

Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский  
институт нефтяного машиностроения

„ВНИИНЕФТЕМАШ”

Методика теплового и аэродинамического расчёта  
аппаратов воздушного охлаждения

Заместитель директора института



Б. Абрасимов

Главный конструктор института



Ю. Бихман

Заведующий отделом конструирования и исследования  
нефтезаводского оборудования



С. Мельников

Заведующий лабораторией конструирования и  
исследования аппаратов воздушного охлаждения



В. Шмеркович

1974 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

к "Методике теплового и аэродинамического расчета аппаратов  
воздушного охлаждения" выпуска 1971 года

"Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения" 1971г. издана на основе "Методики" 1968г. с учетом дополнений и изменений, а так же опыта проектирования и промышленной эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения.

Настоящая методика расчета распространяется на следующие аппараты воздушного охлаждения:

- а) горизонтального типа АВГ по ГОСТ 12854-67<sup>а</sup> и ОСТ 26-02-176-70
- б) зигзагообразного типа АВЗ по ГОСТ 13934-68<sup>а</sup> и отраслевой нормали ОН26-02-36-67
- в) малопетельного типа АВМ по ГОСТ 13935-68<sup>а</sup> и отраслевой нормали ОН26-02-34-67

При разработке настоящего выпуска "Методики"-71 использован выпуск "Методики" 1968г., материалы экспериментальных стендовых испытаний и исследований в промышленных условиях, проводившихся ВНИИнефтемашем, а также опубликованные литературные материалы.

С целью максимального ускорения проведения расчета материалы представлены в виде таблиц, графиков и номограмм и необходимость в аналитических вычислениях сведена к минимуму.

В "Методике"-71 приведены все основные конструктивные параметры аппаратов воздушного охлаждения, требуемые для расчетов, что исключает необходимость параллельного пользования нормами и другой технической документацией.

В приложении к "Методике"-71 приведен справочный материал, наиболее часто требуемый при расчетах АВО. Однако его наличие не исчерпывает полностью всех данных, необходимых в каждом отдельном случае.

По мере накопления материалов экспериментальных исследований, совершенствования конструкций и технологии изготовления отечественных аппаратов воздушного охлаждения, результатов промышленной эксплуатации и опыта проектирования и внедрения АВО, будут вынуждаться новые издания "Методики теплового и аэродинамического расчета".

С выходом настоящего издания "Методики"-71 утрачивает силу "Методика" 1962г. издания, а также все ранее выданные рекомендации по расчету АВО, на которые распространяется настоящая "Методика"-71.

Мы будем благодарны за Ваши замечания и пожелания, которые помогут в разработке следующего выпуска "Методики теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения".

СОДЕРЖАНИЕ

	Лист		
1. Принятые обозначения	3	24. Номограмма для определения среднегарифмического температурного напора	50
2. Уравнение теплового баланса	4	25. График для определения поправочного коэффициента среднегарифмического температурного напора при однократном перекрестном токе	51
3. Уравнение теплопередачи	4	26. зависимость полного аэродинамического напора от скорости воздуха в узком сечении	52
4. Коэффициент теплопередачи	4	27. Номограммы и график для определения потребляемой мощности аппаратов воздушного охлаждения	54
5. Расчетная температура воздуха	6	28. <u>П р и л о ж е н и я :</u>	
6. Средний температурный напор	7	1. Расчет коэффициента теплоотдачи со стороны продукта	57
7. Средние температуры потоков и поверхности стенок труб	8	2. Гидродинамический расчет	58
8. Увлажнение воздуха	9	3. Климатические данные по некоторым пунктам СССР	61
9. Коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха	10	4. Физические параметры воздуха и некоторых продуктов	80
10. Аэродинамическое сопротивление	10	5. Ориентировочные значения сопротивлений загрязнений со стороны различных продуктов	93
11. Потребляемая мощность	10	6. Влажность воздуха	95
12. Расчет годового расхода электроэнергии на привод вентилятора	11	7. Некоторые значения тепловых напряженности и коэффициентов теплопередачи в аппаратах воздушного охлаждения	100
13. Данные необходимые для расчета аппаратов воздушного охлаждения	12	29. Литература	102
14. Порядок расчета	12		
15. Аппараты воздушного охлаждения малопоточного типа	14		
16. Аппараты воздушного охлаждения горизонтального типа	18		
17. Аппараты воздушного охлаждения зигзагообразного типа	24		
18. Материальное оформление аппаратов воздушного охлаждения	29		
19. Зависимость температуры подогрева воздуха от теплопроизводительности при различной производительности вентилятора	30		
20. Зависимость скорости воздуха в узком сечении от производительности вентилятора	33		
21. Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении	36		
22. Зависимость коэффициента теплопередачи (без учета загрязнения) от коэффициента теплоотдачи со стороны воздуха при различных значениях коэффициента теплоотдачи со стороны продукта	44		
23. Зависимость коэффициента теплопередачи (с учетом загрязнения) от коэффициента теплопередачи (без учета загрязнения) при различных значениях фактора загрязнения	47		

Принятые обозначения

$Q$	- количество тепла, переданное в аппарате воздушного охлаждения,	ккал/час
$Q_{пр}$	- количество тепла, отдаваемого продуктом,	ккал/час
$Q_в$	- количество тепла, получаемого охлаждающим воздухом,	ккал/час
$G_{пр}$	- расход охлаждаемого продукта (или смеси),	кг/час
$G_в$	- расход воздуха,	кг/час
$C_p$	- средняя теплоемкость охлаждаемого продукта в интервале температур	ккал/кг.гр.
$C_в$	- средняя теплоемкость воздуха в интервале температур	ккал/кг.гр.
$T_1; T_2; T_{ср}$	- температура охлаждаемого продукта начальная, конечная и средняя,	$^{\circ}C$
$t_1; t_2; t_{ср}$	- температура охлаждающего воздуха начальная, конечная и средняя,	$^{\circ}C$
$\Delta t_0$	- подогрев воздуха, поступающего в вентилятор при нормальных условиях ( $t = 20^{\circ}C$ , $B = 760$ мм.рт.ст.)	$^{\circ}C$
$\Delta t$	- действительный подогрев воздуха,	$^{\circ}C$
$K_{ат}$	- коэффициент, учитывающий изменение температуры воздуха в зависимости от высоты местности над уровнем моря	
$T_{ст.вн.}$	- температура внутренней поверхности стенки трубы,	$^{\circ}C$
$t_{ст.н.}$	- температура наружной поверхности стенки трубы,	$^{\circ}C$
$\theta = \theta_{ср}$	- средний температурный напор	$^{\circ}C$
$\theta_1; \theta_2$	- температурные напоры по концам аппарата,	$^{\circ}C$
$\epsilon_{ат}$	- поправочный коэффициент при однократном перекрестном токе	
$V$	- расход воздуха,	м <sup>3</sup> /час
$W_{уз.}$	- скорость воздуха в узком сечении секций	м/сек
$H_n$	- полный напор, кг/м <sup>2</sup> или мм.вод.ст.	
$N$	- мощность вентилятора, квт	
$\eta_в$	- КПД вентилятора	
$\alpha_{вн.}$	- коэффициент теплоотдачи со стороны продукта внутри труб,	ккал/м <sup>2</sup> час.гр.

$\alpha'_n$	- коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха, отнесенный к гладкой поверхности трубы (по диаметру $d_n$ основания ребер)	ккал/м <sup>2</sup> .час.гр.
$\alpha_n$	- коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха, отнесенный к полной поверхности оребренной трубы,	ккал/м <sup>2</sup> .час.гр.
$\alpha_{нп}$	- коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха, отнесенный к полной поверхности оребренной трубы, учитывающий термическое сопротивление материала стенок трубы и поверхности контакта (в биметаллических трубах),	ккал/м <sup>2</sup> .час.гр.
$K_n$	- коэффициент теплопередачи, отнесенный к гладкой поверхности трубы (по диаметру $d_n$ основания ребер),	ккал/м <sup>2</sup> .час.гр.
$K_e$	- коэффициент теплопередачи, без учета загрязнения,	ккал/м <sup>2</sup> .час.гр.
$K_{нп}$	- коэффициент теплопередачи, отнесенный к полной поверхности оребренной трубы, с учетом загрязнения	ккал/м <sup>2</sup> .час.гр.
$B$	- давление барометрическое,	мм.рт.ст.
$Y$	- высота над уровнем моря,	м
$F_n$	- полная поверхность оребренной трубы,	м <sup>2</sup>
$F_{вн.}$	- поверхность трубы внутренняя,	м <sup>2</sup>
$F_{ср}$	- поверхность трубы по среднему диаметру,	м <sup>2</sup>
$F_n$	- поверхность трубы наружная по диаметру $d_n$ основания ребер,	м <sup>2</sup>
$\frac{F_n}{F_{вн.}} = \psi$	- коэффициент увеличения поверхности	
$\frac{F_n}{F_n} = \varphi$	- коэффициент оребрения	
$\frac{F_n}{F_n} = \varphi_{э}$	- эквивалентное тепловое сопротивление материала стенок трубы и контактной поверхности (в биметаллических трубах),	м <sup>2</sup> .час.гр./ккал
$\varphi_{э.вн.}; \varphi_{э.н.}$	- тепловые сопротивления загрязнений внутреннего и наружного	м <sup>2</sup> .час.гр./ккал
$D$	- наружный диаметр трубы по оребрению, мм	мм
$d_n; d_{вн.}; d_{ср}$	- диаметр трубы: наружный (у основания ребер), внутренний и средний,	мм
$h$	- высота ребра,	мм
$l$	- шаг ребра,	мм
$\delta_{ср}$	- средняя толщина ребра,	мм
$S$	- поперечный шаг труб пучка,	мм

### 1. Уравнение теплового баланса

Количество тепла, переданного в аппарате воздушного охлаждения, определяется из уравнений теплового баланса

$$Q = Q_{np} = Q_{\theta} \quad \text{ккал/час} \quad (1)$$

$$Q_{np} = G_{np} \cdot C_p \cdot (T_1 - T_2) \quad \text{ккал/час} \quad (2)$$

$$Q_{\theta} = G_{\theta} \cdot C_{\theta} \cdot (t_2 - t_1) \quad \text{ккал/час} \quad (3)$$

Здесь:  $Q$  - количество тепла, проходящего через поверхность теплообмена, теплопроизводительность, ккал/час  
 $Q_{np}$  - количество тепла, отдаваемое охлаждаемым продуктом, ккал/час

Уравнение (2) в наиболее общем виде характеризует тепло, отдаваемое охлаждаемым продуктом; в каждом отдельном случае тепло  $Q_{np}$  может являться теплом конденсации, охлаждения паров, газов или жидкостей, входящих в состав охлаждаемого продукта или их совокупностью.

