черт.27



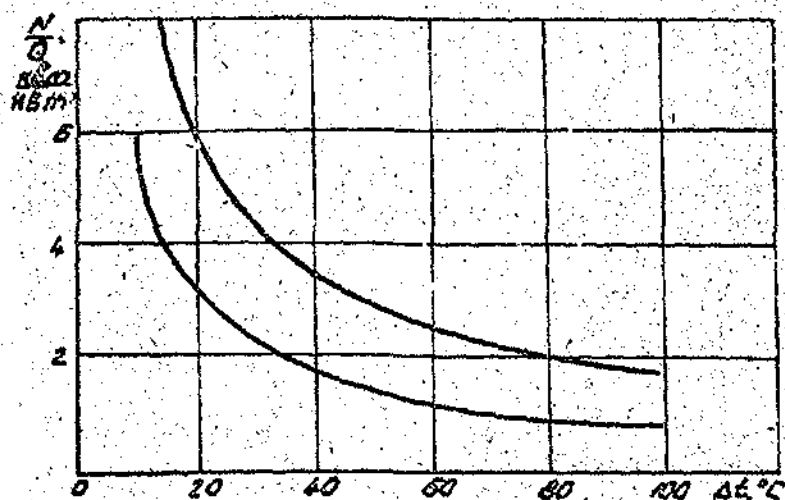
Черт.28



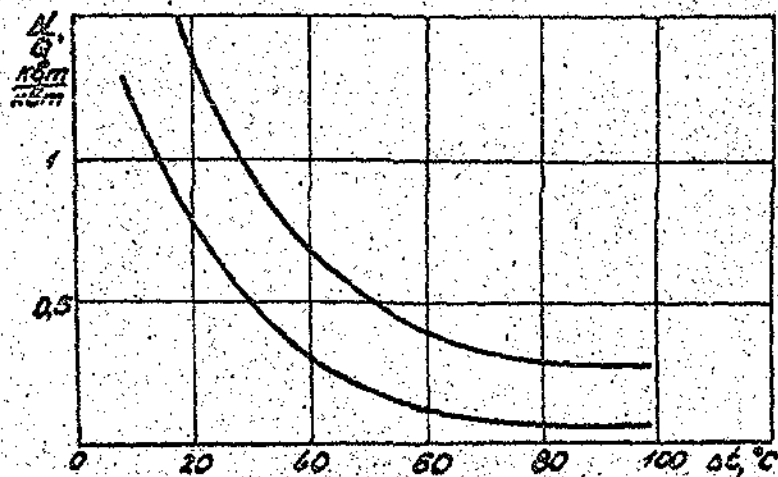
Черт.29



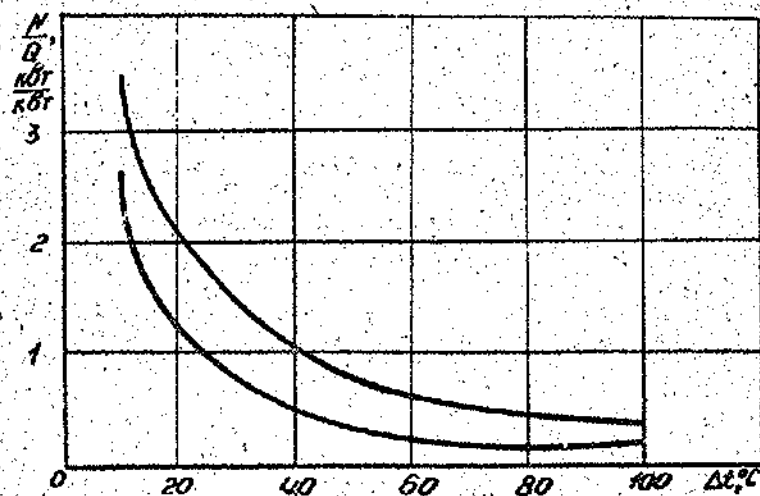
Черт.30



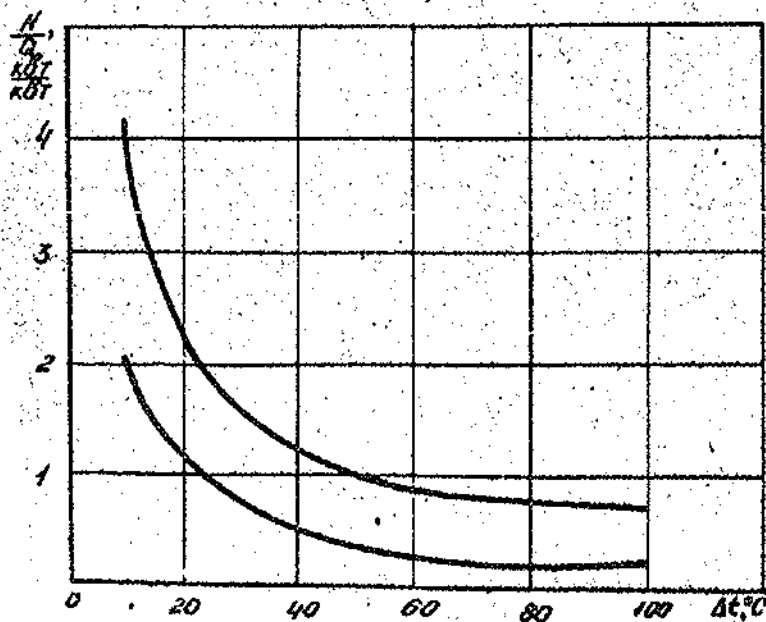
Черт.31



Черт.32



Черт.33



Черт.34

4.4.2. Откладываем значение  $\Delta t_{\text{гор}}$ , полученное в п.4.3.1, на оси  $\Delta t$  чертежа, порядковый номер которого определен в п.4.4.1.

4.4.3. Из полученной точки проводим прямую, параллельную оси ординат, до пересечения с нижней и верхней кривыми на этом графике.

4.4.4. Из полученных точек пересечения проводим прямые, параллельные оси абсцисс, до пересечения с осью  $\left(\frac{N}{Q}\right)$  и определяем минимальное и максимальное значения удельной мощности, потребляемой системой охлаждения

$$\left(\frac{N}{Q}\right)_{\text{min}} ; \left(\frac{N}{Q}\right)_{\text{max}} ; \frac{\kappa \text{Вт}}{\text{кВт}}$$

4.4.5. Определяем минимальное, максимальное и рекомендуемое значения мощности  $N, \text{Вт}$ , потребляемой системой охлаждения:

$$N_{\text{min}} = \left(\frac{N}{Q}\right)_{\text{min}} \cdot Q ; \quad (12)$$

$$N_{\text{max}} = \left(\frac{N}{Q}\right)_{\text{max}} \cdot Q ; \quad (13)$$

$$N_p = \frac{N_{\text{min}} + N_{\text{max}}}{2} \quad (14)$$

4.4.6. При проектировании систем жидкостного охлаждения мощность, потребляемую системой охлаждения, рекомендуется выбирать в пределах:

- а) для стационарной РЭА  $N_p \leq N < N_{max}$ ;
- б) для передвижной и бортовой РЭА  $N_{min} \leq N < N_p$ .

4.5. Определение усредненных технических характеристик ряда элементов систем принудительного жидкостного охлаждения производится по формулам и графикам, приведенным в рекомендуемом приложении 2.

4.6. Пример выбора принудительного жидкостного способа охлаждения и определения основных технических характеристик системы охлаждения приведен в рекомендуемом приложении 3.

## 5. ЕСТЕСТВЕННОЕ ИСПАРИТЕЛЬНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

### 5.1. Исходные данные:

- а) мощность  $Q$ , рассеиваемая РЭА, Вт;
- б) допустимая температура нагретой зоны  $t_{gon}, ^\circ\text{C}$ ;
- в) диапазон изменения температуры окружающей среды (температура воздуха на входе в конденсатор)  $t_{oc\ min} - t_{oc\ max}$ ;
- г) поверхность нагретой зоны  $S_z, \text{м}^2$ ;
- д) требования к теплоносителю по диэлектрическим и эксплуатационным характеристикам.

### 5.2. Выбор теплоносителя

5.2.1. Определяется перечень теплоносителей из числа указанных в табл.8, удовлетворяющих требованиям, изложенным в п.5.1.



१२५३९

Номер таблицы- носите- ля	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	II	12	13
Наимено- вание	Вода	Мети- ловый спирт	Эти- ловый спирт	Фре- он-11	Фре- он-216	Фре- он-113	Пер- фтор- геп- тан + изо- мер- пер- фтор- геп- тан	Пер- фтор- дибу- тил- этер	Пер- фтор- трибу- тил- амин	Смесь мети- лового спирта с во- дой	Смесь этило- вого спирта с водной концент- рацией 50%	Этилен- гликоль	Смесь этилен- гликоля с водной концент- рацией 50%

5.2.2. Определяется величина удельной тепловой нагрузки по формуле (2).

5.2.3. Откладываем на оси  $q$  квадранта  $A$  черт.35 величину  $q' = 0,8q$  и из полученной точки проводим прямую, параллельную оси  $t$  этого квадранта.

5.2.4. Откладываем на оси  $t$  квадранта  $A$  черт.35 значения  $t_{гон}$  и  $t_{ос}$  и из полученных точек проводим прямые, параллельные оси  $q$  этого квадранта.

5.2.5. Определяем порядковые номера кривых, находящихся в квадрante  $A$  черт.35 в области, ограниченной прямыми, проведенными согласно пп.5.2.4, 5.2.5, находящейся выше линии  $q' = const$ .

5.2.6. Из числа определенных в п.5.2.1 теплоносителей выбираем теплоносители, порядковые номера которых определены в п.5.2.5.

5.2.7. В случае, если в исходных данных оговорена величина максимально допустимого давления в системе

$H_{гон}, \frac{H}{кг}$ :

а) откладываем значение  $H_{гон}$  на оси  $H$  квадранта  $D$ , черт.35;

б) из полученной точки проводим прямую, параллельную оси  $t_H$  квадранта  $D$ ;

в) откладываем на оси  $t_H$  квадранта  $D$  черт.35 величину  $t_{гон}$  и из полученной точки проводим прямую, параллельную оси  $H$  квадранта  $D$ ;

г) определяем порядковые номера кривых в области, ограниченной прямыми, проведенными согласно подпунктам б) и в), находящейся выше линии  $H_{гон} = const$ ;

д) из числа теплоносителей, определенных согласно п.5.2.5, выбираем теплоносители, порядковые номера которых определены в п.5.2.5.

5.3. Определение массы системы охлаждения для однокомпонентных теплоносителей 1-9, 12 (табл.9)

5.3.1. Откладываем величину  $q$  на оси  $q$  квадранта  $B$  (черт.35) и из полученной точки проводим прямую,

параллельную оси  $\Delta t$  этого квадранта, до пересечения с линией, соответствующей выбранному теплоносителю.

5.3.2. Из полученной точки пересечения в квадранте В проводим прямую, параллельную оси  $q$  этого квадранта, до пересечения с осью  $\Delta t$  квадранта В и определяем величину  $\Delta t$  в 1-м приближении -  $\Delta t_1$ .

5.3.3. Откладываем полученное в п.5.3.2 значение  $\Delta t_1$  на оси  $\Delta t$  квадранта С (черт.35) и из полученной точки проводим прямую, параллельную оси  $t$  этого квадранта, до пересечения с линией, соответствующей заданному значению

$$t_{доп} = t_3.$$

5.3.4. Из полученной точки пересечения в квадранте С проводим прямую, параллельную оси  $\Delta t$  этого квадранта, и продолжаем эту прямую в квадранте D черт.35 до пересечения с линией, соответствующей выбранному теплоносителю.

5.3.5. Из полученной точки пересечения в квадранте D черт.35 проводим прямую, параллельную оси  $t_n$  этого квадранта, и продолжаем эту прямую в квадранте E до пересечения с линией, соответствующей выбранному теплоносителю.

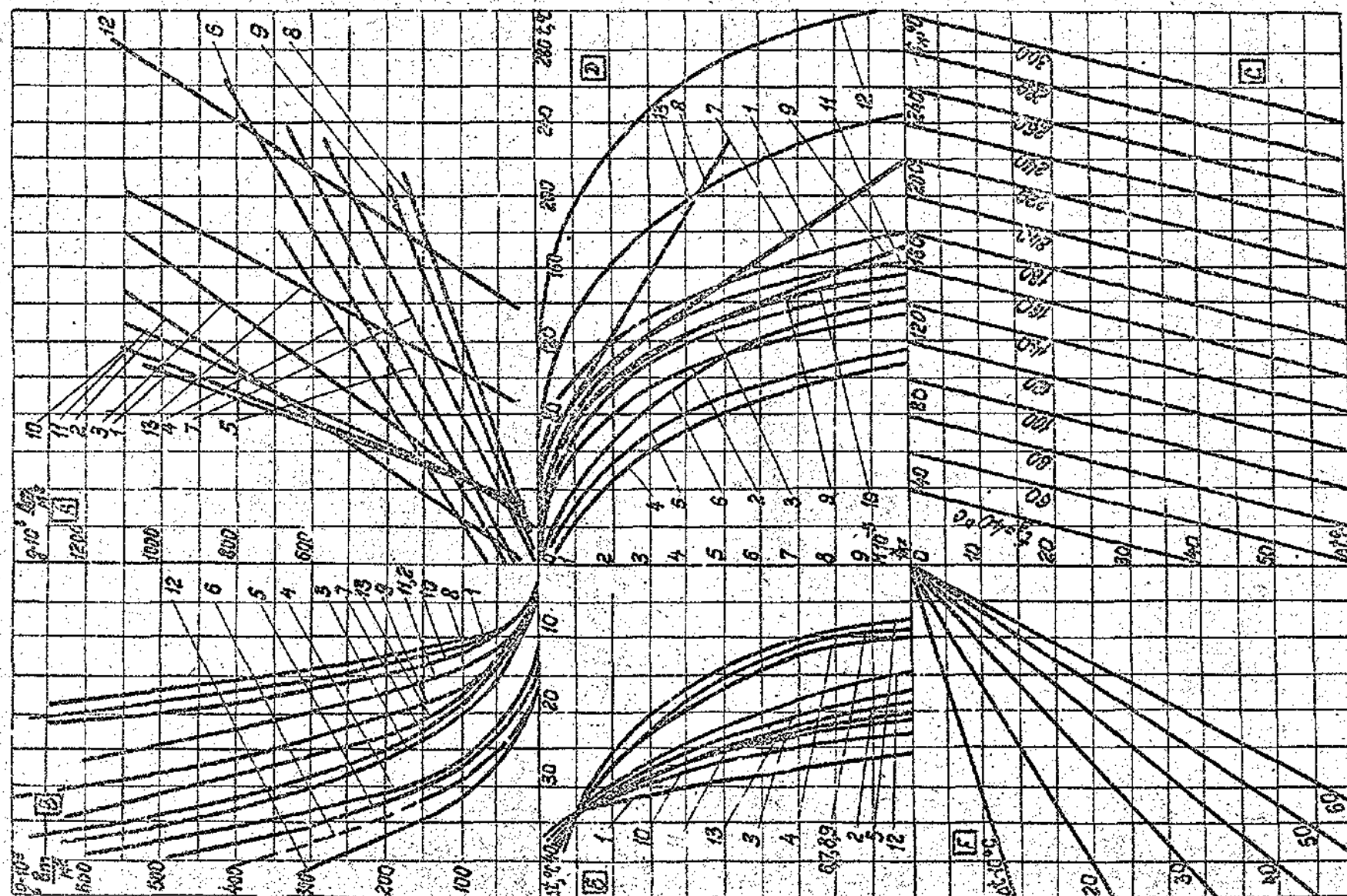
5.3.6. Из полученной точки пересечения в квадранте E черт.35 проводим прямую, параллельную оси  $H$  квадранта E, и продолжаем эту прямую в квадранте F до пересечения с прямой, соответствующей значению  $\Delta t_1$ , полученному в п.5.3.2.

5.3.7. Из полученной точки пересечения в квадранте F черт.35 проводим прямую, перпендикулярную оси  $\Delta t$  этого квадранта, до пересечения с этой осью и определяем величину  $\Delta t$  во втором приближении  $\Delta t_2$ .

5.3.8. Проверяем выполнение условия

$$|\Delta t_{i+1} - \Delta t_i| \leq 5^\circ\text{C},$$

где  $i = 1, 2, 3, \dots$  - порядковый номер приближения.



Черт.35

В случае выполнения этих условий принимаем в качестве окончательного значения величину  $\Delta t$ , соответствующую последнему приближению.

5.3.9. В случае невыполнения условия п.5.3.8 откладываем полученное значение  $\Delta t$  на оси  $\Delta t$  квадранта С, черт.35, проводим построения, соответствующие пп.5.3.8-5.3.7, и получаем  $\Delta t$  в приближениях, удовлетворяющих требованиям п.5.3.8, определив таким образом окончательное значение  $\Delta t$ .

5.3.10. Откладываем полученное в пп.5.3.8, 5.3.9 значение  $\Delta t$  на оси  $\Delta t$  квадранта В (черт.35) и из полученной точки проводим прямую, параллельную оси  $q$  этого квадранта, до пересечения с линией, соответствующей теплоносителю 6.