$Q_{\theta}$	- количество тепла, получаемое охлаждающим воздухом,	ккал/час
$G_{np}$	- расход охлаждаемого продукта (или смеси продуктов),	кг/час
$G_{\theta}$	- расход воздуха,	кг/час
$T_1$	- начальная температура охлаждаемого продукта,	°C
$T_2$	- конечная температура охлаждаемого продукта,	°C
$t_1$	- начальная температура охлаждающего воздуха,	°C
$t_2$	- конечная температура охлаждающего воздуха,	°C
$C_p$	- средняя теплоемкость охлаждаемого продукта в интервале температур ( $T_1 - T_2$ ),	ккал/кг.гр.
$C_{\theta}$	- средняя теплоемкость воздуха в интервале температур ( $t_2 - t_1$ ),	ккал/кг.гр.

### 2. Уравнение теплопередачи

Необходимая (расчетная) поверхность теплообмена определяется из уравнения теплопередачи

$$Q = K \cdot \theta_{cp} \cdot F \quad (4)$$

$\theta_{cp}$  - средний температурный напор, °C

$F$  - поверхность теплообмена, м<sup>2</sup>

$K$  - коэффициент теплопередачи, ккал/м<sup>2</sup>.час.гр.

### 3. Коэффициент теплопередачи

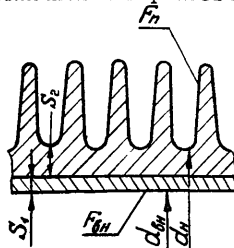
В условиях переноса тепла от продукта, конденсируемого в трубах аппаратов воздушного охлаждения к воздуху, обдуваемому эти трубы снаружи, процесс теплообмена определяется совместным действием конвекции (от продукта к стенкам трубы и от стенок трубы к воздуху) и теплопроводности (через стенку трубы и слой загрязнений). Лучшим решением в условиях сравнительно низких температур воздуха можно пренебречь.

Таким образом конвекция и теплопроводность являются частными условиями общего процесса теплопередачи, количественной, т.е. расчетной характеристикой которого является коэффициент теплопередачи -  $K$  (ккал/м<sup>2</sup>.час.гр.).

В аппаратах воздушного охлаждения поверхность труб, обдуваемая воздухом, выполняется оребренной. Делается это с целью интенсификации теплоотдачи с той стороны, где коэффициент теплоотдачи мал ( $\alpha$  воздуха = 10-50 ккал/м<sup>2</sup>.час.гр. - для гладких труб), по сравнению с коэффициентом теплоотдачи с другой стороны.

Выравнивание теплоотдачи с обеих сторон трубы достигается увеличением с помощью ребер наружной поверхности теплообмена.

Коэффициент теплопередачи в аппаратах воздушного охлаждения может быть отнесен к различной поверхности теплообмена.



Если расчет вести на единицу гладкой поверхности наружной трубы (по диаметру  $d_n$  у основания ребер), расчетное уравнение для коэффициента теплопередачи имеет следующий вид:

$$K_n = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} \cdot \frac{d_n}{d_{вн}} + \tau_3 \cdot \frac{d_n}{d_c} + \frac{1}{\alpha_n} + \tau_{3вн} \cdot \frac{d_n}{d_{вн}} + \tau_{3н}} \quad (5)$$

Если расчет вести на единицу полной поверхности оребренной трубы, расчетное уравнение для коэффициента теплопередачи имеет следующий вид:

$$K_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} \cdot \frac{F_n}{F_{вн}} + \tau_3 \cdot \frac{F_n}{F_{cp}} + \frac{1}{\alpha_n} + \tau_{3вн} \cdot \frac{F_n}{F_{вн}} + \tau_{3н}} \quad (6)$$

Здесь:  $K_n$  - коэффициент теплопередачи отнесенный к гладкой поверхности (по диаметру основания ребер),  $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{°C}}$

$K_{np}$  - коэффициент теплопередачи, отнесенный к полной поверхности оребренной трубы,  $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{°C}}$

$\alpha_{вн}$  - коэффициент теплоотдачи со стороны продукта внутри труб,  $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{°C}}$

$\alpha'_n$  - коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха, отнесенный к поверхности трубы у основания ребер,  $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{°C}}$

$\alpha_n$  - коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха, отнесенный к полной поверхности оребренной трубы,  $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{°C}}$

$d_n, d_m, d_c$  - наружный, внутренний и средний диаметр трубы, м  
 $F_{вн}$  - поверхность трубы внутренняя, м<sup>2</sup>

$F_n$  - полная поверхность оребренной трубы, м<sup>2</sup>

$F_{cp}$  - поверхность трубы по среднему диаметру, м<sup>2</sup>

$\tau_3$  - эквивалентное тепловое сопротивление материала стенок трубы и контактной поверхности (в биметаллических трубах),  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{°C}}{\text{ккал}}$

$\tau_{3вн}$  - тепловое сопротивление загрязнений со стороны продукта,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{°C}}{\text{ккал}}$

$\tau_{3н}$  - тепловое сопротивление загрязнений со стороны воздуха,  $\frac{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{°C}}{\text{ккал}}$

$\frac{F_n}{F_{вн}} = \psi$  - коэффициент увеличения поверхности

$$\tau_3 \cdot \frac{F_n}{F_{cp}} + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{\alpha_{np}} \quad (7)$$

т.е. коэффициент теплопередачи со стороны воздуха  $\alpha_{np}$  включает термическое сопротивление материала стенок трубы и поверхности контакта (в биметаллических трубах).

Тогда:

$$K_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} \psi + \frac{1}{\alpha_{np}} + \tau_{3вн} \psi + \tau_{3н}} \quad (8)$$

В обычных эксплуатационных условиях загрязнения со стороны воздуха отсутствуют, т.е.  $\tau_{3н} = 0$

Тогда:

$$K_{np} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} \psi + \frac{1}{\alpha_{np}} + \tau_{3вн} \psi} \quad (9)$$

Значения величин тепловых сопротивлений загрязнений со стороны продукта (внутри труб) рекомендуется принимать на основе практических данных, накопленных при промышленной эксплуатации аппаратов.

В приложении 5 приведены ориентировочные значения тепловых сопротивлений загрязнений.

При расчете аппаратов воздушного охлаждения необходимо обоснованно выбрать расчетную (проектную) температуру воздуха.

При круглогодичной эксплуатации АВО расчетная температура воздуха должна выбираться на условия получения требуемой температуры охлаждаемого продукта в наиболее жаркий период года в данной местности. При этом рекомендуется выбирать в качестве расчетной среднюю температуру сухого воздуха в 13 часов дня наиболее жаркого месяца в году.

Снижение расчетной температуры воздуха может привести к понижению производительности технологических установок в летнее время.

Однако чрезмерное завышение расчетной температуры воздуха значительно увеличивает капитальные затраты, особенно, в тех случаях, когда по условиям производства допустимы более низкие расчетные температуры.

Для эффективной круглогодичной работы необходимо делать расчет также и для температуры зимнего времени, в том числе и для наименьшей возможной температуры.

Климатические данные для различных местностей СССР приведены в таблице 8. Приложения 3.

На фиг. 39-55 Приложения 3 приведены графики А и Б, построенные на основе обработки статистических суточных температурных данных за период с 1881-1960 г.г.

На графиках А каждому интервалу температур (на оси абсцисс) соответствует (на оси ординат) определенное число часов в году, в течение которых в данной местности имела место температура в пределах взятого интервала. Величина числа часов определяется точкой пересечения с кривой перпендикуляра, выставленного из середины любого рассматриваемого температурного интервала в 5°С.