5.3.11. Из полученной точки пересечения в квадрате В проводим прямую, параллельную оси  $\Delta t$  этого квадранта, до пересечения с осью  $q$  и определяем на этой оси величину

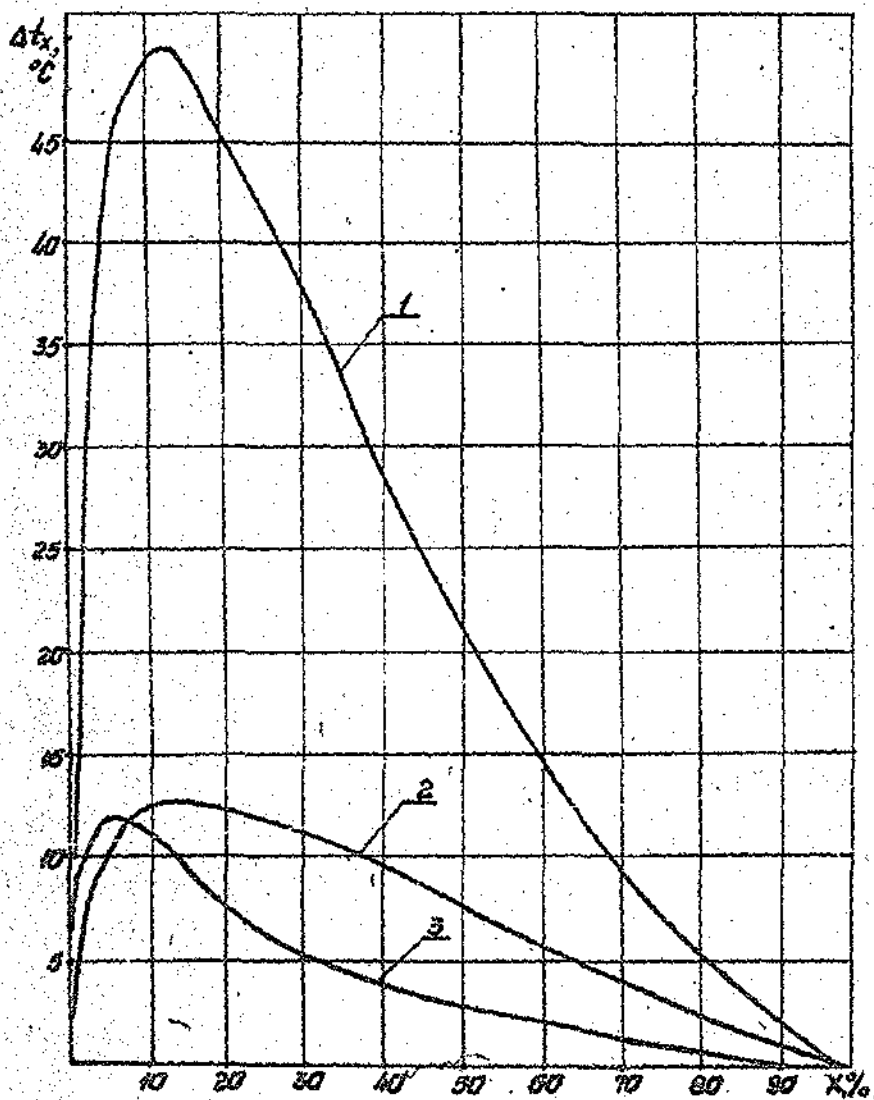
$$q = q_{\text{эп.}}$$

5.3.12. Точки пересечения прямых построения, соответствующих окончательному приближению, с осями  $H$  и  $t_H$  квадранта D (черт.35) соответствуют значениям максимального давления и температуры жидкости в системе ( $t_H$  - температура насыщения при данном давлении).

5.3.13. Определяем максимальную величину допустимого перегрева нагретой зоны по формуле (3).

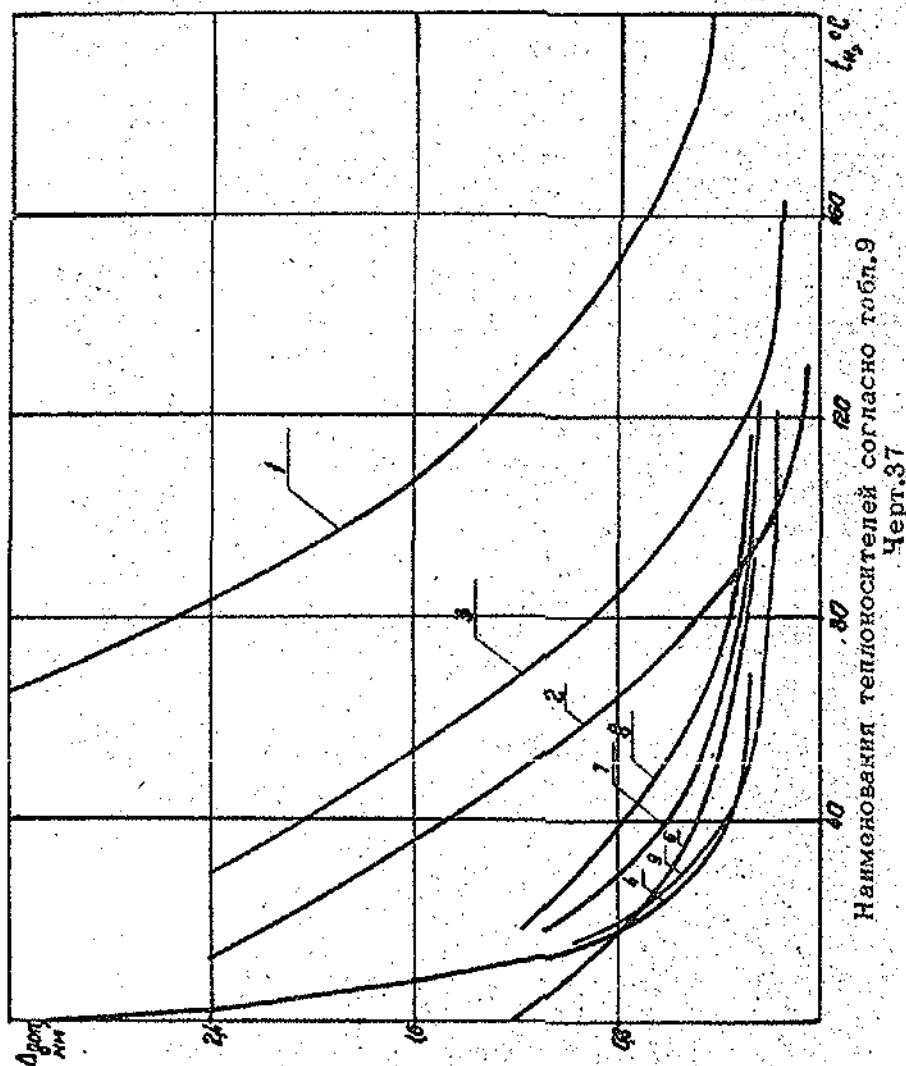
5.3.14. Откладываем на оси  $\Delta t$  черт.38 значение  $\Delta t_{\text{доп}}$ , полученное в п.5.3.13, и из полученной точки проводим прямую, параллельную оси  $\frac{M}{Q}$  черт.38, до пересечения с линией, соответствующей значению  $q = q_{\text{эп.}}$ , определенному в п.5.3.11.

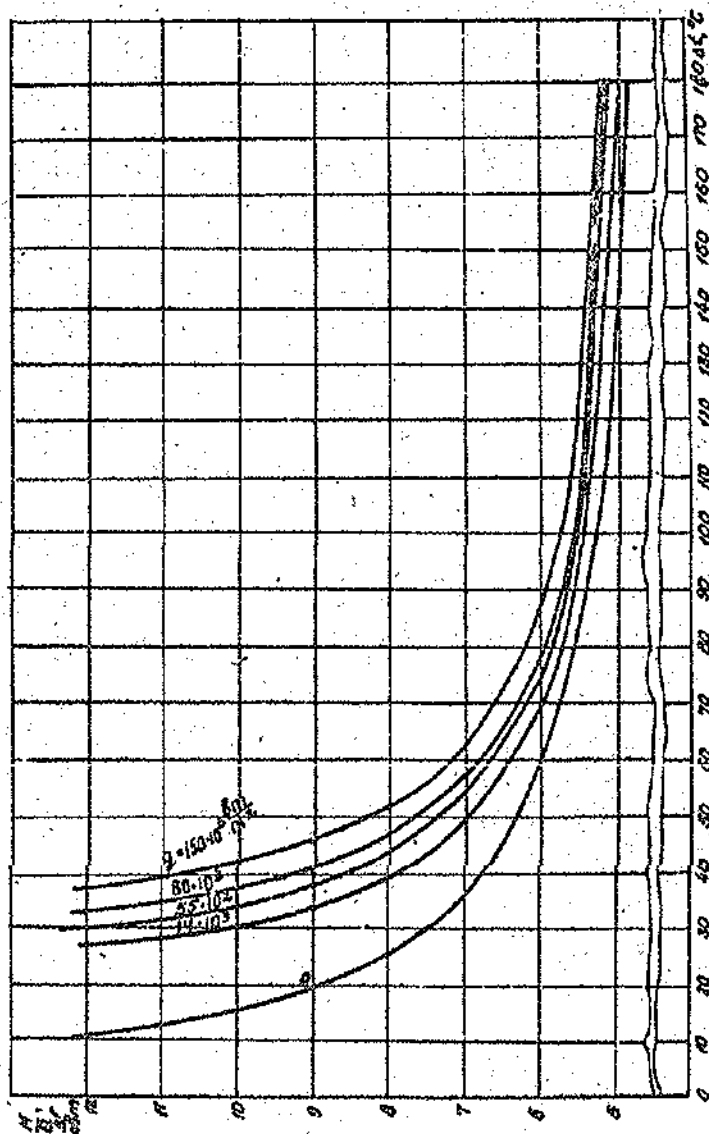
5.3.15. Из полученной точки пересечения на черт.38 проводим прямую, параллельную оси  $\Delta t$ , до пересечения с осью  $\frac{M}{Q}$  и определяем значение  $\frac{M}{Q} \cdot \frac{K'}{K_0 m}$ .



- 1-раствор этиленгликоля в воде;  
 2-раствор метилового спирта в воде;  
 3-раствор этилового спирта в воде.

Черт.36





Част.38



5.3.16. Определяем рекомендуемую минимальную величину массы системы охлаждения  $M_{p\ min}$ , кг, по формуле

$$M_{p\ min} = \left( \frac{M}{Q} \right) \cdot Q \cdot 10^{-3}$$

5.4. Определение массы системы охлаждения для двухкомпонентных теплоносителей 10, 11, 13 (табл.9)

5.4.1. Проводим построение согласно пп.5.3.1-5.3.9 и, проверяя выполнение условия п.5.3.8, определяем окончательное значение  $\Delta t$ .

5.4.2. Откладываем значение массовой концентрации ( $X, \%$ ) вещества в воде на оси  $X$  черт.36 и из полученной точки проводим прямую, параллельную оси  $\Delta t$  (черт.36), до пересечения с линией, соответствующей данному набору компонентов смеси.

5.4.3. Из точки пересечения, полученной в п.5.4.2, проводим прямую, параллельную оси  $X$  черт.36, до пересечения с осью  $\Delta t_x$  (черт.36) и определяем значение  $\Delta t_x, ^\circ C$ .

5.4.4. Определяем значение  $\Delta t_c, ^\circ C$ , по формуле

$$\Delta t_c = \Delta t + \Delta t_x. \quad (16)$$

5.4.5. Откладываем на оси  $\Delta t$  квадранта В (черт.35) значение  $\Delta t_c$  и, проводя построение аналогично пп.5.3.10, 5.3.11, получаем значение  $q_{эф}$ .

5.4.6. Выполняя построение согласно пп.5.3.13-5.3.16, определяем рекомендуемую минимальную величину массы системы охлаждения  $M_{p\ min}$ .

5.5. Определение мощности, потребляемой системой охлаждения

5.5.1. Определяем величину  $\Delta t_{гон}$  согласно п.5.3.13.

5.5.2. Откладываем на оси  $\Delta t$  графика черт.39 значение  $\Delta t_{\text{гон}}$  и из полученной точки проводим прямую, параллельную оси  $\frac{N}{Q}$ , до пересечения с нижней и верхней кривыми на этом графике.

5.5.3. Из полученных точек пересечения проводим прямые, параллельные оси абсцисс, до пересечения с осью  $\frac{N}{Q}$  и определяем минимальное и максимальное значения удельной мощности, потребляемой системой охлаждения:

$$\left(\frac{N}{Q}\right)_{\min}, \left(\frac{N}{Q}\right)_{\max}, \frac{\text{кВт}}{\text{кВт}}.$$

5.5.4. Определяем минимальное и максимальное значения мощности, потребляемой системой охлаждения  $N_{\text{вм}}$ , по формулам (12) и (13) соответственно.

5.5.5. Выбираем рекомендуемое значение мощности, потребляемой системой охлаждения в пределах

$$N_{\min} < N_p \leq N_{\max}.$$

5.6. Определение характеристик системы охлаждения в случае особой геометрии нагретой зоны РЭА (кипение теплоносителя происходит в плоской горизонтальной щели шириной  $\Delta$ , мм)

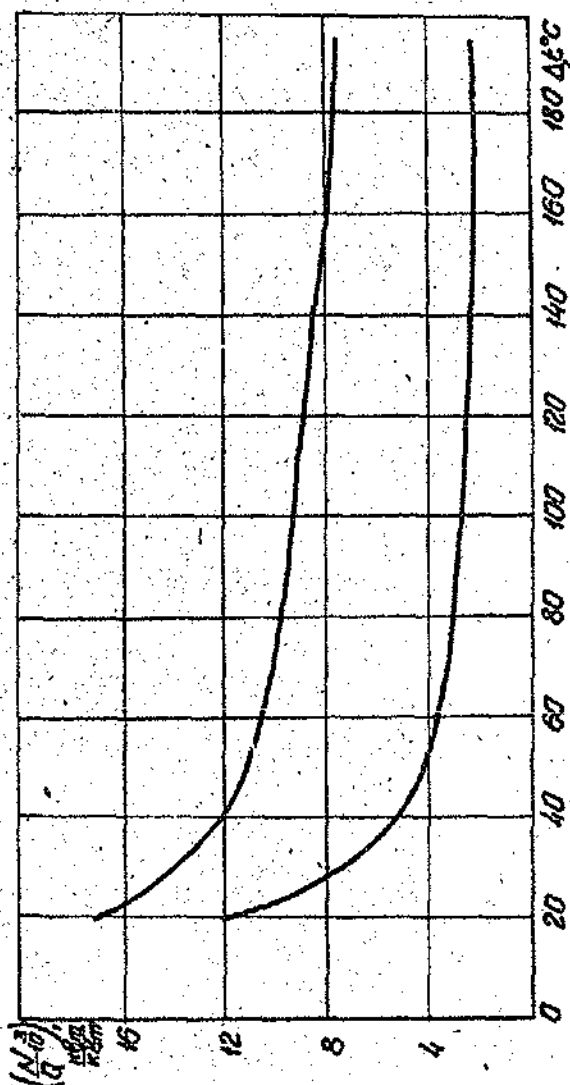
5.6.1. Осуществляем выбор теплоносителя согласно п.5.2.

5.6.2. Определяем величину  $\Delta t$  согласно пп.5.3.1-5.3.9.

5.6.3. Определяем величину температуры  $t_H$  по формуле

$$t_H = t_{гон} - \Delta t. \quad (17)$$

5.6.4. Откладываем на оси  $t$  черт.37 значение  $t_H$  и из полученной точки проводим прямую, параллельную оси  $\Delta_{гон}$ , до пересечения с линией, соответствующей выбранному теплоносителю (нумерация теплоносителей на кривых черт.37 соответствует табл.9).



5.6.5. Из полученной точки пересечения проводим прямую, параллельную оси  $t$  черт.37, до пересечения осью  $\Delta_{гор}$  и определяем минимально допустимую величину ширины щели  $\Delta_{гор}$ .

5.6.6. Проверяем выполнение условия

$$\Delta > \Delta_{гор}.$$

5.6.7. В случае невыполнения условия п.5.6.6 система неработоспособна, поэтому необходимо использовать соответствующие методы для обеспечения выполнения этого условия (увеличить величину  $\Delta$ , использовать другой тип теплоносителя и т.д.).

5.6.8. В случае выполнения условия п.5.6.6 определяем массу и потребляемую мощность системы охлаждения согласно пп.5.3.10-5.3.16 или 5.4.1-5.4.6, 5.5.2-5.5.5.

5.7. Определение усредненных технических характеристик ряда элементов систем естественного испарительного охлаждения производится по формулам и графикам, приведенным в рекомендуемом приложении 2.

Пример определения основных технических характеристик системы охлаждения приведен в рекомендуемом приложении 3.

## 6. ПРИНУДИТЕЛЬНОЕ ИСПАРИТЕЛЬНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

6.1. Исходные данные:

- а) мощность  $Q, Вт$ , рассеиваемая РЭА;
- б) допустимая температура нагретой зоны  $t_{гор}, ^\circ C$ ;
- в) диапазон изменения температуры окружающей среды  $t_{oc}$  (температуры воздуха на входе в конденсатор),  $^\circ C$ ;
- г) поверхность нагретой зоны  $S_3, м^2$ ;
- д) требования к теплоносителю по диэлектрическим и эксплуатационным характеристикам.

## 6.2. Выбор теплоносителя

6.2.1. Определяется перечень теплоносителей, удовлетворяющих требованиям, изложенным в п.6.1.

6.2.2. Из числа определенных в п.6.2.1 теплоносителей выбираются те, для которых выполняется условие

$$t_{нк} < t_{дон},$$

где значения  $t_{нк}$  приведены в табл.10.

Т а б л и ц а 10

Номер теплоносителя	Наименование теплоносителя	$t_{нк}, ^\circ\text{C}$
1	Вода	100
2	Метиловый спирт	64
3	Этиловый спирт	78
4	Антифриз-65	121
5	Перфтордиметилциклогексилламин	111
6	Перфтортриэтиламин	69
7	Перфтордибутиловый эфир	100
8	11 ФД	130
9	ПМС-10	250
10	ФМ-1322	190

6.2.3. Из числа определенных в п.6.2.2 теплоносителей выбираем тот, который имеет в табл.10 меньший порядковый номер.

## 6.3. Определение массы системы охлаждения

6.3.1. Определяем минимальную величину допустимого перегрева нагретой зоны  $\Delta t_{zon, min}, ^\circ C$ , по формуле (3).

6.3.2. Определяем величину удельной мощности нагретой зоны по формуле (2).

6.3.3. Определяем порядковый номер чертежа для определения величины удельной массы системы охлаждения

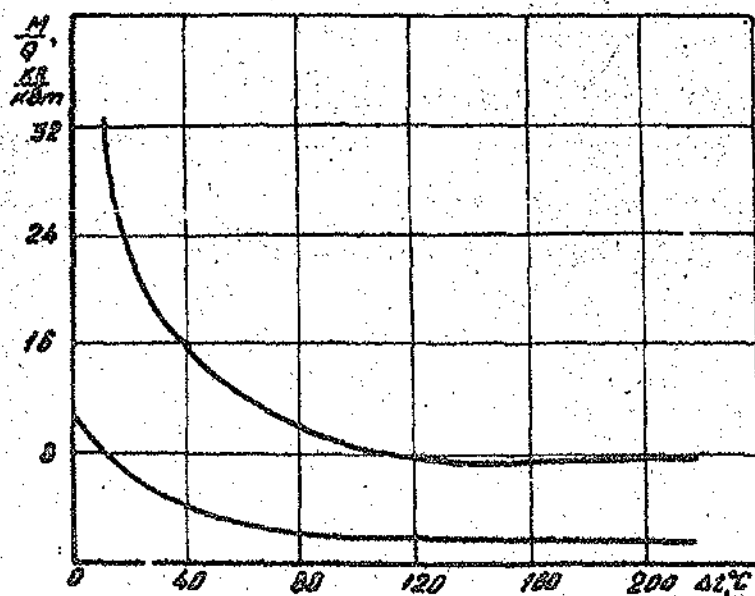
$\frac{M}{Q}, \frac{кг}{кВт}$ , при помощи табл.11.

Т а б л и ц а 11

Номер теплоносителя в табл. 10	Удельная мощность нагретой зоны $q, \frac{Вт}{м^2}$	Номер чертежа
1	$0 - 10^5$	40
	$10^5 - 5 \cdot 10^5$	44
	$5 \cdot 10^5 - 10^7$	48
2 - 4	$0 - 10^5$	41
	$10^5 - 10^6$	45
	$10^6 - 5 \cdot 10^6$	49
5 - 8	$0 - 10^5$	42
	$10^5 - 2 \cdot 10^6$	46
	$2 \cdot 10^6 - 5 \cdot 10^6$	50

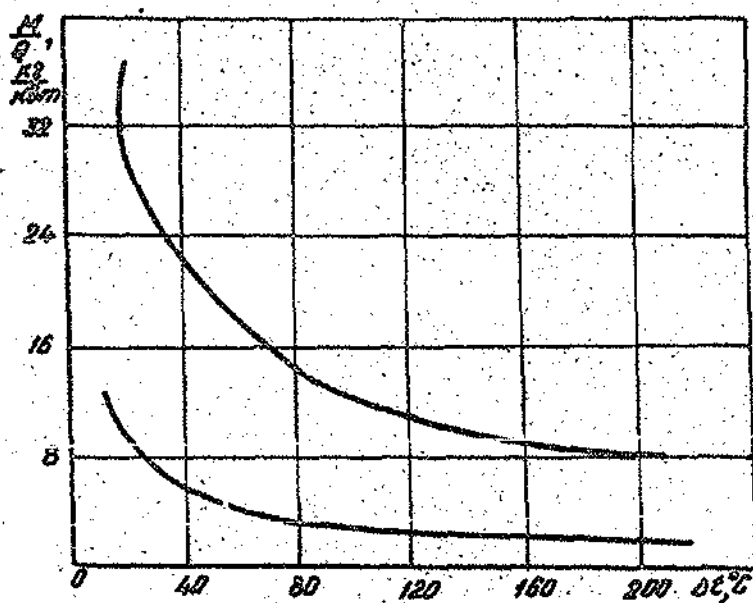
Продолжение табл. 11

Номер теплоносителя в табл. 10	Удельная мощность нагретой зоны $q, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	Номер чертежа
9, 10	$0 - 10^5$	48
	$10^5 - 5 \cdot 10^5$	47
	$5 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^6$	51

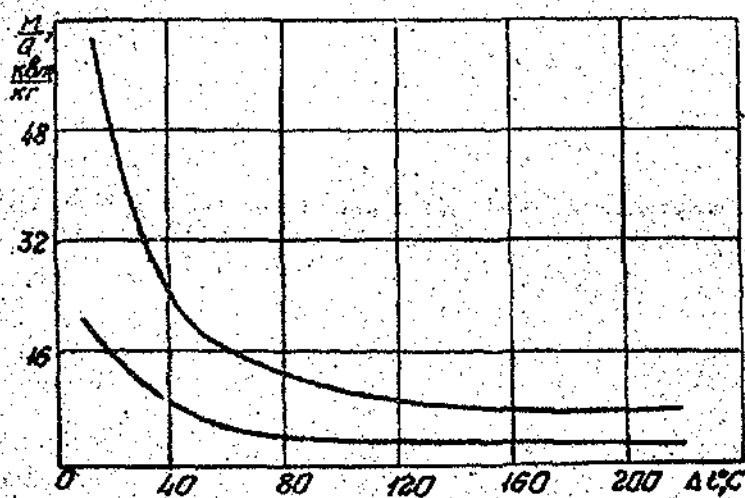


Черт. 40

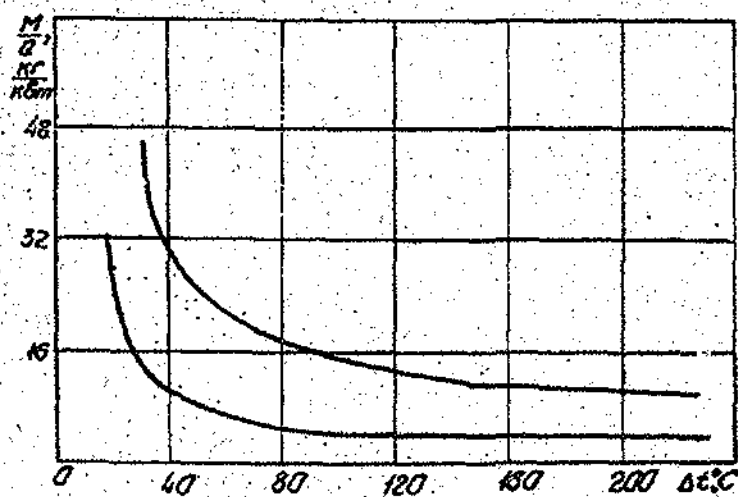




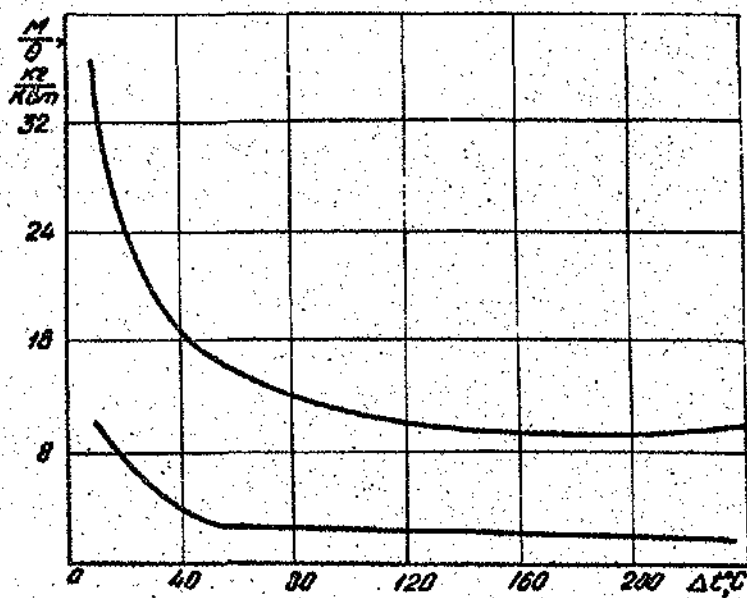
Черт.41



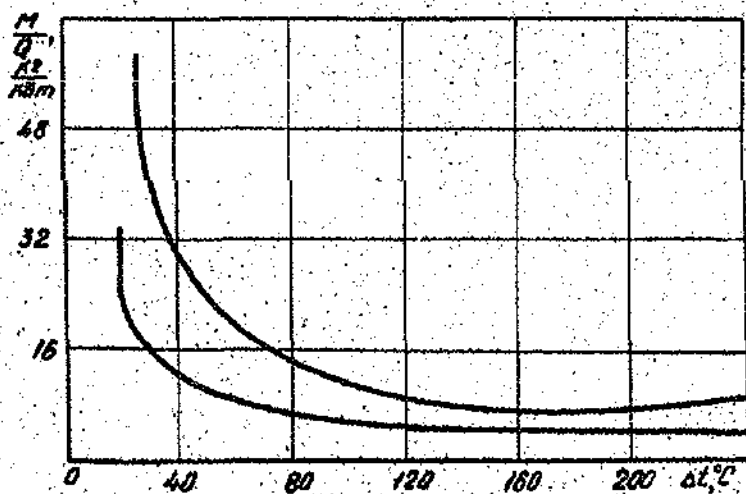
Черт.42



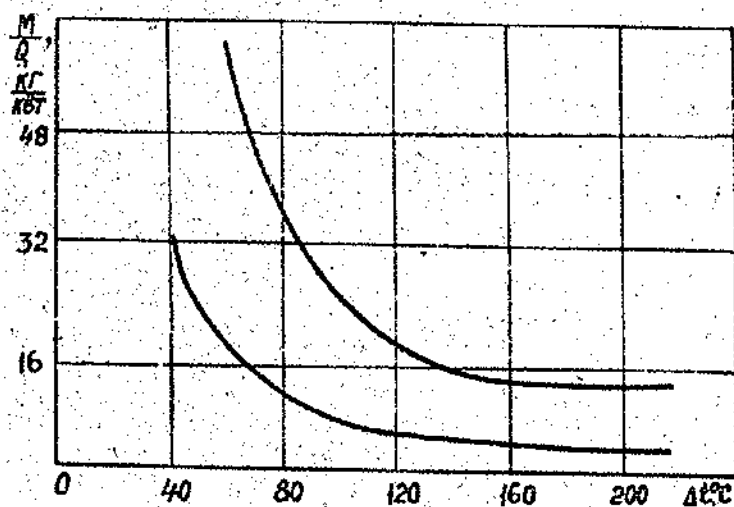
Черт.43



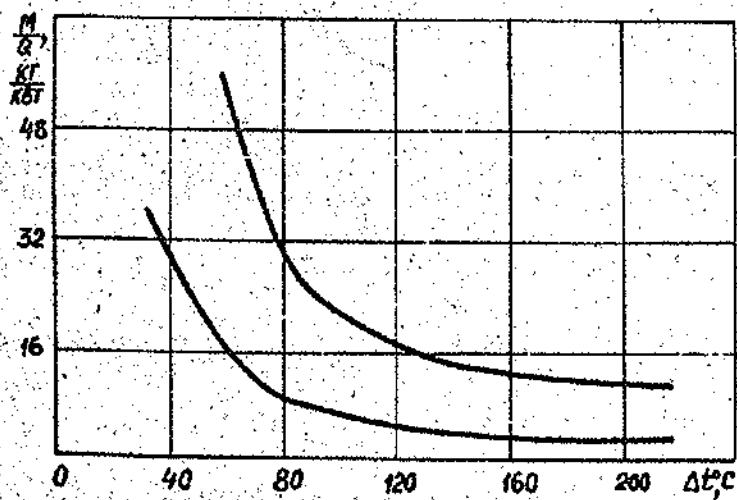
Черт.44



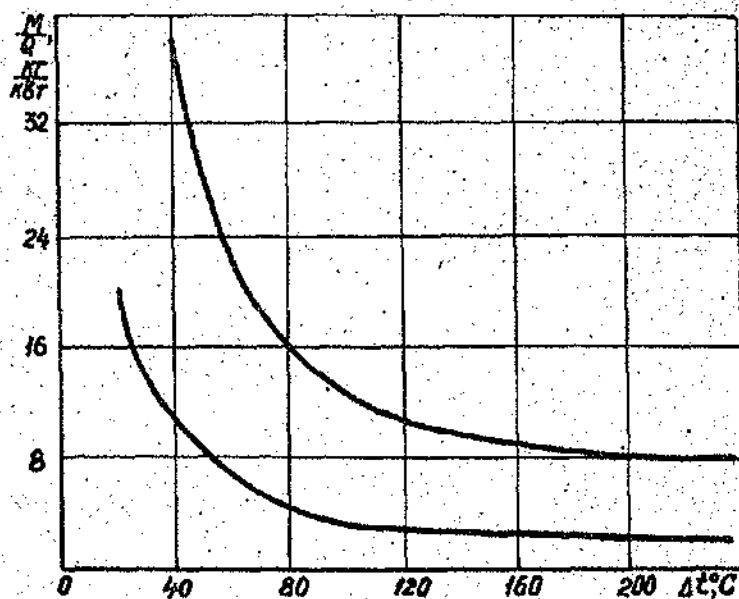
Черт.45



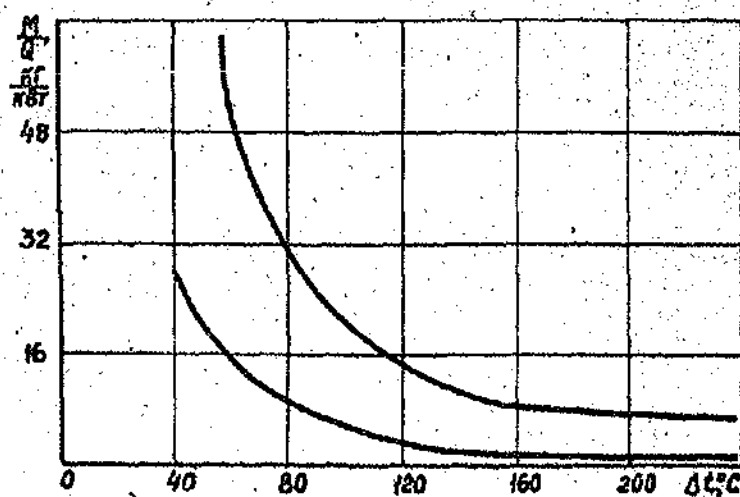
Черт.46



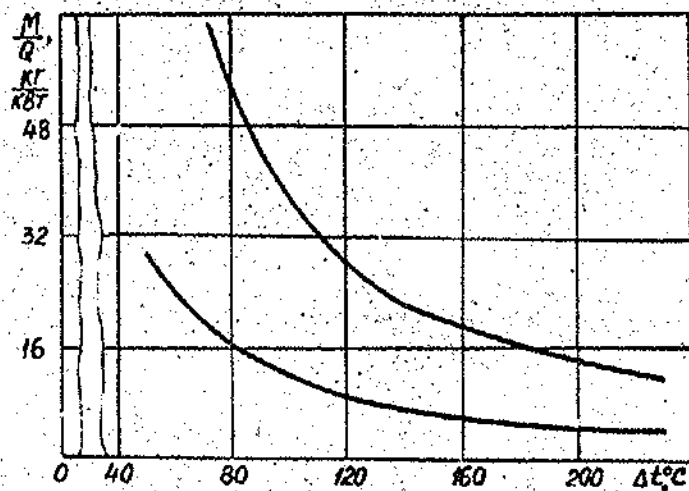
Черт.47



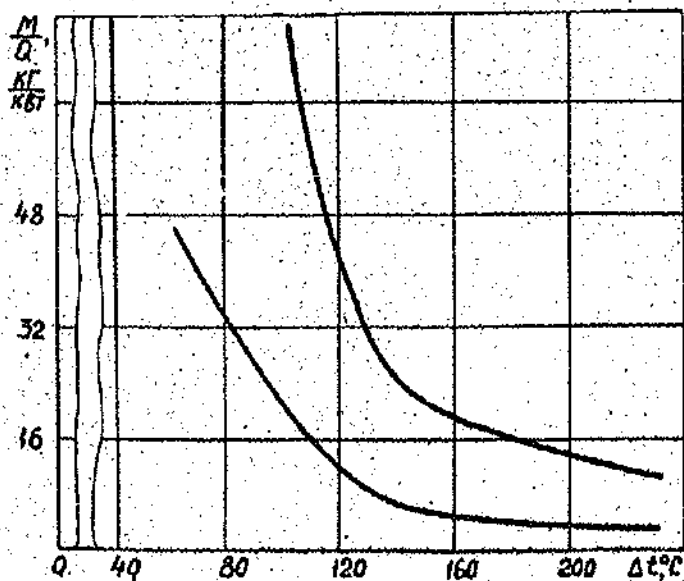
Черт.48



Черт.49



Черт.50



Черт.51

6.3.4. Откладываем значение  $\Delta t_{\text{дон}}$ , полученное согласно п.6.3.1, на оси  $\Delta t$  чертежа, порядковый номер которого определен в п.6.3.3.

6.3.5. Из полученной точки проводим прямую, параллельную оси ординат, до пересечения с нижней и верхней кривыми на этом графике.

6.3.6. Из полученных точек пересечения проводим прямые, параллельные оси абсцисс, до пересечения с осью  $\frac{M}{Q}$  и определяем минимальное и максимальное значения удельной массы системы охлаждения

$$\left(\frac{M}{Q}\right)_{\min}, \left(\frac{M}{Q}\right)_{\max}, \frac{\text{кг}}{\text{кВт}}$$

6.3.7. Определяем минимальное, максимальное и рекомендуемое значения массы  $M$ , кг, системы охлаждения по формулам (9), (10), (11).

6.3.8. При проектировании систем принудительного испарительного охлаждения массу системы рекомендуется выбирать в пределах:

- а) для стационарной РЭА  $M_p \leq M \leq M_{\max}$ ;
- б) для передвижной и бортовой РЭА  $M_{\min} \leq M \leq M_p$ .

#### 6.4. Определение мощности, потребляемой системой охлаждения

6.4.1. Находим порядковый номер чертежа для определения величины удельной мощности, потребляемой системой охлаждения,  $\left(\frac{N}{Q}\right), \frac{\text{кВт}}{\text{кВт}}$ , при помощи табл.12.

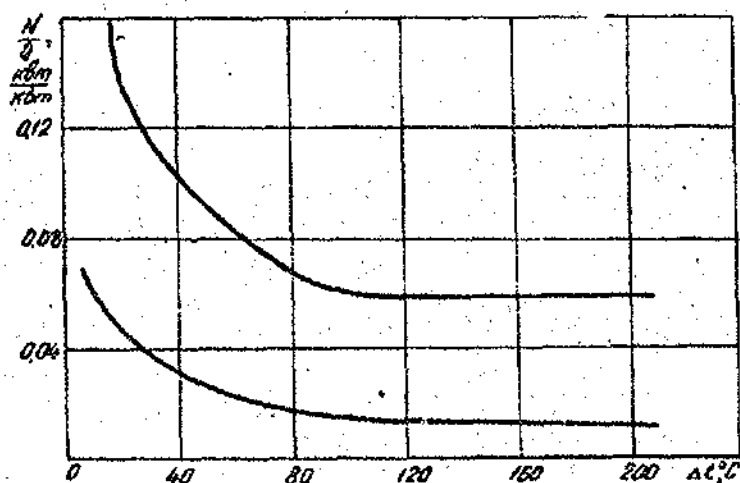
Т а б л и ц а 12

Номер теплоноси- теля в табл.10	Удельная мощность нагретой зоны $q, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$	Номер чертежа
1	$0 - 10^5$	52
	$10^5 - 5 \cdot 10^5$	56
	$5 \cdot 10^5 - 10^7$	60
2 - 4	$0 - 10^5$	53
	$10^5 - 10^6$	57
	$10^6 - 5 \cdot 10^6$	61
5 - 8	$0 - 10^5$	54
	$10^5 - 2 \cdot 10^6$	58
	$2 \cdot 10^6 - 5 \cdot 10^6$	62
9, 10	$0 - 10^5$	55
	$10^5 - 5 \cdot 10^5$	59
	$5 \cdot 10^5 - 2 \cdot 10^6$	63

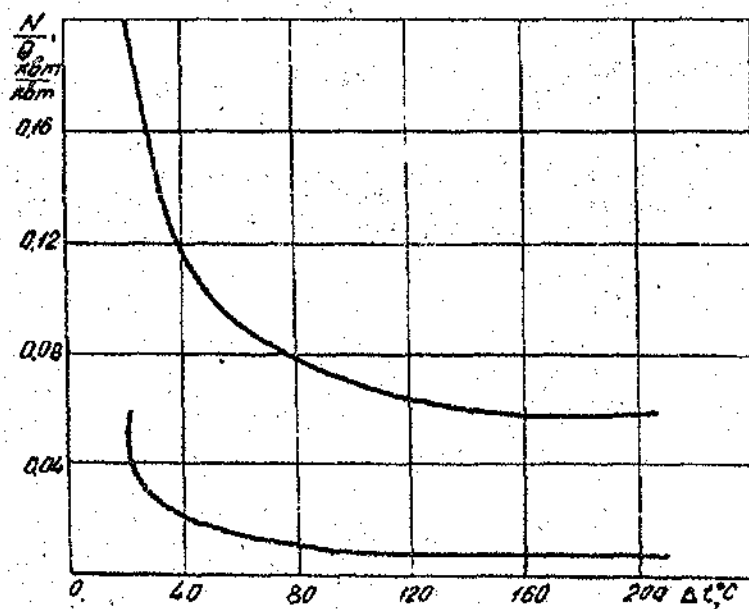


6.4.2. Откладываем значение  $\Delta t_{gen}$ , полученное согласно п.6.3.1, на оси  $\Delta t$  чертежа, порядковый номер которого определен в п.6.4.1.