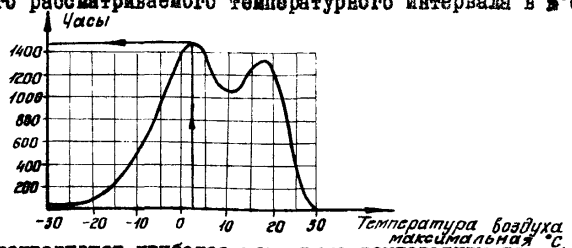
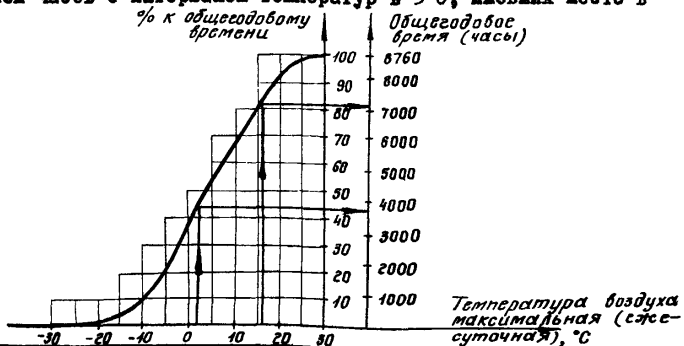


График А характеризует наиболее вероятные температуры для данной местности. График Б получен последовательным суммированием часов с интервалом температур в 5°С, имевших место в



данной местности в течение года (от самой низкой до максимальной температуры). По этим графикам можно определить количество часов в году (или процент общего годового времени), соответствующее любому интервалу температур.

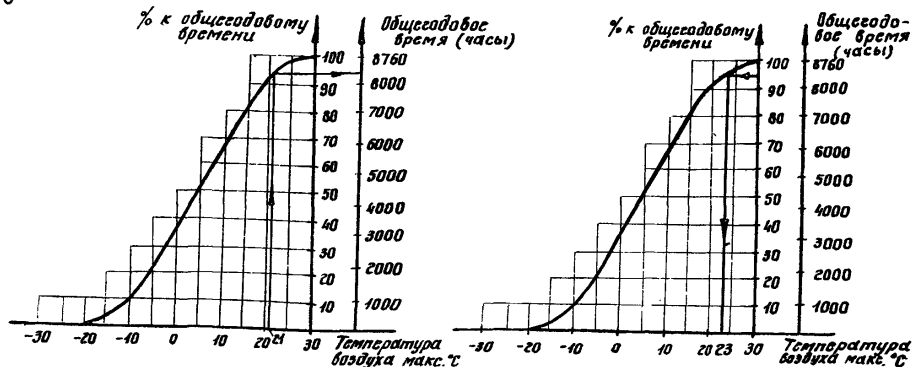
По крайним значениям рассматриваемого интервала температур на оси абсцисс определяются соответствующие значения времени на оси ординат и находится разность этих значений.

По графикам Б можно определить также количество часов в году (или процент общего годового времени), в течение которого в данной местности не превышает любая, наперед заданная температура.

Заданную температуру (чаще всего расчетную летнюю температуру или расчетную температуру в другое время года) находят на оси абсцисс, после чего восстанавливают перпендикуляр до пересечения с кривой и проводят линию до пересечения с осью ординат, находят искомое значение времени. Например, температура 21°С не превышает в данной местности в течение 8200 часов, или 93,5% времени в году.

График может быть использован и при решении обратной задачи — нахождение температуры, не превышаемой в течение наперед заданного количества часов в году (или процента общего годового времени).

Например, в течение 95% общегодового времени температура в данной местности не превышала 23°С.



Можно почти во всех случаях считать достаточной и принимать в качестве расчетной температуру воздуха, охватывающую 95% общегодового рабочего времени в часах.

Средний температурный напор

При расчёте аппаратов воздушного охлаждения, для нахождения теплопередающей поверхности требуется определение среднего температурного напора.

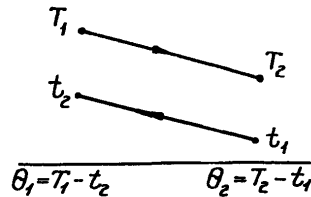
Средний температурный напор, т.е. средняя разность температур теплоносителей по всей поверхности теплообмена зависит от схемы движения теплоносителей.

При движении теплоносителей по противотоку или прямо-току средний температурный напор равен среднелогарифмическому из крайних значений температурного напора и определяется выражением:

$$\theta_{\text{ср}} = \theta = \frac{\theta_1 - \theta_2}{2,303 \lg \frac{\theta_1}{\theta_2}} \quad (10)$$

Здесь:  $\theta_1$  и  $\theta_2$  - температурные напоры по концам аппарата.

В формуле всегда берутся разность и отношение больших и меньших величин.



$T$  - температура горячего (охлаждаемого) потока.

В аппаратах воздушного охлаждения - это температура конденсируемого или охлаждаемого продукта.

$t$  - температура холодного (нагреваемого) потока.

В аппаратах воздушного охлаждения - это температура воздуха.

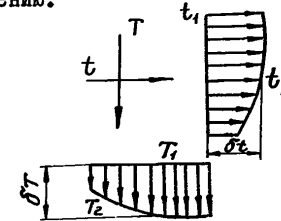
При изменении агрегатного состояния одного из теплоносителей (температура его остается неизменной), что имеет место, например, при конденсации продукта, выражение среднелогарифмического температурного напора приобретает следующий вид

$$\theta = \frac{t_2 - t_1}{2,303 \cdot \lg \frac{\theta_1}{\theta_2}} \quad (11)$$

Наиболее общим случаем для аппаратов воздушного охлаждения является перекрестный ток теплоносителей, при соблюдении общего противоточного направления потоков.

Один из теплоносителей ( конденсируемый и охлаждаемый продукт) движется по трубам, другой (воздух) - общим потоком в межтрубном пространстве.

Наличие поперечного оребрения на трубах препятствует перемешиванию потока в межтрубном пространстве. Это приводит к увеличению температурного напора. При перекрестном токе, начальные температуры теплоносителей  $T_1$  и  $t_1$  постоянны (одинаковы по поперечному сечению потока), конечные же температуры не одинаковы по поперечному сечению.



Вычисление среднего температурного напора при перекрестном токе приводит к сложным математическим формулам, поэтому для наиболее часто встречающихся случаев по этим формулам составлены расчетные графики.

Определение среднего температурного напора производится следующим образом:

Вычисляется среднелогарифмический температурный напор<sup>+</sup> для противоточного аппарата -  $\theta$ , затем вычисляются вспомогательные величины

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{\delta T}{\delta t} \quad (12)$$

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{\delta t}{\Delta t_{\text{расч}}} \quad (13)$$

Примечание:

<sup>+</sup> При отношении  $\frac{\theta_1}{\theta_2} < 17$  (где  $\theta_1$  всегда большая, а  $\theta_2$  всегда меньшая величина), можно пользоваться выражением среднеарифметического температурного напора  $\theta = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$

Погрешность при этом составляет менее 3%.



Здесь:  $\delta T$  - охлаждение первичного (горячего) теплоносителя  
 $\delta t$  - нагрев вторичного (холодного) теплоносителя (воздуха)

$\Delta t_{расч.}$  - располагаемый температурный напор

По этим данным находят поправочные коэффициенты  $\epsilon_{\Delta t}$  умножая которые на значение среднегарифмического температурного напора (при противотоке), получаем средний температурный напор

$$\theta_{ср} = \epsilon_{\Delta t} \cdot \theta \quad (14)$$

На фиг. 31 приведен расчетный график для определения  $\epsilon_{\Delta t}$  при однократном перекрестном токе (один ход продукта) без перемешивания теплоносителей.

При числе ходов от 2-х до 4-х поправочный коэффициент находится по формуле:

$$\epsilon_{\Delta t, n} = \epsilon_{\Delta t, n-1} + \frac{1 - \epsilon_{\Delta t, n-1}}{4} (n-1) \quad (15)$$

Здесь:  $n=2+4$  - число ходов продукта

При большем числе ходов рекомендуется принимать  $\epsilon_{\Delta t} = 1$ , т.е. аппарат рассчитывается как чисто противоточный.

Средние температуры потоков и поверхности стенок труб

Существенное значение для расчета коэффициента теплоотдачи и аэродинамического сопротивления имеет выбор определяющих температур потоков охлаждаемого и охлаждающего теплоносителей, к которым относят физические константы продуктов.

В настоящей методике расчета аппаратов, в соответствии с методикой проводившихся исследований, за определяющую температуру принимаются средние температуры потоков.

Средняя температура охлаждаемого продукта

$$T_{ср} = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (16)$$

Средняя температура воздуха

$$t_{ср} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (17)$$

Температура наружной поверхности стенки трубы

$$t_{ст.н.} = t_{ср} + \frac{K_{нп} \cdot \theta_{ср}}{\alpha_{н}} \quad (18)$$

Температура внутренней поверхности стенки трубы

$$t_{ст.вн.} = T_{ср} - \frac{K_{нп} \cdot \theta_{ср} \cdot \psi}{\alpha_{вн}} \quad (19)$$

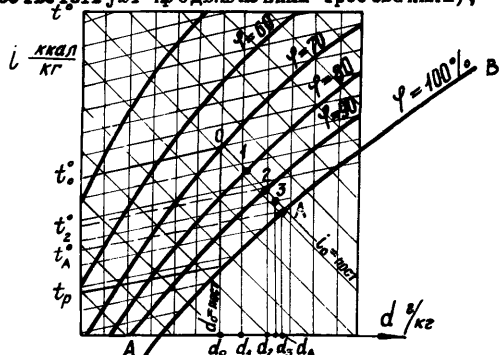
Увлажнение воздуха обычно используется в течение короткого (примерно 5%) периода времени в году, когда температура окружающего воздуха превышает выбранную расчетную температуру по сухому термометру.

При применении увлажнения температура окружающего воздуха снижается на несколько градусов и может достичь температуры влажного термометра.

Увлажнение достигается путем впрыскивания форсунками воды в поток воздуха нагнетаемого вентилятором.

Расчет увлажнения производится по  $i-d$  диаграмме влажного воздуха (Приложение 6, фиг. 68+72).