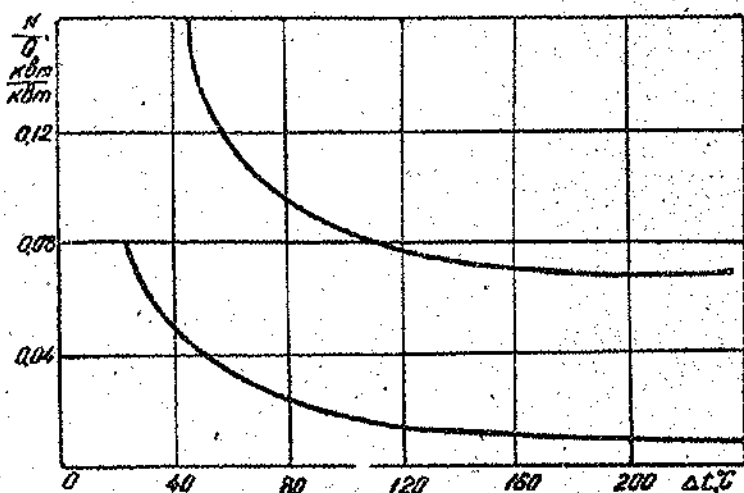
6.4.3. Из полученной точки проводим прямую, параллельную оси ординат, до пересечения с нижней и верхней кривыми на этом графике.



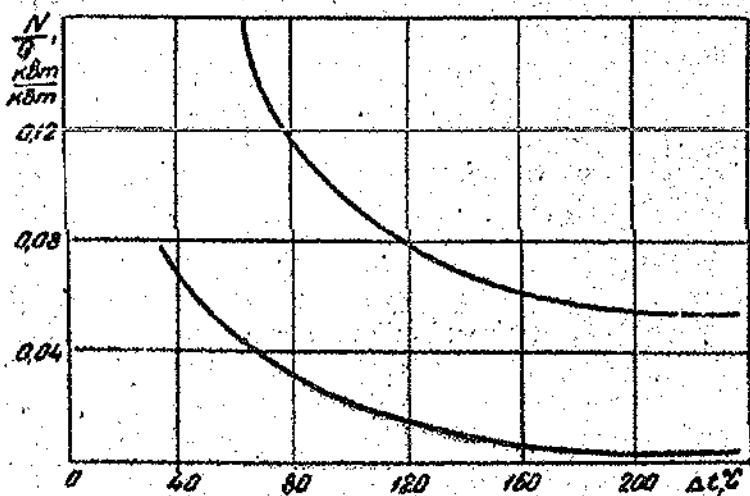
Черт.52



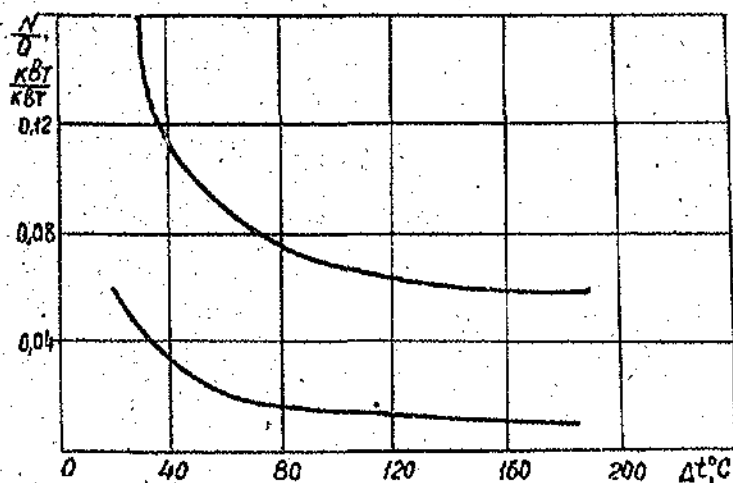
Черт.53



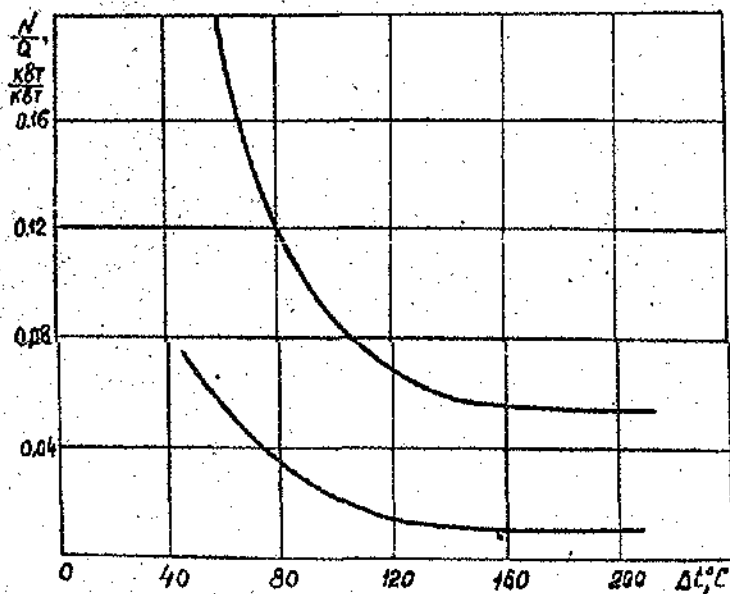
Черт.54



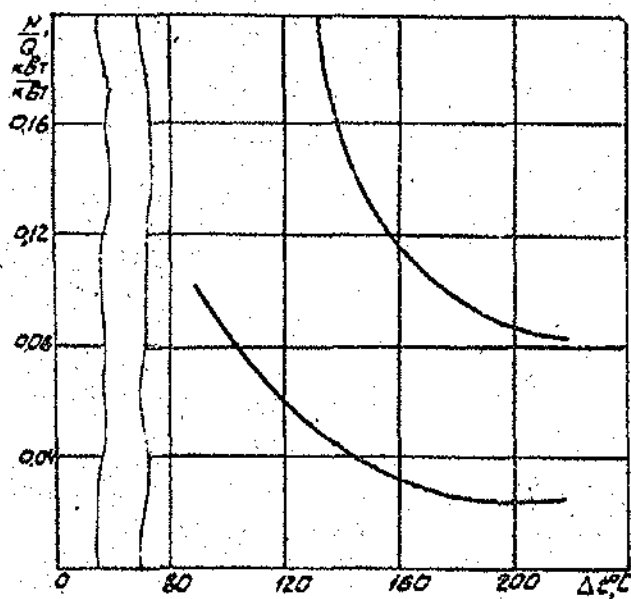
Черт.55



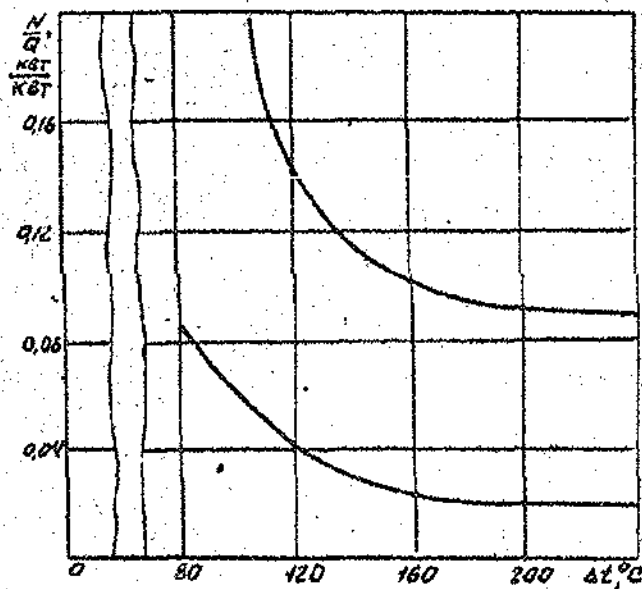
Черт. 56



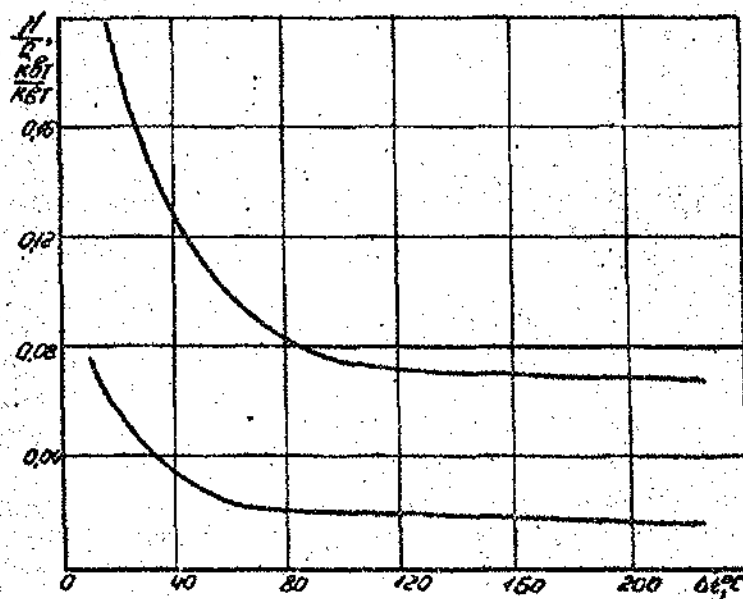
Черт. 57



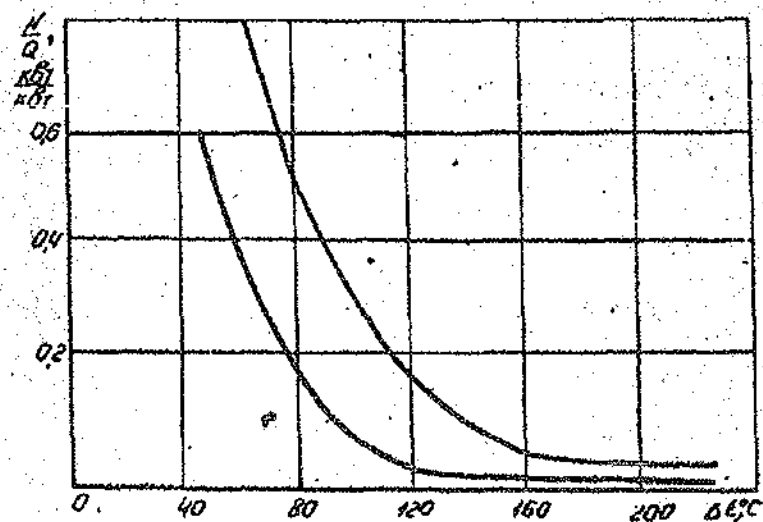
Черт.58



Черт.58

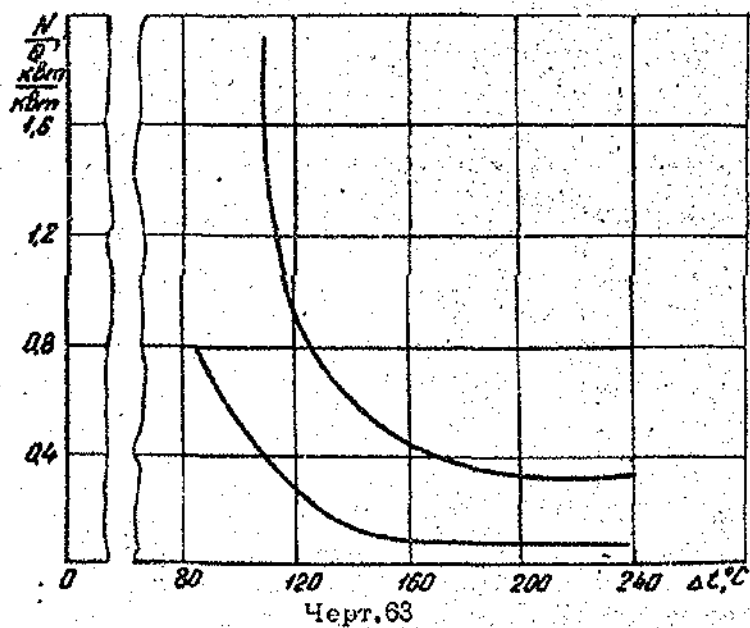
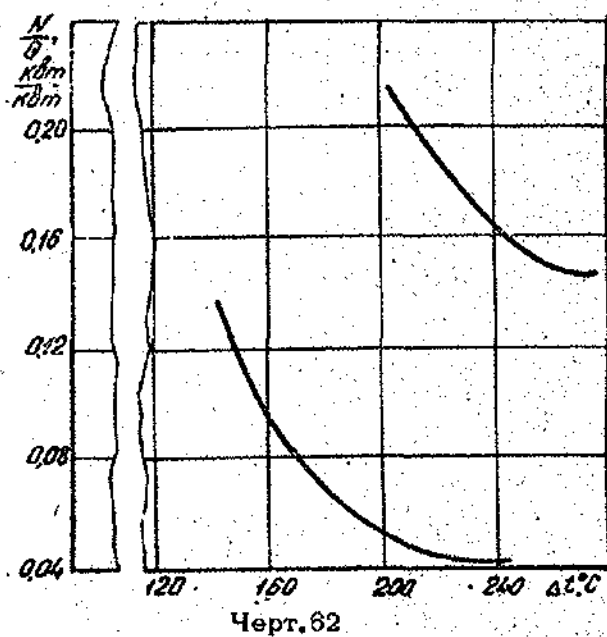


Черт.60



Черт.61

Редакция 2-72



6.4.4. Из полученных точек пересечения проводим прямые, параллельные оси абсцисс, до пересечения с осью  $\frac{N}{Q}$  и определяем минимальное и максимальное значения удельной мощности, потребляемой системой охлаждения

$$\left(\frac{N}{Q}\right)_{\min}, \left(\frac{N}{Q}\right)_{\max}, \frac{kВт}{кВт}$$

6.4.5. Определяем минимальное, максимальное и рекомендуемое значения мощности  $N, кВт$ , потребляемой системой охлаждения по формулам (12), (13), (14) соответственно.

6.4.6. При проектировании систем принудительного испарительного охлаждения мощность, потребляемую системой, рекомендуется выбирать в пределах:

- а) для стационарной РЭА  $N_p \leq N \leq N_{\max}$ ;
- б) для передвижной и бортовой РЭА  $N_{\min} \leq N \leq N_p$ .

6.5. Определение усредненных технических характеристик ряда элементов систем принудительного испарительного охлаждения производится по формулам и графикам, приведенным в рекомендуемом приложении 2.

6.6. Пример определения основных технических характеристик системы охлаждения приведен в рекомендуемом приложении 3.



## Приложение 1

## ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

1. Нагретой зоной блока называются его шасси (платы) с расположенными на них элементами.
2. Нагретой зоной индивидуального элемента называется его поверхность, находящаяся в непосредственном контакте с теплоносителем \*).
3. Тепловой режим блока называется нормальным, если температуры его элементов равны или ниже допустимых по техническому заданию на эти элементы.
4. Тепловой режим индивидуального элемента называется нормальным, если температура его поверхности, находящейся в непосредственном контакте с теплоносителем, равна или ниже допустимой по техническому заданию.
5. Тепловой режим блока или индивидуального элемента называется стационарным, если температура во всех точках нагретой зоны блока или индивидуального элемента не изменяется во времени.
6. Допустимой температурой нагретой зоны блока называется предельно допустимая температура наименее теплостойкого элемента.
7. Допустимой температурой нагретой зоны индивидуального элемента называется предельно допустимая температура его поверхности, находящаяся в непосредственном контакте с теплоносителем.
8. Допустимым перегревом нагретой зоны блока (или индивидуального элемента) называется:
  - а) при естественном воздушном охлаждении - разность между допустимой температурой нагретой зоны и температурой окружающей среды;

\*). Здесь и в дальнейшем под индивидуальным элементом подразумевается элемент, охлаждаемый индивидуально.

б) при принудительном воздушном охлаждении — разность между допустимой температурой нагретой зоны и температурой воздуха на входе в блок (или индивидуальный элемент);

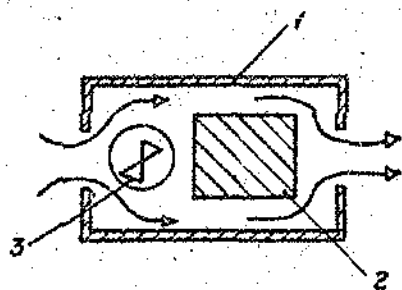
в) при принудительном жидкостном, естественном испарительном и принудительном испарительном охлаждении — разность между допустимой температурой нагретой зоны и температурой воздуха на входе в теплообменник или конденсатор.

9. Допустимым перегревом нагретой зоны системы, состоящей из блоков или индивидуальных элементов, расположенных последовательно по ходу движения теплоносителя, называется, минимально допустимый перегрев нагретой зоны одного из блоков (или индивидуальных элементов), входящих в систему.

10. Способы охлаждения:

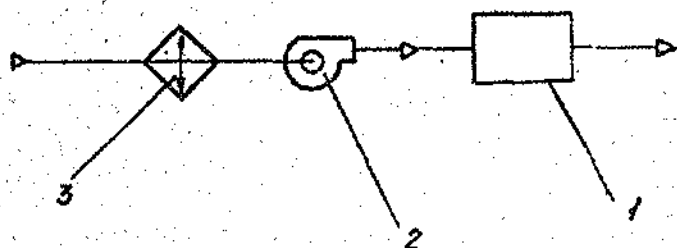
а) ЕСТЕСТВЕННЫЙ ВОЗДУШНЫЙ — без затрат дополнительной энергии на перемещение теплоносителя (воздуха), охлаждающего нагретую зону;

б) ПРИНУДИТЕЛЬНЫЙ ВОЗДУШНЫЙ — с затратой дополнительной энергии на перемещение теплоносителя (воздуха), охлаждающего нагретую зону (черт.1,2);



1 — кожух РЭА; 2 — нагретая зона; 3 — вентилятор

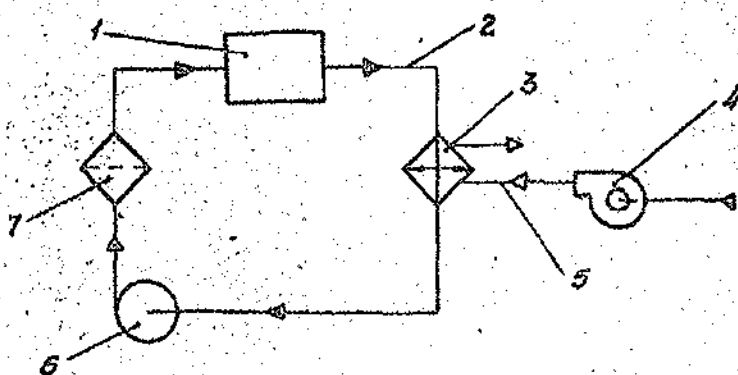
Черт.1



1 - РЭА; 2 - вентилятор; 3 - воздухоохладитель

Черт.2

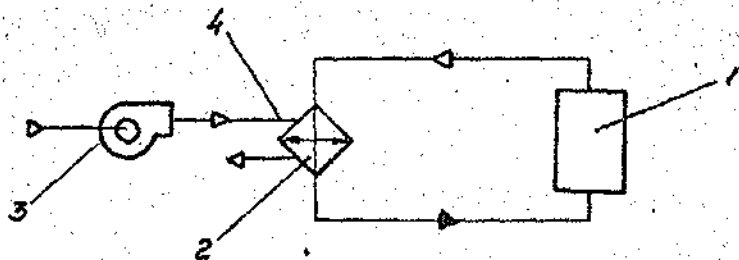
в) ПРИНУДИТЕЛЬНЫЙ ЖИДКОСТНЫЙ ~ с затратой дополнительной энергии на перемещение теплоносителя (жидкости), охлаждающего нагретую зону (черт.3);



1 - РЭА; 2 - трубопровод; 3 - теплообменник (охладитель); 4 - вентилятор; 5 - воздуховод; 6 - насос; 7 - жидкостный фильтр

Черт.3

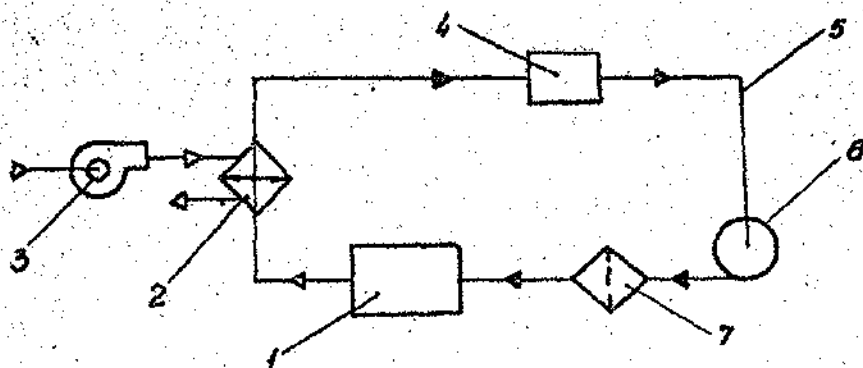
г) ЕСТЕСТВЕННЫЙ ИСПАРИТЕЛЬНЫЙ - без затраты дополнительной энергии на перемещение теплоносителя (паро-жидкостной смеси), охлаждающего нагретую зону (черт.4);



1 - РЭА; 2 - конденсатор (охладитель); 3 - вентилятор; 4 - воздуховод; 5 - трубопровод

Черт.4

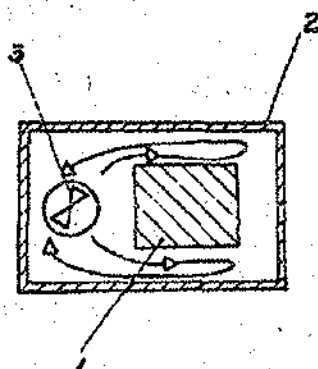
д) ПРИНУДИТЕЛЬНЫЙ ИСПАРИТЕЛЬНЫЙ - с затратой дополнительной энергии на перемещение теплоносителя (паро-жидкостной смеси), охлаждающего нагретую зону (черт.5).



1 - РЭА; 2 - конденсатор (охладитель); 3 - вентилятор; 4 - расширительный бак; 5 - трубопровод; 6 - насос; 7 - фильтр

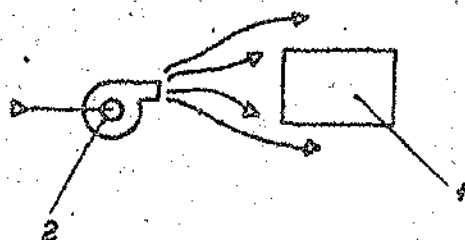
Черт.5

Воздушное охлаждение блоков с внутренним перемещением воздуха (черт.6) и воздушное охлаждение блоков с наружным обдувом блока (черт.7), обладающие признаками как естественного, так и принудительного охлаждения, условно относим к естественному воздушному охлаждению.



1 - нагретая зона; 2 - кожух блока; 3 - вентилятор

Черт.6



1 - кожух блока; 2 - вентилятор

Черт.7

Рекомендуемое приложение 2 к ОСТ4 ГО.070.003

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСРЕДНЕННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ

## 1. Определение усредненных характеристик вентиляторов

1.1. Мощность  $N$ , Вт, потребляемая вентилятором, определяется:

а) по формуле

$$N = (\eta_1 \cdot W \cdot H + \eta_2), \quad (1)$$

где  $W$  - производительность вентилятора,  $\frac{м^3}{сек}$ ;

$H$  - напор, развиваемый вентилятором,  $\frac{Н}{м^2}$ ;

$\eta_1$  и  $\eta_2$  - числовые коэффициенты, определяются согласно табл.1;

Т а б л и ц а 1

Тип вентилятора	$W, \frac{м^3}{сек}$	$\eta_1$	$\eta_2$
Центробежный, с электродвигателем по- стоянного и перемен- ного тока частотой 400 Гц	0-0,014	$3,31 \cdot 10^2$	32,0
	0,014-0,028	$2,43 \cdot 10^2$	42,1
	0,028-0,111	$2,64 \cdot 10^2$	56,1
	$> 0,111$	$2,36 \cdot 10^2$	175,4

Тип вентилятора	$W, \frac{M^3}{сек}$	$\eta_1$	$\eta_2$
Центробежный с электродвигателем переменного тока частотой 50 Гц	0-0,056	$2,57 \cdot 10^2$	39,4
	0,056-0,139	$1,90 \cdot 10^2$	131,5
	0,139-0,427	$2,61 \cdot 10^2$	9,2
	$> 0,427$	$1,76 \cdot 10^2$	946
Осевой с электродвигателем постоянного и переменного тока частотой 400 Гц	0-0,111	$2,04 \cdot 10^2$	27,0
	$> 0,111$	$2,47 \cdot 10^2$	152,0
Осевой с электродвигателем переменного тока частотой 50 Гц	0-0,278	$1,02 \cdot 10^3$	12,0
	$> 0,278$	$1,62 \cdot 10^2$	41,7

б) по графику черт.1 в зависимости от произведения

$$W \cdot H, \frac{M^3}{сек} \cdot \frac{H}{M^2}.$$

1.2. Масса вентилятора  $M$ , кг, определяется:

а) по формуле

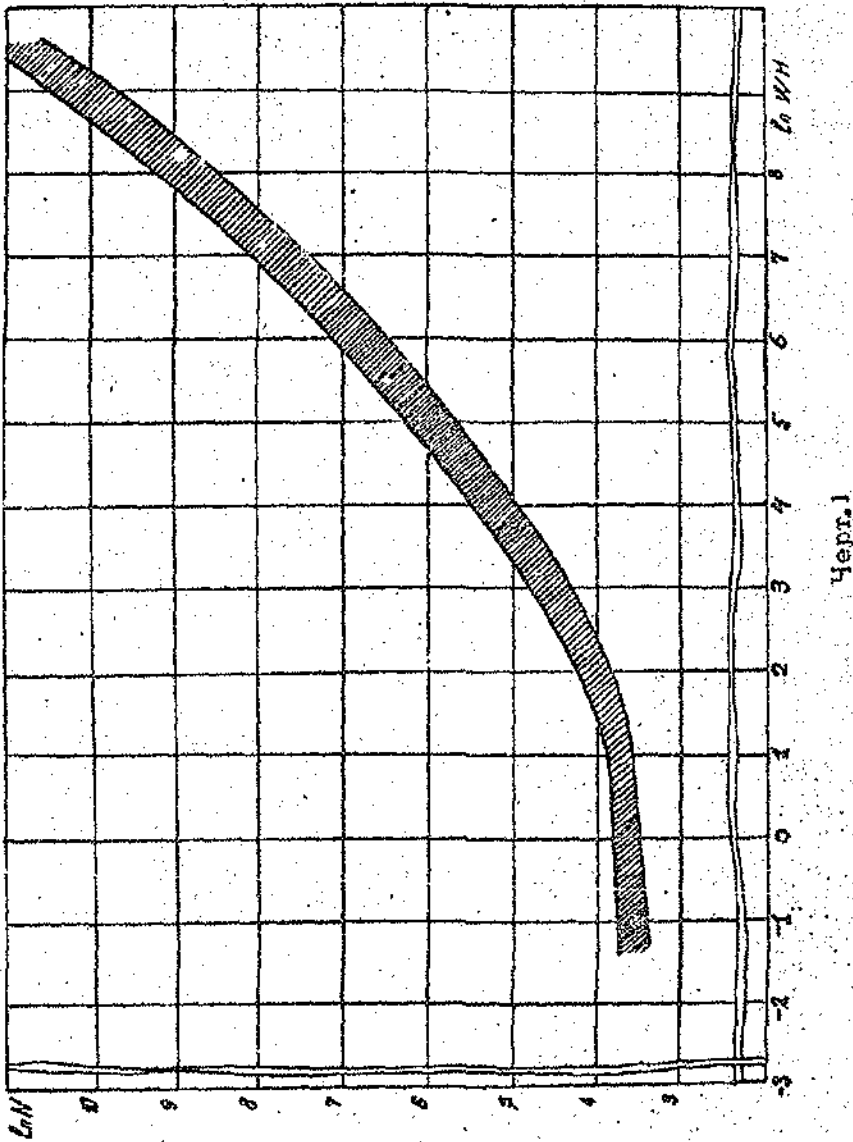
$$M = (\eta_3 \cdot N + \eta_4), \quad (2)$$

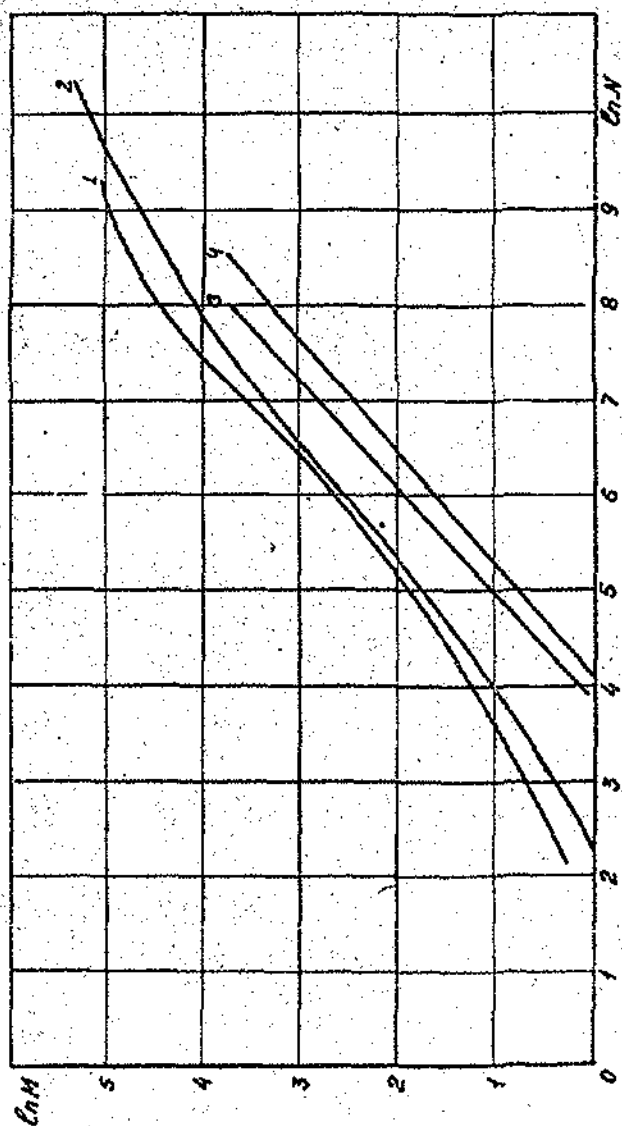
где  $N, Вт$  — мощность, потребляемая вентилятором;  
 $\eta_3$  и  $\eta_4$  — числовые коэффициенты, определяются согласно табл.2;

Тип вентилятора	$W, \frac{м^3}{сек}$	$\eta_3$	$\eta_4$
Центробежный с электродвигателем постоянного и переменного тока частотой 400 Гц	0-0,14	0,032	-0,465
	0,014-0,028	0,026	-0,034
	0,028-0,111	0,01	1,95
	> 0,111	0,012	9,32
Центробежный с электродвигателем переменного тока частотой 50 Гц	0-0,056	0,037	0,67
	0,056-0,139	0,019	5,1
	0,139-0,427	0,009	11,8
	> 0,427	0,005	62,0
Осевой с электродвигателем постоянного и переменного тока частотой 400 Гц	0-0,111	0,015	0,10
	> 0,111	0,006	8,9
Осевой с электродвигателем переменного тока частотой 50 Гц	0-0,278	0,032	2,5
	> 0,278	0,006	102,3



-72-





- 1-осевой, частота 50 Гц;
- 2-центробежный, частота 50 Гц;
- 3-центробежный, частота 400 Гц, постоянный ток;
- 4-осевой, частота 400 Гц, постоянный ток

Черт.2

б) по графику черт.2, в зависимости от величины  $N$ .

1.3. Объем вентилятора  $V$ ,  $m^3$ , определяется:

а) по формуле

$$V = (\eta_5 \cdot N + \eta_6) \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

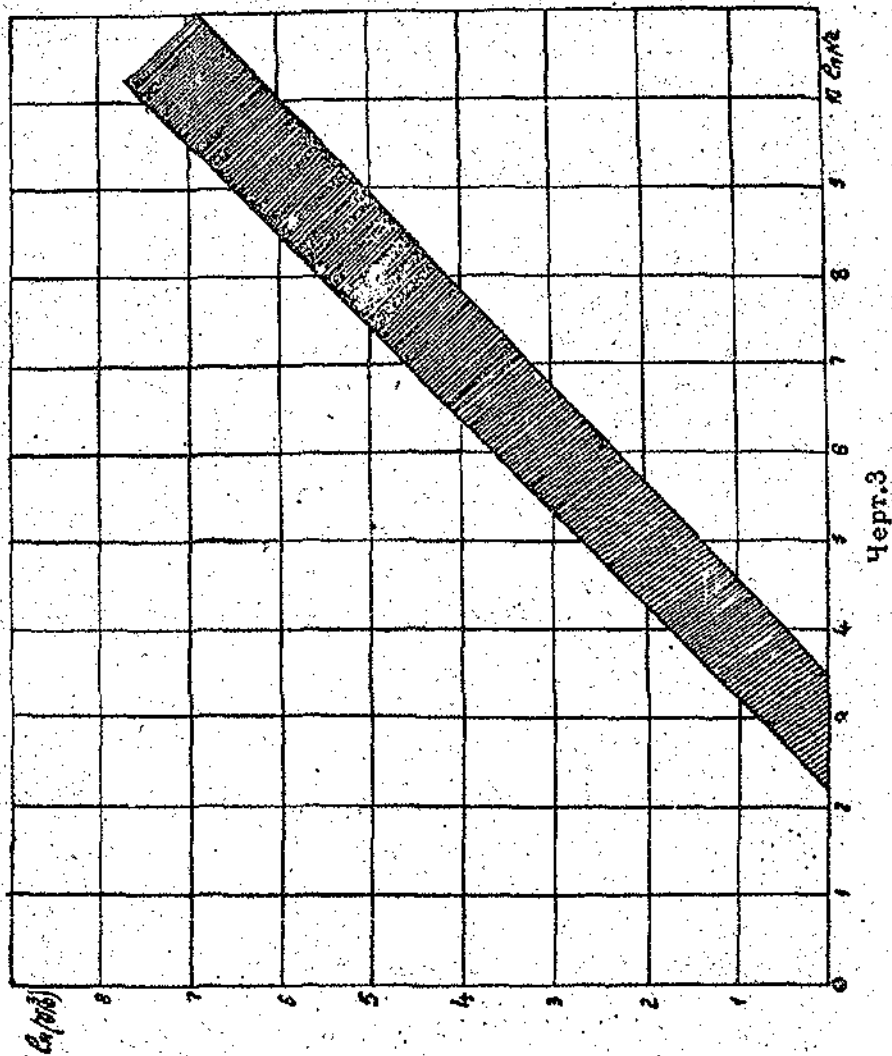
где  $N$  — мощность, потребляемая вентилятором, вт;  
 $\eta_5$  и  $\eta_6$  — числовые коэффициенты, определяются согласно табл.3.

Т а б л и ц а 3

Тип вентилятора	$W, \frac{m^3}{сек}$	$\eta_5$	$\eta_6$
Центробежный с электродвигателем постоянного и переменного тока частотой 400 Гц	0-0,014	-0,0006	1,54
	0,014-0,028	0,044	-0,29
	0,028-0,111	0,031	2,83
	> 0,111	0,063	3,12
Центробежный с электродвигателем переменного тока частотой 50 Гц	0-0,056	0,080	-0,75
	0,056-0,139	0,090	7,78
	0,139-0,427	0,018	49,0
	> 0,427	0,015	191
Осевой с электродвигателем постоянного и переменного тока частотой 400 Гц	0-0,111	0,035	0,08
	> 0,111	0,020	4,23
Осевой с электродвигателем переменного тока частотой 50 Гц	0-0,278	0,102	-0,15
	> 0,278	0,054	-11,6

б) по графику черт.3 в зависимости от величины  $N$ .

75



## 2. Определение усредненных характеристик насосов с электродвигателями постоянного и переменного тока частотой 400 Гц

2.1. Мощность  $N$ , Вт, потребляемая насосом, определяется:

а) по формуле

$$N = 2,94 W \cdot H + 144, \quad (4)$$

где  $W$  — производительность насоса,  $\frac{м^3}{сек}$ ;  
 $H$  — напор, развиваемый насосом,  $\frac{Н}{м^2}$ ;

б) по графику черт.4.

2.2. Масса насоса  $M$ , кг, определяется:

а) по формуле

$$M = 0,0076 N + 2,89; \quad (5)$$

б) по графику черт.5.