При увлажнении воздуха, т.е. при распыливании воды в потоке воздуха при определенных условиях (когда температура воздуха, а также температура воды, ее количество и степень распыла соответствуют предъявленным требованиям),



процесс изменения состояния воздуха идет из т.0. (соответствующей воздуху с температурой по сухому термометру  $t_0$ , относительной влажностью  $\varphi = 70\%$  и влагосодержанием  $d_0$ ) при постоянном теплосодержании  $i_0 = \text{const}$ , но с понижением температуры и увеличением относительной влажности.

В зависимости от количества и степени распыла воды состояние воздуха может характеризоваться в  $i-d$  диаграмме точками 1, 2, 3 и т.д. на линии  $i_0 = \text{const}$ . Этим точкам соответствует влагосодержание  $d_1; d_2; d_3$ .

При увеличении относительной влажности до  $\varphi = 100\%$  состояние воздуха характеризуется точкой А, а температура воздуха понижается до  $t_A - t_m$ , т.е. до температуры мокрого термометра. Влагосодержание воздуха при этом возрастает на  $\Delta d = d_A - d_0$  (кг. воды/кг. воздуха).

Таким образом, для увлажнения  $G$  кг. воздуха из состояния т.0. до состояния т.2 (т.е. от  $\varphi = 70\%$  и до  $\varphi = 90\%$ ) потребуется распылить  $G\epsilon(d_2 - d_0)$  кг. воды.

При этом температура воздуха понижается до  $t_2$

Все изложенное выше справедливо, если температура распыливаемой воды равна температуре воздуха по мокрому термометру ( $t_b = t_m$ ).

Если температура воды выше, чем температура воздуха по мокрому термометру ( $t_b > t_m$ ), то процесс изменения состояния воздуха идет с повышением его теплосодержания (т.е. в  $i-d$  диаграмме по линиям лежащим выше линии  $i_0 = \text{const}$ ).

Если температура воды ниже, чем температура воздуха по мокрому термометру ( $t_b < t_m$ ), то процесс изменения состояния воздуха идет с понижением его теплосодержания (т.е. в  $i-d$  диаграмме по линиям лежащим ниже линии  $i_0 = \text{const}$ ).

В проектных расчетах; если заранее не известна температура воды ( $t_b$ ) расходуемой на увлажнение воздуха, следует принимать  $t_b = t_m$ .

В процессе эксплуатации, в зависимости от истинной температуры воды и качества распыла, расход воды на увлажнение может быть увеличен или уменьшен.

Качество воды, поступающей на увлажнение должно отвечать следующим требованиям:

- $5,0 \leq \text{pH} \leq 8,5$
- ионов железа не более 0,3 мг/л
- ионов меди не более 0,3 мг/л
- щелочных сульфидов не более 500 мг/л
- общая жесткость 0,5 мг.экв/л
- отсутствие взвесей твердых веществ и микроорганизмов

Коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха

Коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха определяется по графикам фиг. 16+23, построенным на основании зависимостей, полученных в результате экспериментальных исследований.

Коэффициент теплоотдачи  $\alpha_{\text{вл}}$  включает термическое сопротивление материала стенок трубы и поверхности контакта (в биметаллических трубах).

Для каждого типа трубы, отличающейся материальным оформлением или геометрическими параметрами приведены свои графики, в каждом случае соответствующие различным значениям средней температуры потока воздуха ( $5^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $50^{\circ}\text{C}$  и  $100^{\circ}\text{C}$ ), являющейся определяющей температурой при проведении исследований.

Аэродинамическое сопротивление

Аэродинамическое сопротивление аппаратов воздушного охлаждения определяется по графикам, построенным на основании зависимостей, полученных в результате экспериментальных исследований.

Полный напор, определяемый по графикам фиг. 32, 33 включает статический и динамический напоры.

Для каждого типа трубы, отличающейся геометрическими параметрами ребрения приведены свои графики в каждом случае соответствующие различному числу рядов труб в секции (4, 6 и 8) и различным значениям средней температуры потока воздуха ( $5^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $50^{\circ}\text{C}$  и  $100^{\circ}\text{C}$ ), являющейся определяющей температурой при проведении исследований.

Потребляемая мощность

Мощность привода аппаратов воздушного охлаждения определяется по следующей формуле:

$$N = \frac{V \cdot H_n}{102 \cdot \eta_v \cdot \eta_p} \quad (23)$$

Здесь:  $N$  - потребляемая мощность, кВт

$V$  - расход воздуха, м<sup>3</sup>/сек

$H_n$  - полный напор вентилятора, кг/м<sup>3</sup> (мм.вод.ст.)

$$H_n = H_{ст.} + H_d.$$

$H_{ст.}$  - статический напор вентилятора, кг/м<sup>2</sup> (мм.вод.ст.)

$H_d$  - динамический напор вентилятора, кг/м<sup>2</sup> (мм.вод.ст.)

$\eta_v$  - КПД вентилятора (определяется по графикам)

$\eta_p$  - КПД редуктора

Потребляемая мощность для аппаратов горизонтального и зигзагообразного типов определяется по номограммам (фиг. 35, 36) для аппаратов малопоточного типа по графику фиг. 34.

Расчет годового расхода электроэнергии  
на привод вентилятора

Аппараты воздушного охлаждения укомплектовываются электродвигателями различной мощности, выбираемыми по максимальным расчетным нагрузкам.

Потребляемая мощность всегда меньше мощности установочной.

Коэффициент использования установочной мощности

$$\eta = \frac{N_{\text{факт}}}{N_{\text{уст.}}} \quad (20)$$

Здесь:  $N_{\text{факт}}$  - среднее годовое значение мощности затрачиваемой на привод вентилятора, кВт

$N_{\text{уст.}}$  - установочная мощность электродвигателя, кВт

Как правило  $\eta = 0,3 \div 0,5$

Годовой расход электроэнергии

$$M = N_{\text{факт}} \cdot \eta = N_{\text{уст.}} \cdot \eta \cdot \eta \quad (21)$$

Здесь:  $M$  - годовой расход электроэнергии, кВт час

$\eta$  - годовое время работы аппарата, часы

Годовой расход электроэнергии может быть определен также с помощью графиков А и Б (фиг.39+55 Приложение 3).

Определяя по ним продолжительность в часах всех температур, имеющих место в данной местности, можно оценить количество часов, в течение которых аппарат воздушного охлаждения будет работать как на расчетном, так и на нерасчетном режимах.

Исходя из этих данных могут рассчитываться и строиться графики различных вариантов регулирования производительности вентиляторов, обеспечивающих получение заданных температур продукта.

Для каждого режима определяется производительность вентилятора и, следовательно, мощность затрачиваемая на его привод.

Тогда годовой расход электроэнергии определяется по выражения

$$M = \sum N_{\text{ф.}i} \eta_i = N_{\text{ф.}1} \cdot \eta_1 + N_{\text{ф.}2} \cdot \eta_2 + \dots + N_{\text{ф.}n} \cdot \eta_n \quad (22)$$

Здесь:  $N_{\text{ф.}i}$  фактическое значение мощности, затрачиваемой на привод вентилятора в течение времени,  $\eta_i$ , *кВт*.

$\eta_i$  - время за год соответствующее работе вентилятора при мощности  $N_{\text{ф.}i}$ , часы

При использовании плавного, бесступенчатого регулирования с помощью автоматического поворота лопастей вентилятора, расход электроэнергии значительно сократится. Суммарная потребляемая мощность в этом случае должна рассчитываться в соответствии с годовым графиком температур воздуха (с учетом среднесуточного изменения температуры).

Данные, необходимые для расчёта аппаратов воздушного охлаждения

Для выполнения расчёта должны быть заданы величины, характеризующие свойства охлаждаемого продукта и физические условия процесса охлаждения (расходы, рабочие и расчетные температуры и давления, потери давления (напора) охлаждаемого продукта, скорости, условия пуска, работы и остановок и т.п.).

Для расчёта необходимы следующие данные:

1. Количество (расход) охлаждаемого продукта,  $G$  кг/час
2. Температура начала и конца охлаждения продукта  
 $T_1$  и  $T_2$  °C

3. Количество передаваемого тепла,  $Q$  ккал/час

4. Место установки аппарата с указанием высоты расположения над уровнем моря.

Присутствие влаги в атмосфере расчётом не учитывается. Для заданной величины поверхности теплообмена, расхода воздуха и тепловой нагрузки присутствие влаги снижает повышение температуры воздуха и тем самым повышает средний температурный напор, т.е. создаст дополнительный запас к расчетной поверхности теплообмена.

5. Давление охлаждаемого продукта -  $P$  кг/см<sup>2</sup> и допускаемая потеря напора в трубах  $\Delta P$  мм. кг/см<sup>2</sup> или мм.вод.ст. Значение рабочего давления особенно существенно при охлаждении газов и паров, свойства которых зависят от давления.

При прочих равных условиях увеличение допустимых потерь напора приводит к увеличению коэффициента теплопередачи, обуславливаемого ростом скорости продукта в трубах. Это особенно существенно для жидкостей с малым коэффициентом теплоотдачи (более вязкие продукты).

Располагая данными о допустимых потерях напора производят компоновку трубного пространства аппарата.

Может осуществляться последовательное и параллельное соединение секций и аппаратов между собой.

6. Химический состав охлаждаемого продукта

Зная состав охлаждаемого продукта по табл.7 выбирается тип материального оформления, характеризуемый материалом труб и соответствующими материалами трубных решеток и крышек секций.