2.3. Объем насоса  $V$ ,  $м^3$ , определяется:

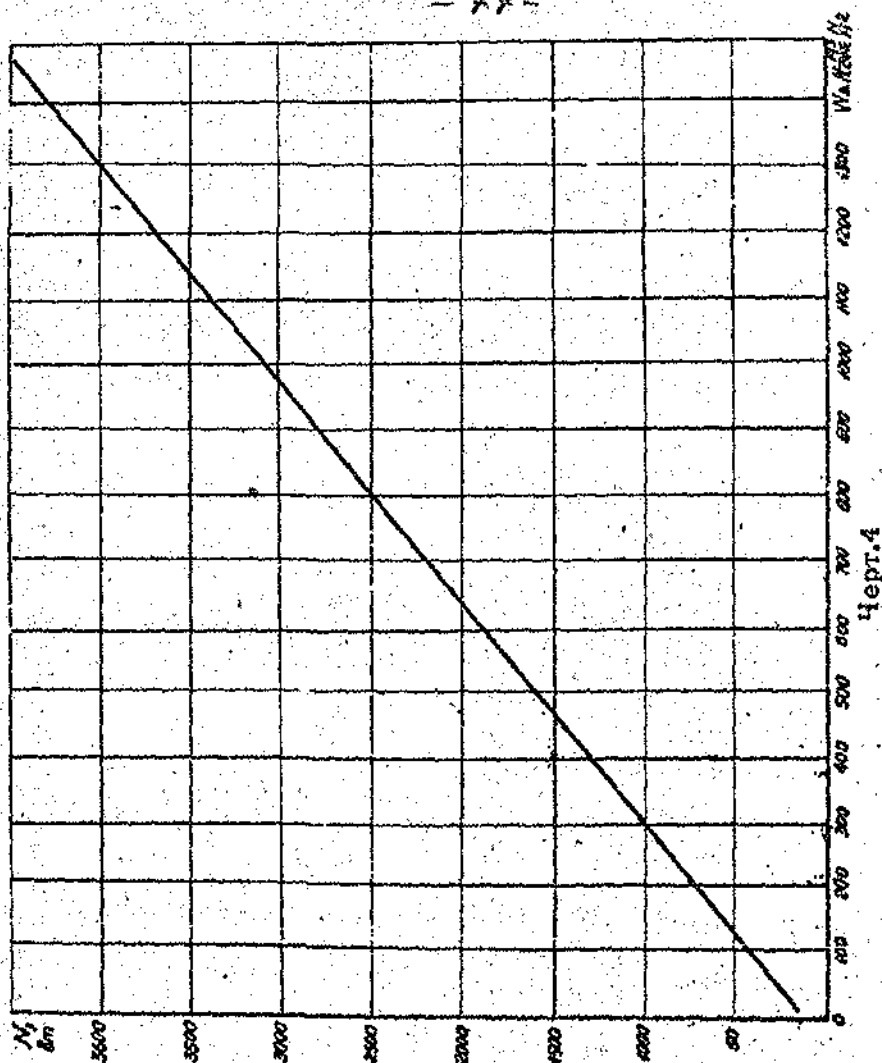
а) по формуле

$$V = (0,0011 N + 1,2) \cdot 10^{-3}; \quad (6)$$

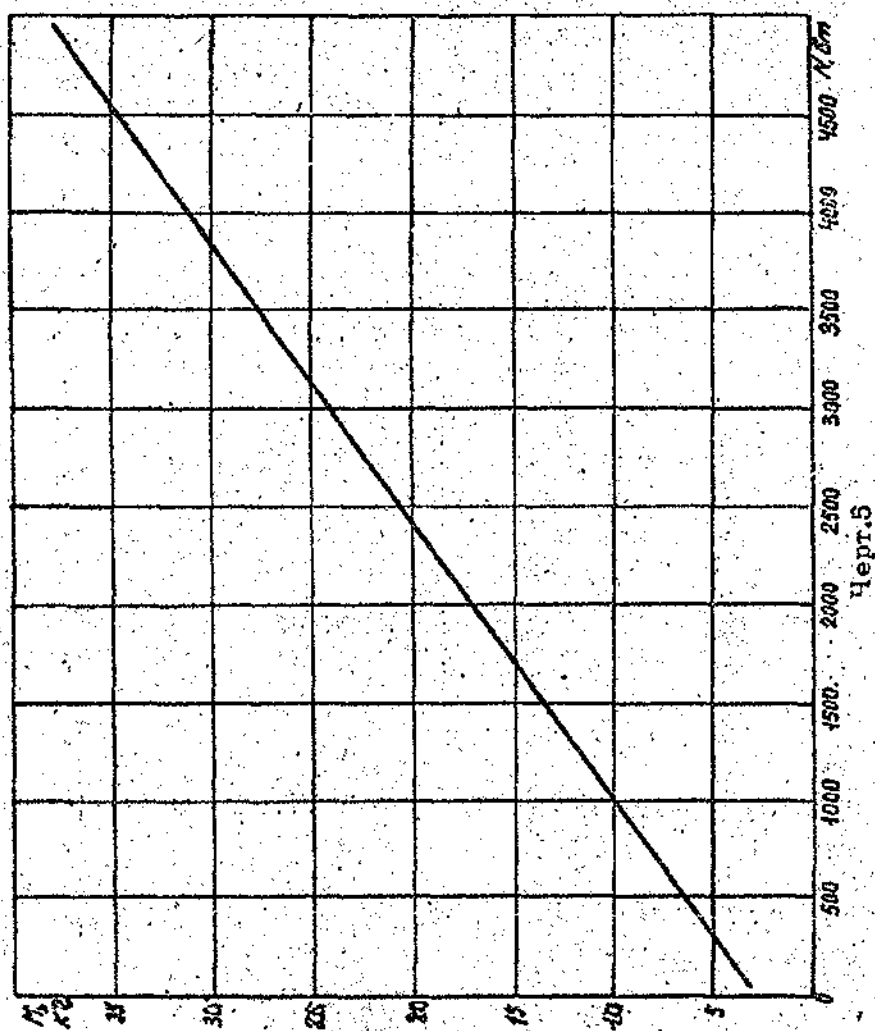
б) по графику черт.6.

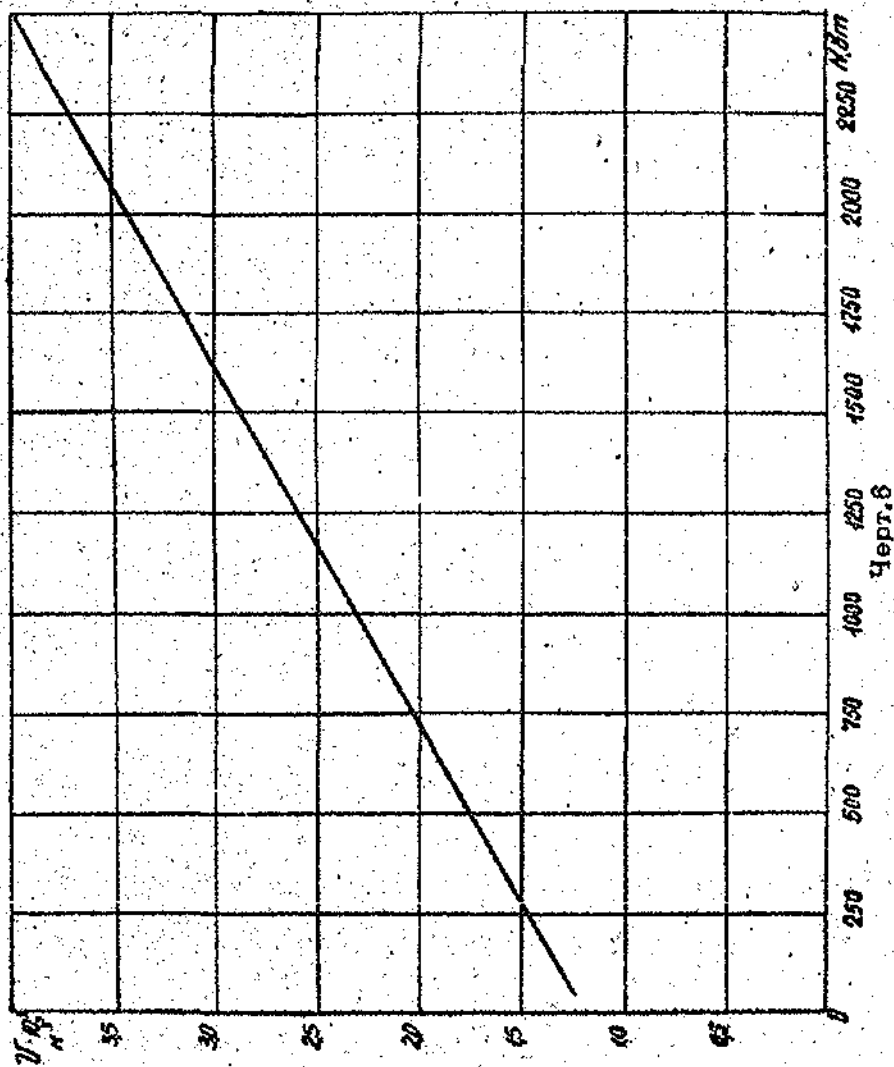
3. Определение усредненных характеристик воздухоохладителей, работающих при стандартных условиях:

- температура кипения хладагента  $t_0 = 5^\circ C$ ;
- температура окружающей среды  $t_{oc} = 35^\circ C$ .

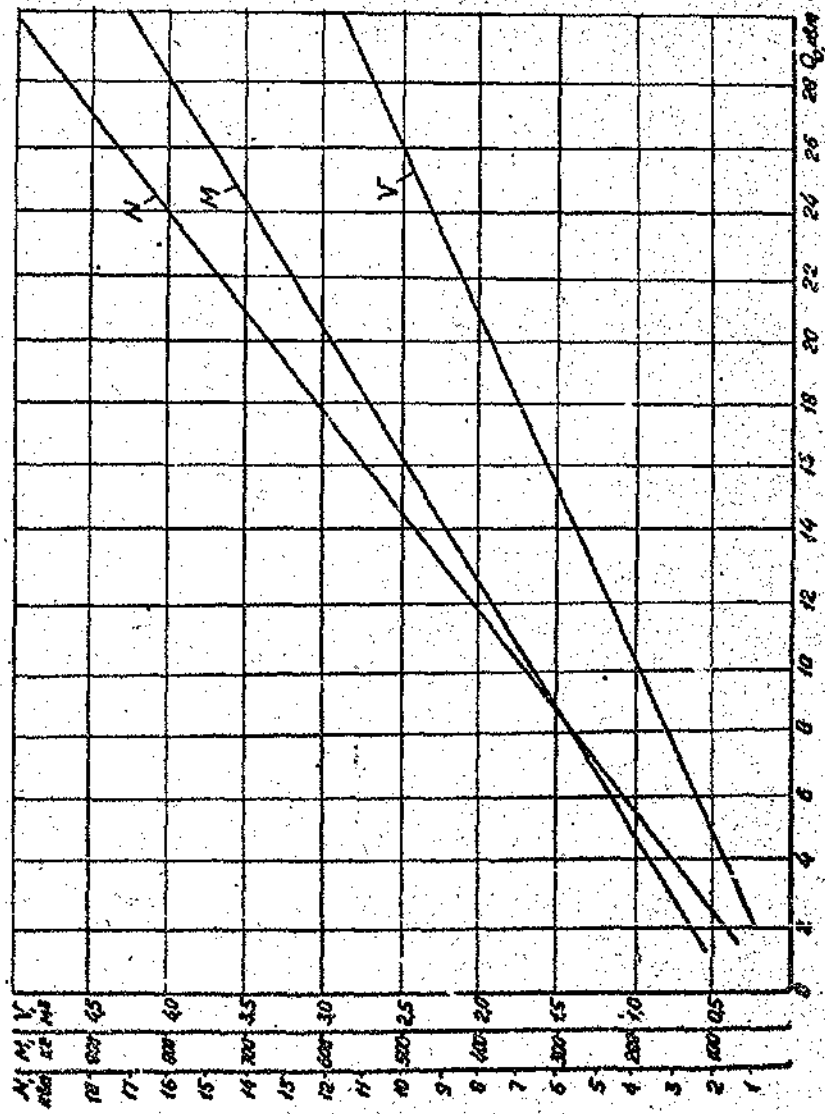


Черт. 4









Черт. 7

3.1. Мощность  $N$ , Вт, потребляемая воздухоохладителем, определяется:

а) по формуле

$$N = 0,655 Q_0 + 380; \quad (7)$$

б) по графику черт.7.

3.2. Масса воздухоохладителя  $M$ , кг, определяется:

а) по формуле

$$M = 0,026 Q_0 + 85,8; \quad (8)$$

б) по графику черт.7.

3.3. Объем воздухоохладителя  $V$ , м<sup>3</sup>, определяется:

а) по формуле

$$V = (0,094 Q_0 + 42) \cdot 10^{-3}; \quad (9)$$

б) по графику черт.7.

4. Определение усредненных характеристик воздухоохладителей, работающих при нестандартных условиях:

- температура кипения хладоносителя  $t_0 = 5^\circ \text{C}$ ;
- температура окружающей среды  $t_{oc} = 50^\circ \text{C}$ .

4.1. Мощность, потребляемая воздухоохладителем  $N$ , Вт, определяется:

а) по формуле

$$N = 0,915 Q_0 + 380; \quad (10)$$

б) по графику черт.8.

4.2. Масса воздухоохладителя  $M$ , кг, определяется:

а) по формуле

$$M = 0,036 Q_0 + 85,8; \quad (11)$$

б) по графику черт.8.

4.3. Объем воздухоохладителя  $V$ ,  $m^3$ , определяется:

а) по формуле

$$V = (0,132 Q_0 + 42) \cdot 10^{-3}; \quad (12)$$

б) по графику черт.8.

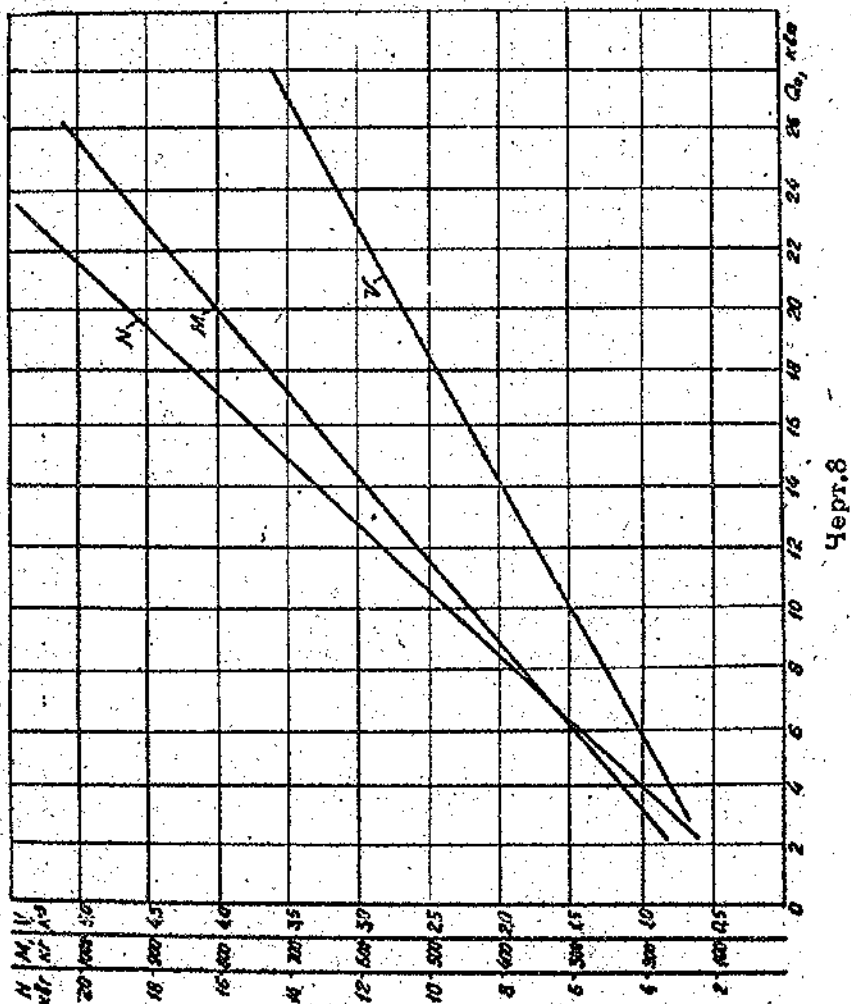
В формулах (7 - 12)  $Q_0$ ,  $g/m$  - холодопроизводительность.

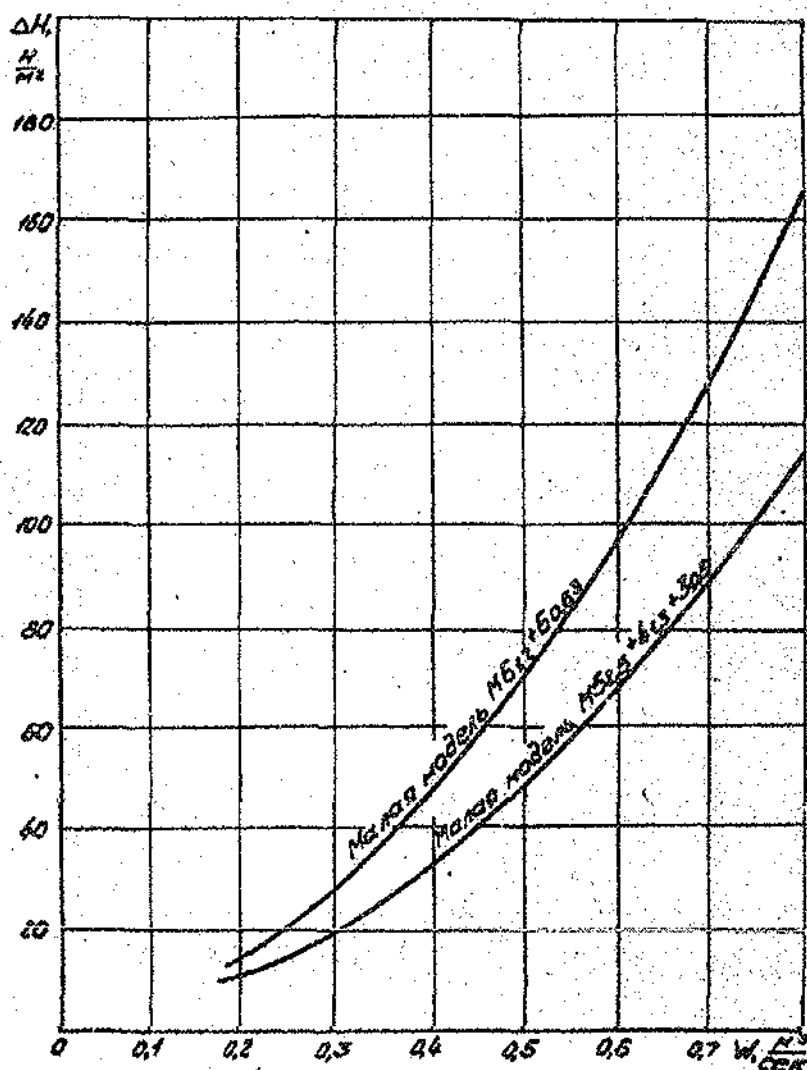
### 3. Определение усредненных характеристик воздушных фильтров

3.1. Определение усредненных характеристик масляных фильтров системы Е.В.Рекка:

а) основные технические данные приведены в табл.4;

б) аэродинамические характеристики приведены на графике черт.8.