Порядок расчёта аппарата воздушного охлаждения

Расчет выполняется методом последовательного приближения.

1. Выбирается величина теплонапряженности аппаратов воздушного охлаждения, отнесенная к обрешеченной поверхности,  $q$  ккал/м<sup>2</sup>.час  
Для всех типов аппаратов  $q = 1000-1800$  ккал/м<sup>2</sup>.час. \*)

Большая величина теплонапряженности соответствует большим значениям  $(T_1 - t_1)$  и  $(T_2 - t_2)$

2. Определяется необходимая теплопередающая поверхность

$$F = \frac{Q}{q}, \text{ м}^2$$

3. По табл. 147 в соответствии с полученным значением поверхности подбирается конкретный аппарат воздушного охлаждения. (Тип, материальное оформление, давление, коэффициент обрешеченной труб- $\psi$ , коэффициент увеличения поверхности- $\chi$ , количество рядов труб в секции, количество ходов по трубам).

4. Задается объемный расход воздуха- $V$  м<sup>3</sup>/час, назначаемого осевым вентилятором. Расчетный режим  $(V; H)$  определяется точкой пересечения характеристики осевого вентилятора и сети (секций).

Характеристики вентиляторов приведены на фиг. 2,5,6,8,9. Характеристики соответствуют воздуху при нормальных условиях (20°C, 760 мм.рт.ст.).

Большие расходы воздуха приводят к увеличению расхода электроэнергии и сокращению поверхности аппаратов. С увеличением температуры охлаждаемого продукта расход воздуха может быть уменьшен.

5. Определяется повышение температуры воздуха  $\Delta t_0$  (при нормальных условиях  $t = 20^\circ\text{C}$ ,  $B = 760$  мм.рт.ст.) по графику фиг. 10, 11.

6. Определяется поправочный коэффициент к величине  $\Delta t$  в зависимости от высоты местности над уровнем моря (барометрического давления) и температуры окружающего воздуха  $K_{at}$  по графику фиг. 12.

7. Определяется повышение температуры воздуха для данных условий.

$$\Delta t = \Delta t_0 \cdot K_{at}$$

\*) При особо низких температурных напорах  $(T_2 - t_2 \leq 5^\circ\text{C})$  теплонапряженность может иметь значение  $q \leq 200$ .

8. Определяется расчетная температура воздуха на входе в аппарат -  $t_1$ , соответствующая данной местности.

Климатологические данные приведены в Приложении 3

9. Определяется температура воздуха на выходе из аппарата

$$t_2 = t_1 + \Delta t$$

10. Определяется средняя температура воздуха

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

11. Определяется скорость воздуха в узком (сжатом) сечении -  $w_y = f(v, t_{cp})$  по графикам 13, 14, 15

12. Определяется коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха  $\alpha_{вн} = f(w_y, t_{cp})$  по графикам фиг. 16 ÷ 23

13. Коэффициент теплоотдачи со стороны продукта (внутри труб) -

$\alpha_{вн}$ ,  $\frac{ккал}{м^2 \cdot час \cdot ^\circ C}$  определяется по известным формулам, применяемым для расчета других видов теплообменных аппаратов (Приложение 1, Литература 13, 15, 18, 22)

Физические свойства воздуха и некоторых продуктов указаны в Приложении 4

14. Определяется коэффициент теплопередачи без учета загрязнения  $K_2 = f(\alpha_{вн}, \frac{\psi}{\alpha_{вн}})$  по графикам фиг. 24, 25, 26

$\frac{\psi}{\alpha_{вн}}$  - подсчитывается для выбранного типа оребренных труб и полученного значения  $\alpha_{вн}$

15. Определяется коэффициент теплопередачи с учетом загрязнения  $K_{гр} = f(K_2, z_{гр} \cdot \psi)$  по графикам фиг. 27, 28, 29

$z_{гр} \cdot \psi$  - подсчитывается для выбранного типа оребренных труб и принятого теплового сопротивления загрязнения внутри труб.

Значения теплового сопротивления загрязнения внутри труб для некоторых продуктов даны в Приложении 5

16. Определяется средне-логарифмический температурный напор  $\theta$ , расчетом или по номограмме фиг. 30

17. Определяется поправочный коэффициент  $\epsilon_{от}$  по графику фиг. 31 и формуле 15

С помощью вспомогательных величин  $R$  и  $P$ , которые находятся по формулам 12, 13

18. Определяется средний температурный напор

$$\theta_{cp} = \theta \cdot \epsilon_{от}$$

19. Определяется расчетная поверхность теплообмена

$$F_p = \frac{Q}{K_{вн} \cdot \theta_{cp}}, \text{ м}^2$$

20. Определяется запас поверхности теплообмена

$$n = \frac{F \cdot F_p}{F_p} \cdot 100\%$$

где  $F$  - поверхность выбранного аппарата воздушного охлаждения

При расхождении  $F_p$  и  $F$  производится расчет во втором приближении.

При этом можно зарыировать расходом воздуха, количеством тепла, передаваемого одним аппаратом и др.

Дальнейший расчет аппарата воздушного охлаждения ведется после достижения удовлетворительной сходимости между  $F_p$  и  $F$

21. Определяется полный аэродинамический напор секций аппарата  $H_a = f(w_y, t_{cp})$  по графикам фиг. 32, 33

22. Определяется потребляемая мощность  $N$  по номограммам фиг. 34, 35, 36

КПД осевых вентиляторов определяется по графикам фиг. 2, 6, 8, 9

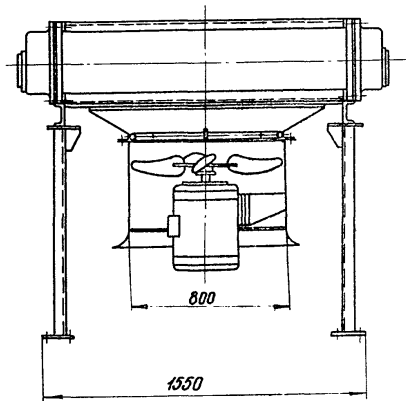
23. Расчет увлажнения воздуха при необходимости производится с помощью диаграммы  $i-d$

Приложения 6

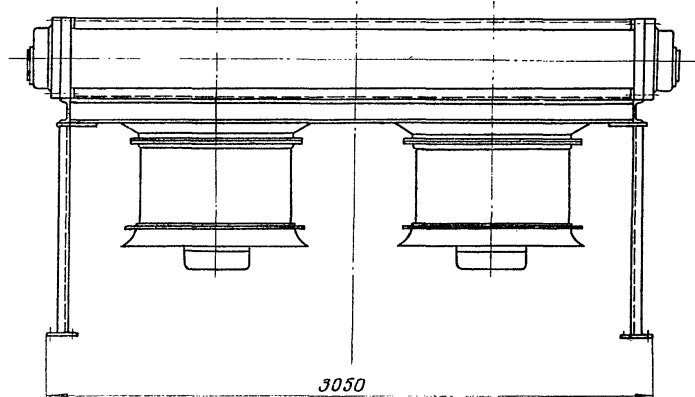
Тепловой расчет аппаратов воздушного охлаждения может быть упрощен при использовании практических значений коэффициентов теплопередачи, величины которых для некоторых сред приведены в Приложении 7.

Аппараты воздушного охлаждения маломощного типа.

с трубами длиной 1,5 м



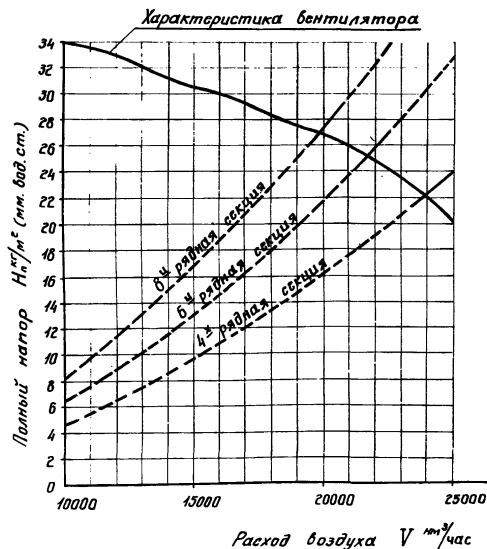
с трубами длиной 3 м.



Фиг. 1

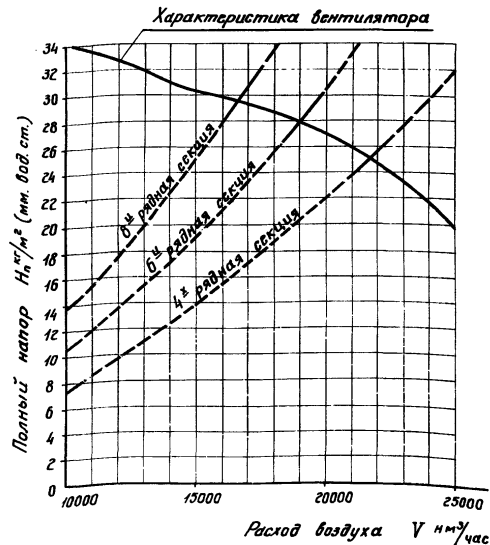
Аэродинамическая характеристика секций и осевого вентилятора

Тип вентилятора 06-320 N<sup>2</sup>В  
 Диаметр колеса 800 мм  
 Число лопастей 4 шт.  
 Скорость вращения 1440 об/мин.



Аппараты с коэффициентом обрешетки труб 9.

Фиг. 2



Аппараты с коэффициентом обрешетки труб 14,6.