$M$  - сокращенное наименование малой модели фильтра;

$M6_{12} * 6_{63}$  - большие цифры, следующие за условным наименованием моделей, характеризуют числа однородных сеток, составляющих пакет, а индексы обозначают размер стороны квадратного отверстия в мм.

Черт. 9

Таблица 4

Модель фильтра	Способ монтажа	Количество элементов в сборе	Рекомендуемые производительности по воздуху, м³/ч	Производимое сечение, ΔН, мм (внутр.)	Объем всасыва- ющей, м³	Объем высасыва- ющей, м³	Масса М ячейки, кг	Масса М фильтра в сборе, кг
ВФ-1М ВФ-1Б		1	0,31 - 0,61	29-98	0,013 0,026	0,0155 0,0321	9,35 14,35	19,22 26,07
ВФ-2М ВФ-2Б		2	0,61 - 1,22	29-98	0,013 0,026	0,0376 0,0648	9,35 14,35	33,44 45,84
ВФ-3М ВФ-3Б		3	0,92 - 1,83	29-98	0,013 0,026	0,0587 0,1072	9,35 14,35	47,47 65,53
ВФ-4М ВФ-4Б		4	1,22 - 2,44	29-98	0,013 0,026	0,0786 0,129	9,35 14,35	61,64 85,20
ВФ-6М ВФ-6Б		6	1,83 - 3,66	29-98	0,013 0,026	0,113 0,194	9,35 14,35	81,48 114,42
ВФ-8М ВФ-8Б		8	2,44 - 4,88	29-98	0,013 0,026	0,151 0,259	9,35 14,35	105,64 148,28
ВФ-9М ВФ-9Б		9	2,79 - 5,58	29-98	0,013 0,026	0,170 0,297	9,35 14,35	115,64 162,76
ВФ-12М ВФ-12Б		12	3,66 - 7,34	29-98	0,013 0,026	0,227 0,390	9,35 14,35	149,56 211,30
ВФ-16М ВФ-16Б		16	4,88 - 9,77	29-98	0,013 0,026	0,302 0,520	9,35 14,35	173,13 278,20
ВФ-20М ВФ-20Б		20	6,10 - 12,20	29-98	0,013 0,026	0,378 0,648	9,35 14,35	212,31 345,16
ЗФ-8М ЗФ-8Б		8	2,44 - 4,88	29-98	0,013 0,026	0,710 0,845	9,35 14,35	74,93 137,42
ЗФ-12М ЗФ-12Б		12	3,66 - 7,34	29-98	0,013 0,026	1,06 1,26	9,35 14,35	142,61 205,96
ЗФ-16М ЗФ-16Б		16	4,88 - 9,77	29-98	0,013 0,026	1,42 1,69	9,35 14,35	189,95 274,92
ЗФ-18М ЗФ-18Б		18	5,00 - 11,00	29-98	0,013 0,026	1,59 1,9	9,35 14,35	213,07 307,89
ЗФ-24М ЗФ-24Б		24	7,34 - 14,65	29-98	0,013 0,026	2,12 2,54	9,35 14,35	284,01 411,16

## Примечания:

1. Давление и сопротивление ячеек фильтра в зависимости от скорости воздушного потока в 2 раза.
2. Расход масла на ячейку: М-120-200г.  
Б-250-350г.
3. Эффективность очистки воздуха 97-98%.
4. Зарядку ячеек необходимо производить через 35-40 часов работы.

## Обозначения:

- ВФ-фильтр вертикального монтажа  
ЗФ-фильтр зигзагообразного монтажа  
М-малая модель фильтра, предназначенная для очистки воздуха, содержащего не более 5мг пыли на 1м³ газа)  
Б-большая модель фильтра (предназначена для очистки воздуха, содержащего не более 20мг пыли на 1м³ воздуха)

5.2. Определение усредненных характеристик ячейковых унифицированных фильтров типа ФяП с пенополиуретановым наполнителем:

а) основные технические данные:

- начальная запыленность,  $\frac{\text{мг}}{\text{м}^3}$  . . . . . 5-10;
  - пропускная способность,  $\frac{\text{м}^3}{\text{сек}}$ , при удельной воздушной нагрузке  $1,95 \frac{\text{м}^3}{\text{сек} \cdot \text{м}^2}$  . . . . . 0,43;
  - начальное аэродинамическое сопротивление,  $\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$  59,0;
  - пылеемкость,  $\frac{\text{г}}{\text{м}^2}$ , при увеличении аэродинамического сопротивления от 59 до  $118 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$  . . . . . 200;
  - масса, кг . . . . . 3;
  - площадь рабочего сечения,  $\text{м}^2$  . . . . . 0,22;
- б) аэродинамическая характеристика приведена на графике черт. 10.

5.3. Определение усредненных характеристик ячейковых унифицированных фильтров типа ФяВ с винипластовым наполнителем:

а) основные технические данные:

- начальная запыленность,  $\frac{\text{мг}}{\text{м}^3}$  . . . . . 5-10;
- пропускная способность,  $\frac{\text{м}^3}{\text{сек}}$ , при удельной воздушной нагрузке  $1,95 \frac{\text{м}^3}{\text{сек} \cdot \text{м}^2}$  . . . . . 0,43;
- начальное аэродинамическое сопротивление,  $\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$  49,0;
- пылеемкость,  $\frac{\text{г}}{\text{м}^2}$ , при увеличении аэродинамического сопротивления от 49 до  $98 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$  . . . . . 200;
- масса, кг . . . . . 4;

- площадь рабочего сечения,  $\text{м}^2$  . . . . . 0,22;

б) аэродинамическая характеристика приведена на графике черт.11.

На графиках черт.9-11W - величина объемного расхода воздуха, приходящегося на одну ячейку фильтра.

#### 6. Определение усредненных характеристик теплообменников

6.1. Масса теплообменников общего типа, кг, определяется при помощи кривой 1 графика черт.12.

6.2. Объем теплообменников общего типа,  $\text{м}^3$ , определяется при помощи кривой 2 графика черт.12.

6.3. Масса компактных теплообменников, кг, определяется при помощи кривой 3 графика черт.12.

#### 7. Определение усредненных характеристик воздухопроводов

7.1. Удельная масса воздухопроводов  $\frac{M}{Q}$ ,  $\frac{\text{кг}}{\text{кгм}}$ , определяется по графику черт.13.

Рекомендуемая вероятностная оценка:

а) для стационарной РЭА  $P \geq 0,7$ ;

б) для передвижной РЭА  $0,5 \leq P < 0,7$ ;

в) для бортовой РЭА  $0,3 \leq P < 0,5$ .

7.2. Удельный объем воздухопроводов  $\frac{V}{Q}$ ,  $\frac{\text{м}^3}{\text{кгм}}$ ,

определяется по графику черт.14.

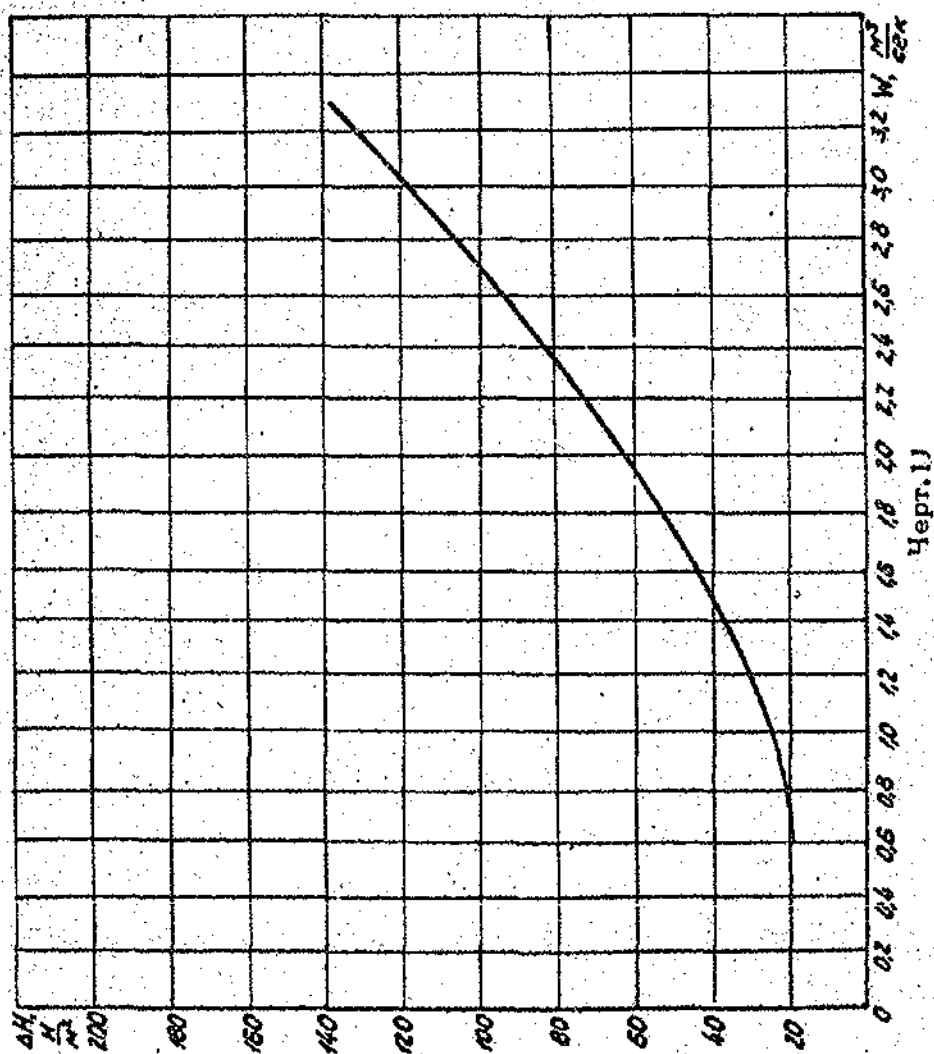
Рекомендуемая вероятностная оценка:

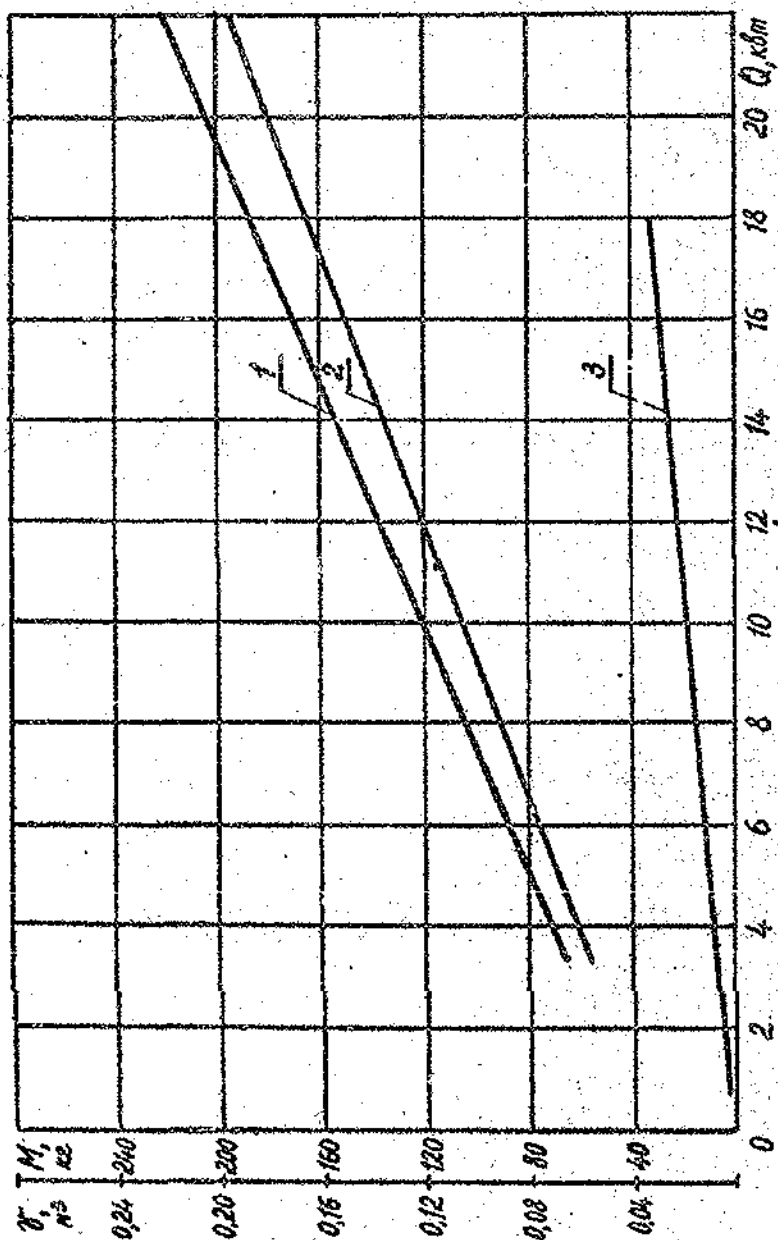
а) для стационарной РЭА  $P \geq 0,7$ ;

б) для передвижной РЭА  $0,5 \leq P < 0,7$ ;

в) для бортовой РЭА  $0,3 \leq P < 0,5$ .

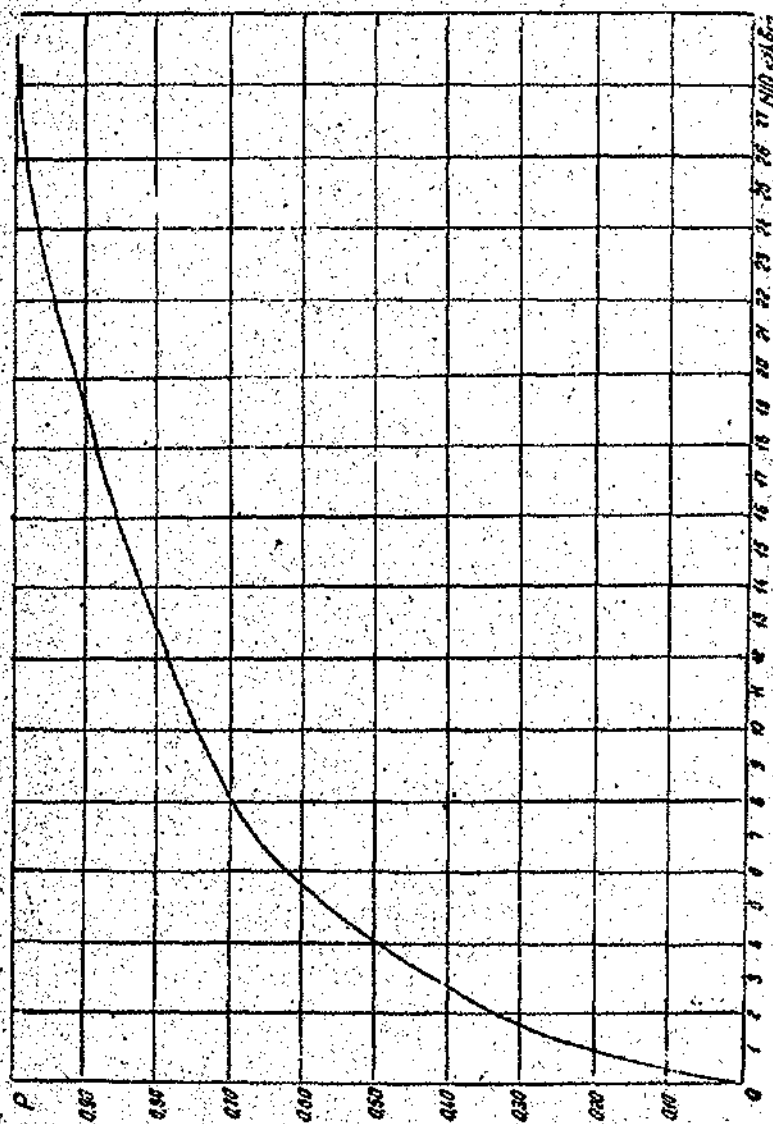






- 1 - объем теплообменников общего типа;
- 2 - масса теплообменников общего типа;
- 3 - масса компактных теплообменников

Черт. 12



чепр. 13

в) при помощи графика черт.1 при данных значениях  $q$ , и  $\Delta t_{гон}$  определяем, что и при данном атмосферном давлении возможно применение как естественного, так и принудительного воздушного охлаждения;

г) при помощи графика черт.4 определяем, что для естественного воздушного охлаждения блока с перфорированным кожухом вероятность обеспечения нормального теплового режима  $P = 0,18$ ;

д) поскольку полученное в предыдущем пункте значение меньше рекомендуемого в п.2.2.2, выбираем принудительный воздушный способ охлаждения.

#### 4. Обеспечения нормального теплового режима индивидуального элемента

##### 4.1. Исходные данные:

а) рассеиваемая мощность  $Q = 5 \cdot 10^3 \text{ Вт}$ ;

б) удельная мощность нагретой зоны  $q = 3 \cdot 10^4 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ ;

в) допустимая температура нагретой зоны

$$t_{гон} = 150^\circ \text{C};$$

г) диапазон изменения температуры окружающей среды от минус 80 до плюс 50 °C;

д) максимально допустимая величина гидравлического сопротивления РЭА  $\Delta H_{гон} = 10^6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ ;

е) требования к теплоносителю:

- удельное объемное сопротивление  $\rho_v \approx 5 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Ом}}{\text{см}}$ ;

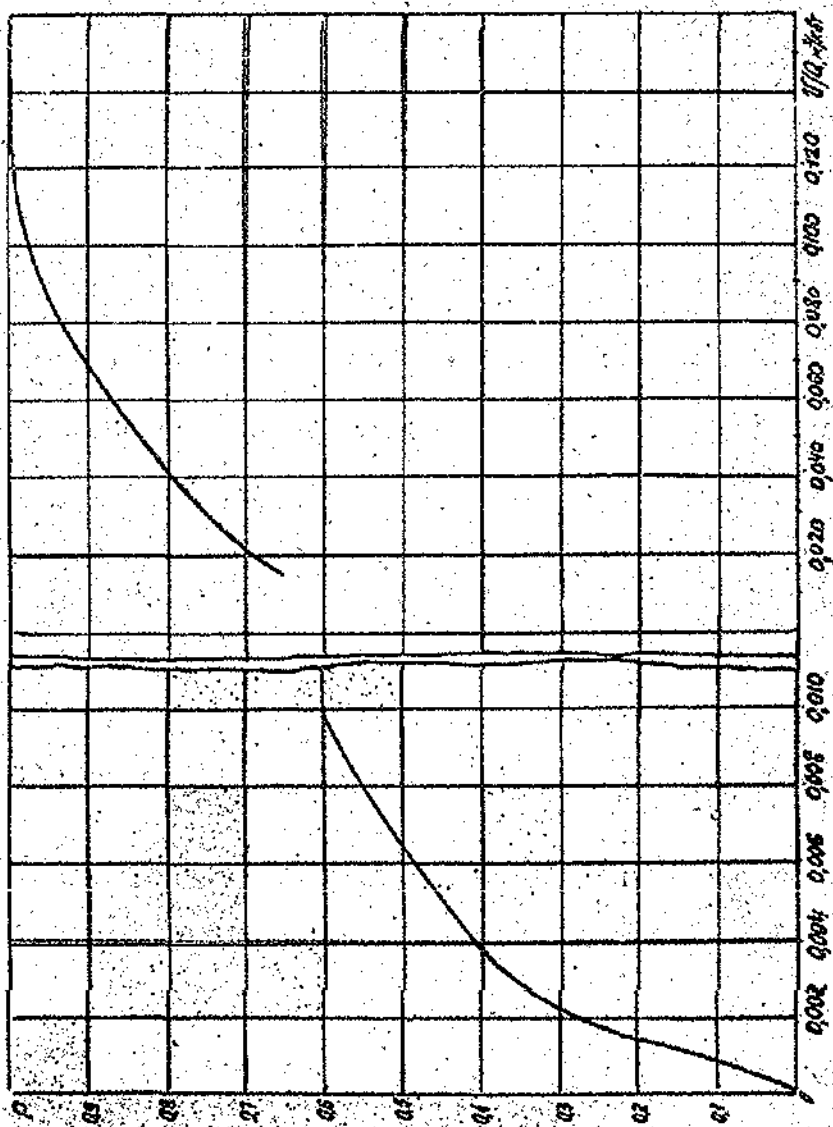
- тангенс угла диэлектрических потерь  $\tan \delta \leq 4 \cdot 10^{-3}$ .