## Аппараты воздушного охлаждения малопоточного типа.

Количество труб, площадь сечения и поверхность теплообмена

(Коэффициент оребрения труб 9).

Таблица 1

Число рядов труб	Число ходов по трубам	Общее количество труб	Количество труб на один ход								Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>				Внутренний диаметр труб, мм	Площадь сечения (f) одного хода (средняя) 10 <sup>3</sup> · f, м <sup>2</sup>
			Номера ходов								Наружная (кв.внешняя)		Внутренняя			
			1	2	3	4	5	6	7	8	При длине труб, м					
											1,5	3	1,5	3,0		
4	1	94	94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	32,6
	2		47	47	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	35,7
	4		12	24	9	18	105	220	10	19	21	16,3				
			24	23	24	23	—	—	—	—	22	17,9				
6	1	141	141	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	46,8	
	2		71	70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	53,6	
	3		18	36	14	28	160	325	15	29	21	24,3				
			47	47	47	—	—	—	—	—	22	26,8				
			24	23	24	23	24	23	—	—	21	16,3				
6	—	—	—	—	—	—	—	22	17,9							
8	1	188	188	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	65,1	
	2		94	94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	71,5	
	4		24	48	19	37	24	48	20	38	21	32,6				
			47	47	47	47	—	—	—	—	22	35,7				
			24	23	24	23	24	23	24	23	21	16,3				
8	—	—	—	—	—	—	—	22	17,9							
8	—	—	—	—	—	—	—	21	8,1							
8	—	—	—	—	—	—	—	22	8,9							

Примечания: 1. Действительная наружная поверхность теплообмена аппарата может отличаться от номинальной на ±5%.

2. В верхней строке указана наружная поверхность теплообмена по гладкой поверхности у основания рёбер, в нижней — по оребренной поверхности. Внутренняя поверхность теплообмена для биметаллических труб указана в верхней строке, для монометаллических — в нижней.

Аппараты воздушного охлаждения малопоточного типа.

Количество труб, площадь сечения и поверхность теплообмена.

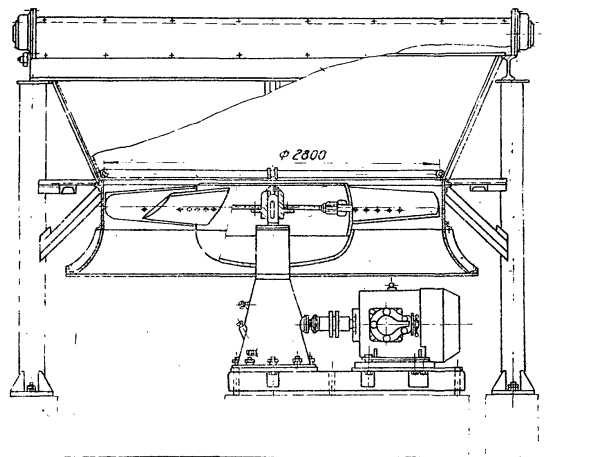
(Коэффициент оребрения труб 14,6).

Таблица 2

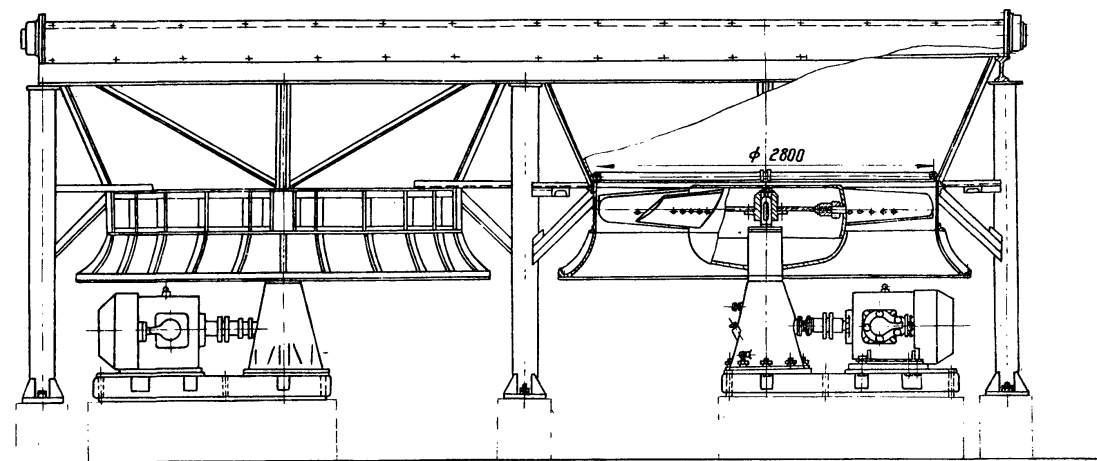
Число рядов труб	Число ходов по трубам	Общее количество труб	Количество труб на один ход								Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>				Внутренний диаметр труб, мм	Площадь сечения (f) одного хода / средняя / 10 <sup>3</sup> , м <sup>2</sup>					
			Номера ходов								Наружная (номинальная)		Внутренняя								
			1	2	3	4	5	6	7	8	При длине труб, м										
											1,5	3	1,5	3							
4	1	82	82	—	—	—	—	—	—	—	10	21	8	16	21	28,4					
	2		41	41	—	—	—	—	—	—					22	31,2					
	4		21	20	21	20	—	—	—	—					150	310	8,5	16,5	21	14,2	
6	1	123	123	—	—	—	—	—	—	—	16	32	12	24	22	15,6					
	2		62	61	—	—	—	—	—	—					21	7,1					
	3		41	41	41	—	—	—	—	—					22	7,8					
	6		21	20	21	20	21	20	—	—					22	7,8					
8	1	164	164	—	—	—	—	—	—	—	21	42	16	32,5	21	23,3					
	2		82	82	—	—	—	—	—	—					22	23,4					
	4		41	41	41	41	—	—	—	—					22	14,2					
	8		21	20	21	20	21	20	21	20					—	300	600	17	33	21	15,6
			22	7,8																	

Примечания: 1. Действительная наружная поверхность теплообмена аппарата может отличаться от номинальной на ±5%.  
2. В верхней строке указана наружная поверхность теплообмена по гладкой поверхности у основания ребер, в нижней — по оребренной поверхности. Внутренняя поверхность для биметаллических труб указана в верхней строке, для монометаллических — в нижней.

Аппарат воздушного охлаждения горизонтального  
типа с трубами длиной 4 м.



Аппарат воздушного охлаждения горизонтального типа  
с трубами длиной 8 м.

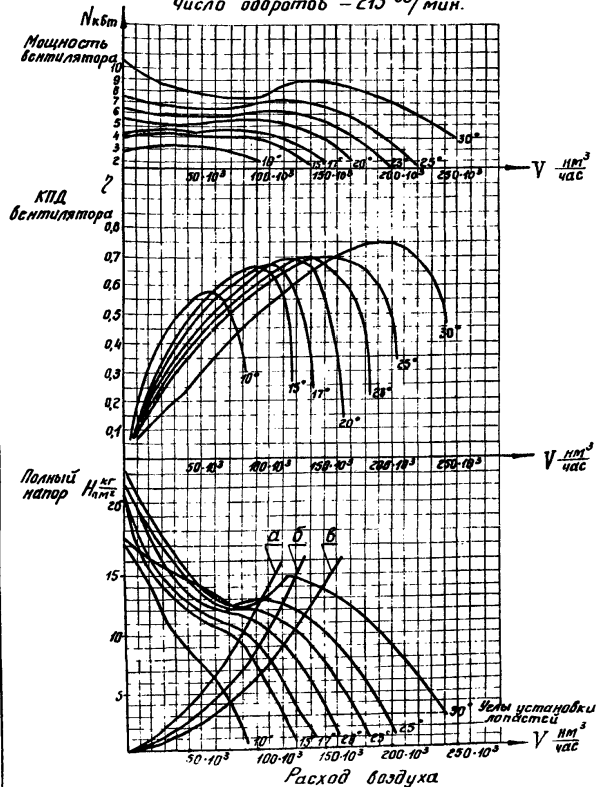


фиг. 4

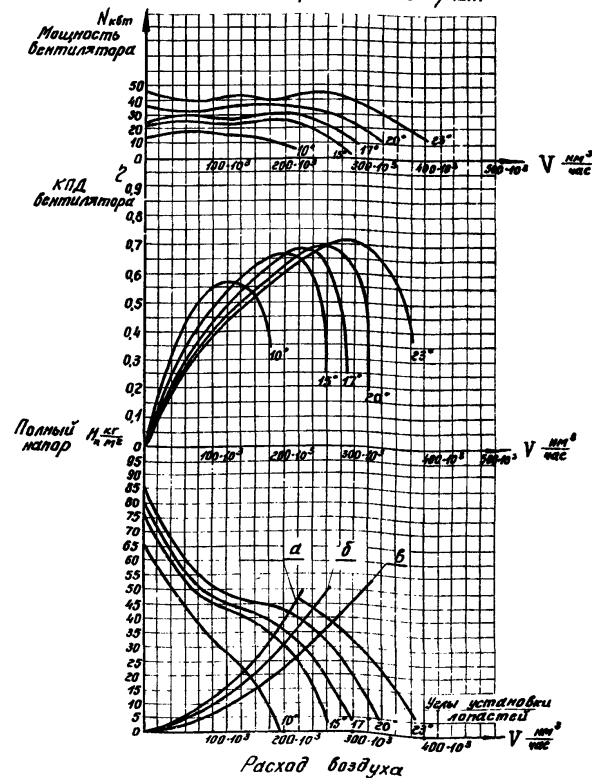
Аэродинамическая характеристика вентилятора и секций с трубами  $\varphi=9$  аппаратов воздушного охлаждения горизонтального типа

Тип колеса ЦАГИ УК-2М  
Диаметр колеса - 2800 мм  
Число лопастей - 8

Число оборотов - 213 об/мин.



Число оборотов - 425 об/мин.



а - для 8<sup>й</sup> рядной секции  
б - для 6<sup>й</sup> рядной секции  
в - для 4<sup>й</sup> рядной секции

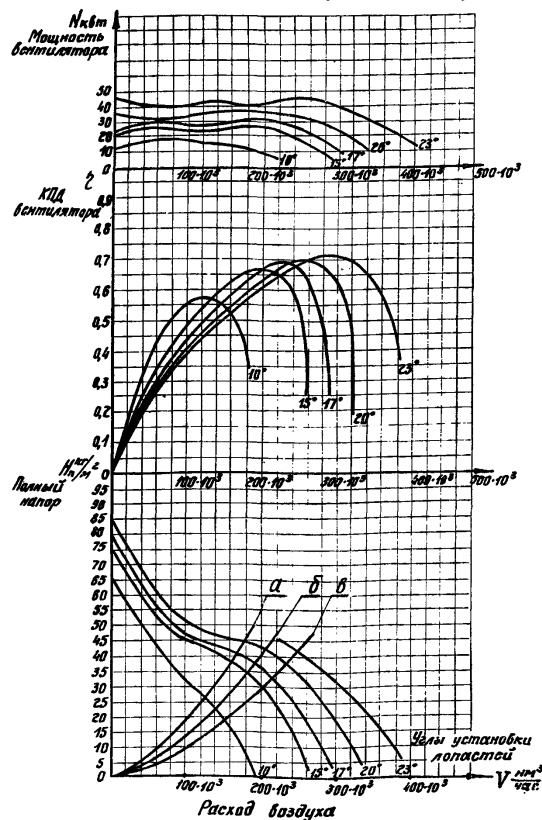
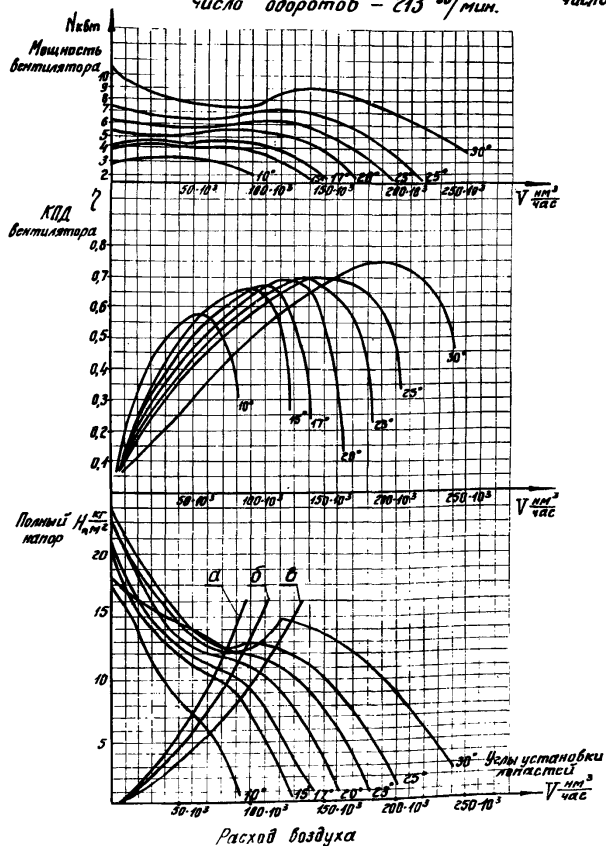
Фиг. 5

Аэродинамическая характеристика вентилятора и секций с трубами  $\Psi = 14,6$  аппаратов воздушного охлаждения горизонтального типа.

Тип колеса ЦАГИ УК-2М  
Диаметр колеса - 2800 мм  
Число лопастей - 8

Число оборотов - 213 об/мин.

Число оборотов - 425 об/мин.



а - для 8<sup>й</sup> рядной секции  
б - для 6<sup>й</sup> рядной секции  
в - для 4<sup>й</sup> рядной секции

Фиг. 6

Аппараты воздушного охлаждения горизонтального типа.

Количество труб, площадь сечения и поверхность теплообмена  
(Коэффициент оребрения труб 9)

Таблица 3

Число рядов труб	Число ходов по трубам	Общее количество труб		Количество труб на один ход														Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>								Диаметр труб, мм	Площадь сечения (f) одного хода (средняя) 10 <sup>3</sup> ·f, м <sup>2</sup>																	
				в секции							в аппарате							при длине труб 4000 мм				при длине труб 8000 мм																						
				Номера ходов														наружная (номинальная)		внутренняя		наружная (номинальная)		внутренняя																				
				1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	сек-ции	аппа-рата	сек-ции	аппа-рата	сек-ции	аппа-рата				сек-ции	аппа-рата														
4	1	94	282	94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	282	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	32	97	25	75	86	197	50	150	21	32,6	97,8				
	2			47	47	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	141	141	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	35,7	107,1							
	4			24	23	24	23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	72	69	72	69	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	16,3	48,9							
																																			22	17,9	53,7							
																																		21	8,1	24,3								
																																		22	8,9	26,7								
6	1	141	423	141	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	423	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	49	147	37	111	88	285	74	222	21	48,8	146,4
	2			71	70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	213	210	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	53,6	160,8							
	3			47	47	47	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	141	141	141	141	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	24,3	72,9							
	6			24	23	24	23	24	23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	72	69	72	69	72	69	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	26,8	80,4						
																																		22	16,3	48,9								
																																		22	17,9	53,7								
																																		24	8,1	24,3								
																																		22	8,9	26,7								
8	1	188	564	188	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	564	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	65	194	50	150	130	390	100	300	21	65,1	195,3
	2			94	94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	282	282	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	71,5	214,5						
	4			47	47	47	47	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	141	141	141	141	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	32,6	97,8						
	8			24	23	24	23	24	23	24	23	24	23	24	23	24	23	24	72	69	72	69	72	69	72	69	72	69	72	69	72	69	72	69	72	22	35,7	107,1						
																																			21	16,3	48,9							
																																			22	17,9	53,7							
																																			21	8,1	24,3							
																																			22	8,9	26,7							

Примечания: 1. Действительная наружная поверхность теплообмена секций и аппаратов может отличаться от номинальной на ±5%.

2. В верхней строке указана наружная поверхность теплообмена по гладкой поверхности у основания рёбер, в нижней — по оребренной. Внутренняя поверхность теплообмена для bimеталлических труб указана в верхней строке, для monometаллических — в нижней.

Аппараты воздушного охлаждения горизонтального типа

Количество труб, площадь сечения и поверхность теплообмена.

(Коэффициент оребрения труб 14,6).

Таблица 4

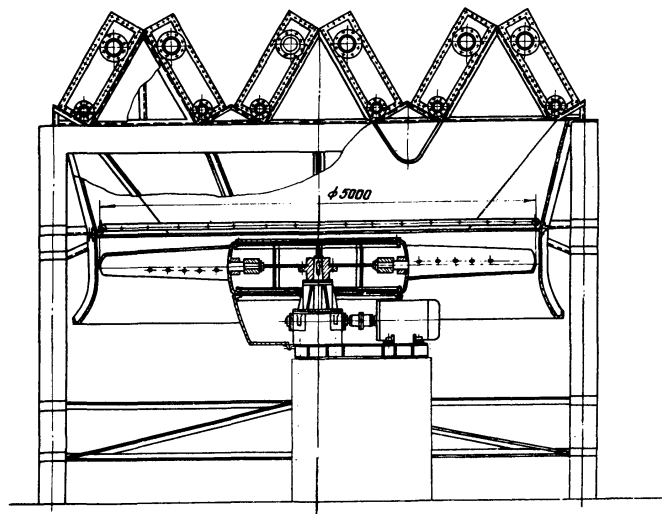
Число рядов труб	Число ходов по трубам	Общее количество труб		Количество труб на один ход														Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>								Внутренний диаметр труб, мм	Площадь сечения (f) одного хода (средняя) 40 <sup>3</sup> · f, м <sup>2</sup>		
				в секции							в аппарате							при длине труб 4000 мм				при длине труб 8000 мм							
				Номера ходов														наружная (номинальная)		внутренняя		наружная (номинальная)		внутренняя					
				1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	сек-ции	аппа-рата	сек-ции	аппа-рата	сек-ции	аппа-рата				сек-ции
4	1	82	246	82	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	28,4	85,2
	2			41	41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	28	85	22	66	57	170	43	130	22	31,2	93,6
	4			21	20	21	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	445	1250	23	70	830	2500	45	135	21	14,2	42,6
	4			21	20	21	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	63	60	63	60	—	—	—	—	22	15,6	46,8
6	1	123	369	123	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	42,6	127,8	
	2			62	61	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	43	129	32	96	85	255	65	195	22	46,7	140,1	
	3			41	41	41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	820	1870	34	102	1265	3800	67	202	21	21,5	64,5	
	6			21	20	21	20	21	20	—	—	—	—	—	—	—	—	63	60	63	60	63	60	—	—	22	23,6	70,8	
8	1	164	492	164	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	56,8	170,4	
	2			82	82	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	57	170	43	129	114	342	87	260	22	62,3	186,4	
	4			41	41	41	41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	830	2500	45	135	1700	5100	89	268	21	28,4	85,2	
	8			21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	63	60	63	60	63	60	63	60	22	31,2	93,6	
8	8	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	63	60	63	60	63	60	63	60	21	14,2	42,6			
8	8	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	63	60	63	60	63	60	63	60	22	15,6	46,8			
8	8	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	63	60	63	60	63	60	63	60	21	7,1	21,3			
8	8	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	21	20	63	60	63	60	63	60	63	60	22	7,8	23,4			

Примечания: 1. Действительная наружная поверхность теплообмена секций и аппаратов может отличаться от номинальной на ±5%.