##### 4.2. Выбор способа охлаждения:

а) определяем величину допустимого перегрева нагретой зоны

$$\Delta t_{гон} = 150 - 50 = 100^\circ \text{C};$$

б) при помощи графика черт.1 (верхняя часть) при заданных значениях  $q$  и  $\Delta t_{гон}$  определяем, что в данном случае целесообразно применение принудительного жидкостного способа охлаждения.



Черт. 14

Рекомендуемое приложение 3 к ОСТ4 ГО.070.003

**ПРИМЕРЫ ВЫБОРА СПОСОБА ОХЛАЖДЕНИЯ  
И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ**

**1. Обеспечение нормального теплового  
режима блока РЭА**

**1.1. Исходные данные:**

а) рассеиваемая мощность  $Q = 0,5 \text{ кВт}$ ;

б) допустимый перегрев нагретой зоны

$$\Delta t_{\text{гон}} = 30^\circ \text{C};$$

в) удельная мощность нагретой зоны  $q = 400 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ .

**1.2. Выбор способа охлаждения:**

а) при помощи графика черт.1 по заданным значениям  $q$  и  $\Delta t_{\text{гон}}$  определяем, что возможно применение как естественного, так и принудительного воздушного охлаждения;

б) при помощи графиков черт.2-4 определяем, что нормальный тепловой режим блоков обеспечивается:

- для блока в герметичном кожухе без внутреннего перемешивания - с вероятностью  $P = 0,18$ ;

- для блока в перфорированном кожухе - с вероятностью

$$P = 0,28.$$

Поскольку полученные значения  $P$  меньше рекомендуемых в п.2.1.2, выбираем принудительное воздушное охлаждение.

**1.3. При помощи графика черт.5 с вероятностью**

$P = 0,6$  определяем величину удельного массового расхода воздуха и полного расхода:

$$\frac{G}{Q} = 0,067 \frac{\text{кг}}{\text{сек} \cdot \text{кВт}}; \quad G = 0,067 \cdot 0,5 = 0,0335 \frac{\text{кг}}{\text{сек}}.$$

1.4. Определяем основные технические характеристики системы охлаждения при помощи графиков черт. 7, 8, 9 с вероятностью  $P = 0,4$  (для системы без "приготовления" холодного воздуха), определяем массу, потребляемую мощность и объем системы охлаждения:

$$M = 5,5 \text{ кг}; \quad N = 75 \text{ Вт}; \quad V = 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

1.5. Выбираем схему системы охлаждения - приточно-вытяжную принудительную вентиляцию блока при помощи двух вентиляторов, вмонтированных в боковые стенки блока.

1.6. Уточняем технические характеристики системы охлаждения:

а) при помощи графика черт. 6 с вероятностью  $P = 0,65$  определяем аэродинамическое сопротивление блока

$$\Delta H = 150 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2};$$

б) поскольку  $\Delta H$  невелико, выбираем осевые вентиляторы с электродвигателями переменного тока частотой 50 Гц;

в) для каждого вентилятора определяем величину

$$W_H = \frac{G \cdot H}{\rho_{\text{возд}} \cdot 2} = \frac{0,0335 \cdot 150}{1,2 \cdot 2} = 2,1 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{сек}};$$

г) при помощи графиков черт. 1, 2, 3 (рекомендуемое приложение 2) определяем потребляемую мощность, массу и объем вентиляторов;

$$N = 80,76 \text{ м}; \quad M = 5,88 \text{ кг}; \quad V = 512 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

2. Обеспечение нормального теплового режима комплекса РЭА, состоящего из четырех одинаковых шкафов, соединенных параллельно по ходу воздуха:

$$Q = 10 \text{ кВт}; \quad \Delta t_{\text{доп}} = 30^\circ \text{C}; \quad q = 1140 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}.$$

Система охлаждения - воздушная, приточно-вытяжная. Нагретый воздух, охладивший шкафы, подается в роздуховод и далее на масляный фильтр модели Е.В.Рекка и в теплообменник, после чего приточным вентилятором охлажденный воздух вновь подается в шкафы.

2.1. По диаграмме черт.5 с вероятностью  $P = 0,7$  определяется требуемый для обеспечения нормального теплового режима шкафа удельный расход воздуха:

$$\frac{G}{Q} = 0,161 \frac{\text{кг}}{\text{сек} \cdot \text{кВт}}.$$

Общий расход воздуха отсюда равен  $G = 1,61 \frac{\text{кг}}{\text{сек}}.$

2.2. По графику черт.6 определяется аэродинамическое сопротивление системы охлаждения:

$$\Delta H = 850 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

2.3. Рассчитывается произведение производительности на напор одного вентилятора:

$$WH = \frac{G \cdot \Delta H}{\rho_{\text{возд}} \cdot 2} = 557 \frac{\text{НМ}}{\text{сек}}.$$

2.4. Определяются технические характеристики (потребляемая мощность, масса, объем) центробежного вен-



тилятора с электродвигателем на 50 Гц соответственно по графикам черт.1-3 рекомендуемого приложения 2:

$$N_1 = 105 \text{ кВт}; \quad M_1 = 14 \text{ кг}; \quad V_1 = 0,015 \text{ м}^3.$$

2.5. По графику черт.12 рекомендуемого приложения 2 определяются масса и объем теплообменника:

$$M_2 = 105 \text{ кг}; \quad V_2 = 0,12 \text{ м}^3.$$

2.6. Определяются масса и объем воздухопроводов соответственно по графикам черт.18, 14 рекомендуемого приложения 2 с вероятностью  $P = 0,8$ :

$$M_3 = 130 \text{ кг}; \quad V_3 = 0,4 \text{ м}^3.$$

2.7. По табл.4 определяются характеристики фильтра

$$M_4 = 61,6 \text{ кг}; \quad V_4 = 0,075 \text{ м}^3.$$

2.8. Определяются характеристики системы охлаждения.

Потребляемая мощность, масса и объем всей системы охлаждения складываются из мощности, массы и объема элементов, входящих в нее:

$$N = 2,1 \text{ кВт}; \quad M = 324,6 \text{ кг}; \quad V = 0,625 \text{ м}^3.$$

3. Обеспечение нормального теплового режима блока РЭА, находящегося в условиях пониженного давления

3.1. Исходные данные:

а) удельная мощность нагретой зоны

$$q = 250 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2};$$

б) допустимый перегрев нагретой зоны

$$\Delta t_{\text{гон}} = 30^{\circ}\text{C};$$

в) давление окружающей среды

$$H_1 = 20 \text{ мм рт. ст.}$$

### 3.2. Выбор способа охлаждения:

а) при помощи графика черт.1 по заданным значениям  $q$  и  $\Delta t_{\text{гон}}$  определяем, что при нормальном атмосферном давлении возможно применение как естественного, так и принудительного воздушного охлаждения;

б) при помощи графиков черт.2-4 определяем, что нормальный тепловой режим блока для естественного воздушного охлаждения обеспечивается:

- для блока в герметичном корпусе без внутреннего перемешивания - с вероятностью  $P = 0,45$ ;

- для блока с перфорированным кожухом - с вероятностью  $P = 0,60$ ;

в) поскольку вероятность обеспечения нормального теплового режима блока при естественном воздушном охлаждении с перфорированным кожухом достаточно высока, выбираем этот способ охлаждения.

### 3.3. Выбираем окончательно способ охлаждения блока при пониженном атмосферном давлении:

а) предварительно для выбранного в п.3.2 способа охлаждения по табл.3 определяем значение эмпирического коэффициента  $\eta$ , соответствующего пониженному давлению 20 мм рт.ст.:

$$\eta = 2,02;$$

б) определяем эквивалентное значение удельной мощности нагретой зоны:

$$q_1 = q \cdot \eta = 505 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2};$$

#### 4.3. Выбор теплоносителя

С учетом оговоренных в исходных данных ограничений по диэлектрическим свойствам и по значениям  $\epsilon_{\text{нк}}$  (см. п.4.2.2) выбираем в качестве теплоносителя жидкость ПМС-10, имеющую порядковый номер 9 в табл.6.

#### 4.4. Определение усредненного значения массы системы охлаждения:

а) при помощи табл.7 находим, что для определения величины удельной массы системы охлаждения при данном значении  $H_{\text{доп}}$  необходимо воспользоваться графиком черт.18;

б) при помощи черт.18 при данной величине  $\Delta t_{\text{доп}}$  определяем минимальное и максимальное значения удельной массы системы охлаждения:

$$\left(\frac{M}{Q}\right)_{\min} = 7 \frac{\text{кг}}{\text{кВт}}; \quad \left(\frac{M}{Q}\right)_{\max} = 15 \frac{\text{кг}}{\text{кВт}};$$

в) определяем рекомендуемое усредненное значение массы системы охлаждения:

$$M_p = \frac{7 \cdot 5 + 15 \cdot 5}{2} = 55,0 \text{ кг.}$$

#### 4.5. Определение усредненного значения мощности, потребляемой системой охлаждения:

а) при помощи табл.8 находим, что для определения величины удельной мощности, потребляемой системой охлаждения, необходимо воспользоваться графиком черт.30;

б) при помощи черт.30 при данной величине  $\Delta t_{\text{доп}}$  определяем минимальное и максимальное значения удельной мощности, потребляемой системой охлаждения:

$$\left(\frac{N}{Q}\right)_{\min} = 0,25 \frac{\text{кВт}}{\text{кВт}}; \quad \left(\frac{N}{Q}\right)_{\max} = 0,75 \frac{\text{кВт}}{\text{кВт}};$$

в) определяем рекомендуемое значение мощности, потребляемой системой охлаждения:

$$N_p = \frac{0,25 \cdot 5 + 0,75 \cdot 5}{2} = 2,5 \text{ кВт.}$$

### 5. Определение характеристик естественной испарительной системы охлаждения большого элемента, установленного в стационарной системе

#### 5.1. Исходные данные:

а) рассеиваемая мощность  $Q = 10^4 \text{ Вт};$

б) удельная мощность нагретой зоны  $q = 5 \cdot 10^5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2};$

в) допустимая температура нагретой зоны

$$t_{\text{дон}} = 120^\circ \text{C};$$

г) температура окружающей среды  $t_{\text{ос}}$  от минус 60 до плюс 50 °C;

д) максимально допустимая величина давления в системе

$$H_{\text{дон}} = 5 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

#### 5.2. Выбор теплоносителя:

а) определяем величину

$$q' = 0,8q = 4 \cdot 10^5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2};$$

б) откладываем полученное значение  $q'$  на оси  $q$  квадранта А, черт.35, и проводим из полученной точки прямую, параллельную оси  $t$  этого квадранта;

в) откладываем значения  $t_{\text{дон}}$  и  $t_{\text{ос max}}$  на оси  $t$  квадранта А, черт.35, и проводим из полученных точек прямые, параллельные оси  $q$  этого квадранта;

г) в зоне, ограниченной проведенными прямыми, находящейся выше линии  $q' = \text{const}$ , расположены кривые 1-4, 6, 10, 11;

д) откладываем величину  $H_{\text{гон}} = 5 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$  на оси  $H$  квадранта  $D$  (черт.35) и из полученной точки проводим прямую, параллельную оси  $t_H$  этого квадранта;

е) откладываем величину  $t_{\text{гон}}$  на оси  $t_H$  квадранта  $D$  (черт.35) и из полученной точки проводим прямую, параллельную оси  $H$  этого квадранта;

ж) в зоне, ограниченной проведенными прямыми и осями  $H$  и  $t_H$  квадранта  $D$ , черт.35, находятся кривые, соответствующие веществам 1,3,7-13;

з) с учетом полученных в подпунктах г) и ж) списков отбираем вещества (1,3,10,11), попавшие в оба списка;

и) с учетом ограничений по минимальной температуре в системе (минус  $60^\circ\text{C}$ ) принимаем окончательно в качестве теплоносителя вещество № 3 в табл.9 - этиловый спирт.

5.3. Определение усредненного веса системы охлаждения:

а) откладываем значение  $q = 5 \cdot 10^5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$  на оси  $q$  квадранта  $B$  (черт.35) и определяем величину  $\Delta t_1 = 35^\circ\text{C}$ ;

б) откладываем полученное значение  $\Delta t_1 = 35^\circ\text{C}$  на оси  $\Delta t$  квадранта  $C$ , проводим построение согласно пп. 5.3.3-5.3.7 и в результате определяем значение  $\Delta t_2 = 33^\circ\text{C}$ ;

в) проверяем выполнение условия п.5.3.8

$$|\Delta t_2 - \Delta t_1| = 2^\circ\text{C} < 5^\circ\text{C};$$

условие выполняется, и окончательно определяем величину

$$\Delta t = \Delta t_2 = 33^\circ \text{C};$$

г) откладываем полученное значение  $\Delta t = 33^\circ \text{C}$  на оси  $\Delta t$  квадранта В, проводим построения согласно пп.5.3.10, 5.3.11 и получим значение  $q_{\text{эф}} = 15 \cdot 10^5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ ;

д) определяем значение допустимого перегрева нагретой зоны

$$\Delta t_{\text{дон}} = 120 - 50 = 70^\circ \text{C};$$

е) откладываем значение  $\Delta t_{\text{дон}} = 70^\circ \text{C}$  на оси  $\Delta t$  графика черт.38, проводим построение согласно пп.5.3.14, 5.3.15 и определяем рекомендуемое значение удельной массы системы охлаждения;

$$\left(\frac{M}{Q}\right)_p = 6,5 \frac{\text{кг}}{\text{кВт}};$$

ж) определяем рекомендуемое значение массы системы охлаждения:

$$M_p = 6,5 \cdot 10 = 65 \text{ кг}.$$

## 6. Определение характеристик принудительной испарительной системы охлаждения большого элемента

### 6.1. Исходные данные:

- а) рассеиваемая мощность  $Q = 10^4 \text{ Вт}$ ;  
 б) удельная мощность, рассеиваемая нагретой зо-  
 ной,  $q = 5 \cdot 10^6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ ;

- в) допустимая температура нагретой зоны

$$t_{\text{доп}} = 130^\circ \text{C};$$

- г) температура окружающей среды  $t^\circ \text{C}$  от минус  
 60 до плюс 50  $^\circ \text{C}$ .

6.2. При выборе теплоносителя с учетом требований,  
 изложенных в пп. 8.2.1-8.2.4 данных табл. 10 и приведен-  
 ного значения минимальной температуры в системе  
 (минус 60  $^\circ \text{C}$ ), выбираем в качестве теплоносителя веще-  
 ство № 3 в табл. 10 – этиловый спирт.

### 6.3. Определение усредненного значения массы сис- темы охлаждения:

- а) при помощи табл. 11 находим, что при значении  
 $q = 5 \cdot 10^6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$  для вещества № 3 величину удельной массы  
 системы охлаждения следует определять по графику  
 черт. 49;

- б) определяем величину допустимого перегрева  
 нагретой зоны:

$$\Delta t_{\text{доп}} = 130 - 50 = 80^\circ \text{C};$$

- в) при помощи графика черт. 49 определяем мини-  
 мальное и максимальное значения удельной массы сис-  
 темы охлаждения:

$$\left( \frac{M}{Q} \right)_{\text{min}} = 80 \frac{\text{кг}}{\text{кВт}}; \quad \left( \frac{M}{Q} \right)_{\text{max}} = 32,0 \frac{\text{кг}}{\text{кВт}};$$

г) определяем минимальное, максимальное и рекомендуемое значения массы системы охлаждения:

$$M_{\min} = 8 \cdot 10 = 80 \text{ кг}; \quad M_{\max} = 32 \cdot 10 = 320 \text{ кг};$$

$$M_p = \frac{80 + 320}{2} = 200 \text{ кг}.$$

6.4. Определение мощности, потребляемой системой охлаждения:

а) при помощи табл.12 находим, что при значении  $Q = 5 \cdot 10^6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$  для вещества № 3 величину удельной мощности, потребляемой системой охлаждения, следует определять по графику черт.61;

б) при помощи графика черт.61 определяем при данном значении  $\Delta t_{\text{зоп}} = 80^\circ \text{С}$  минимальное и максимальное значения удельной мощности, потребляемой системой охлаждения:

$$\left(\frac{N}{Q}\right)_{\min} = 0,18 \frac{\text{кВт}}{\text{кВт}}; \quad \left(\frac{N}{Q}\right)_{\max} = 0,7 \frac{\text{кВт}}{\text{кВт}};$$

в) определяем минимальное, максимальное и рекомендуемое значения мощности, потребляемой системой охлаждения:

$$N_{\min} = 0,18 \cdot 10 = 1,8 \text{ кВт};$$

$$N_{\max} = 0,7 \cdot 10 = 7,0 \text{ кВт};$$

$$N_p = \frac{1,8 + 7,0}{2} = 4,4 \text{ кВт}.$$



## СО Д Е Р Ж А Н И Е

1. Определение области применения различных способов охлаждения . . . . .	1	1
2. Естественное воздушное охлаждение . . . . .	3	3
3. Принудительное воздушное охлаждение . . . . .	13	7
4. Принудительное жидкостное охлаждение . . . . .	20	14
5. Естественное испарительное охлаждение . . . . .	40	33
6. Принудительное испарительное охлаждение . . . . .	53	44
Приложение 1. Основные понятия и определения . . . . .	74	64
Рекомендуемые приложения: 2. Определение усредненных технических характеристик элементов систем охлаждения . . . . .	79	69
3. Примеры выбора способа охлаждения и определения основных технических характеристик систем охлаждения . . . . .	103	91