2. В верхней строке указана наружная поверхность теплообмена по гладкой поверхности у основания рёбёр, в нижней — по оребрённой. Внутренняя поверхность теплообмена для диметаллических труб указана в верхней строке, для монометаллических — в нижней.



Аппарат воздушного охлаждения зигзагообразного типа.



Фиг. 7

Аэродинамическая характеристика  
 вентилятора и секций с трубами  $\Phi = 9$  аппарата  
 воздушного охлаждения зигзагообразного типа.

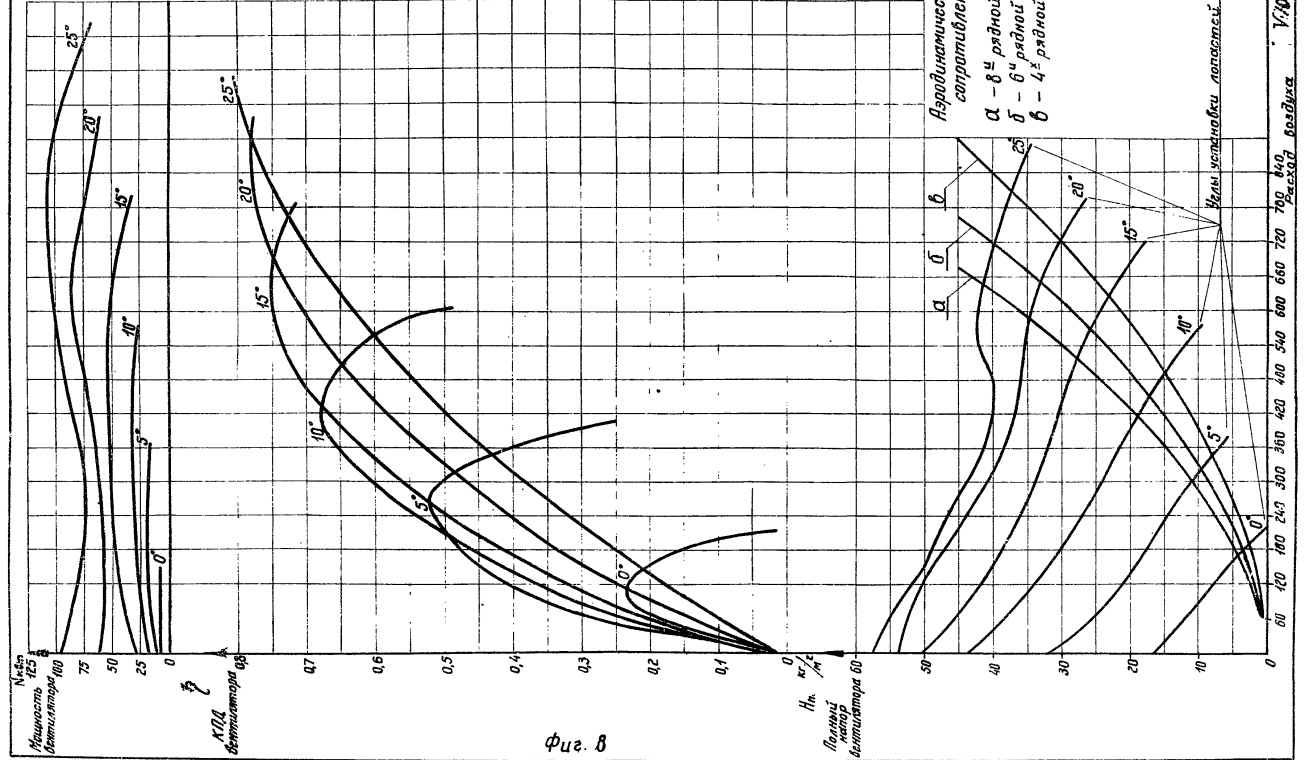
Методика теплового и аэродинамического  
 расчёта аппаратов воздушного охлаждения

Лист 25

Тип колеса ЦАГИ УК-2М  
 Диаметр колеса - 5000 мм  
 Число лопастей - 4  
 Число оборотов - 250 об/мин.

Аэродинамические  
 сопротивления:

- $\alpha$  - 8<sup>ч</sup> рядной секции
- $\beta$  - 6<sup>ч</sup> рядной секции
- $\delta$  - 4<sup>ч</sup> рядной секции



Фиг. 8

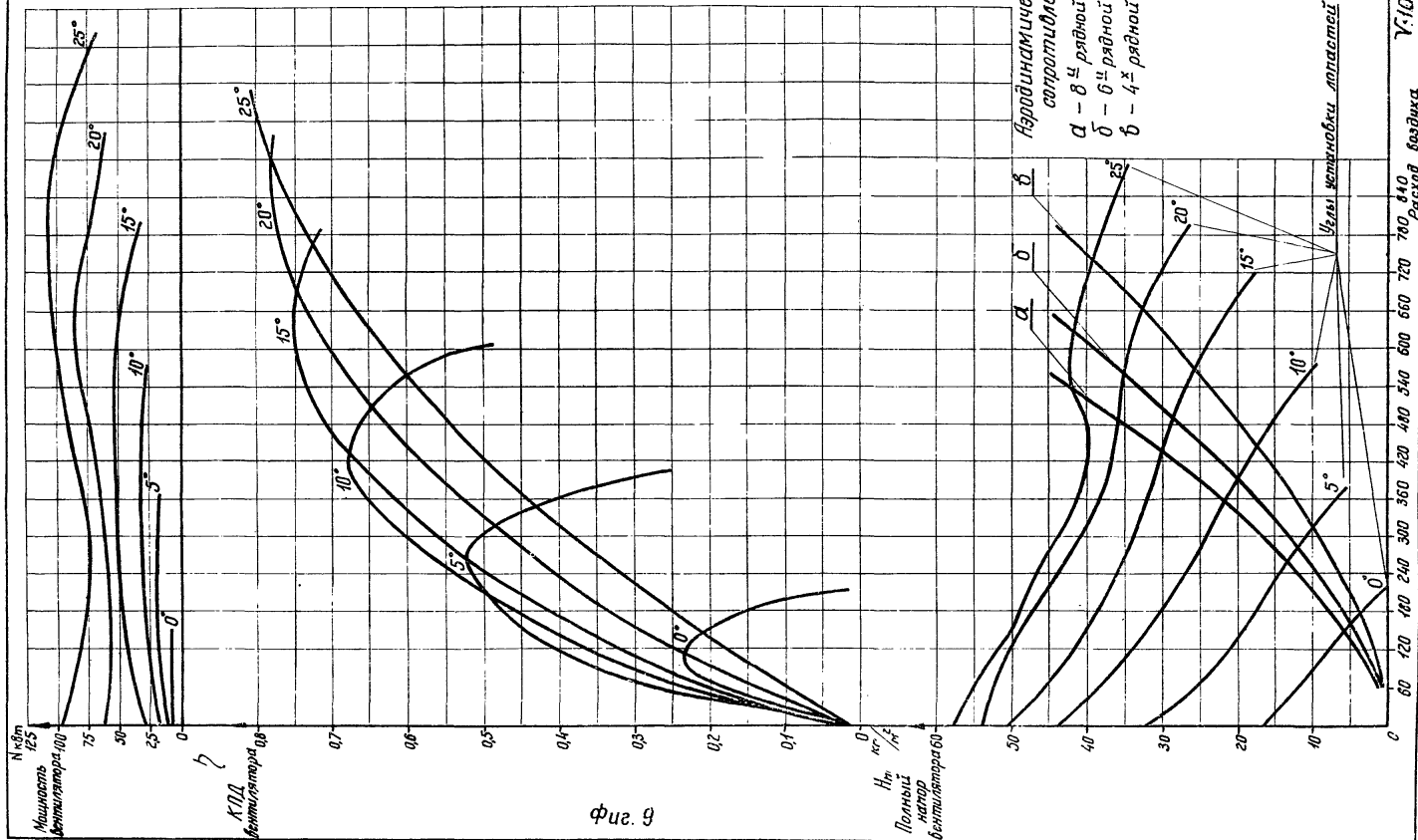
Аэродинамическая характеристика  
вентилятора и секций с трубами  $\Psi = 14,6$  аппаратов  
воздушного охлаждения зигзагообразного типа

Методика теплового и аэродинамического  
расчёта аппаратов воздушного охлаждения

Лист 26

Тип колеса ЦАГИ УК-2М  
Диаметр колеса - 5000 мм  
Число лопастей - 4  
Число оборотов - 250 об/мин.

Аэродинамические  
сопротивления:  
 $\alpha$  - 8-рядной секции  
 $\delta$  - 6-рядной секции  
 $\beta$  - 4-рядной секции



1:1

Расход воздуха

0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200 220 240 260 280 300 320 340 360 380 400 420 440 460 480 500 520 540 560 580 600 620 640 660 680 700 720 740 760 780 800 820 840 860 880 900 920 940 960 980 1000

0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0 3,2 3,4 3,6 3,8 4,0 4,2 4,4 4,6 4,8 5,0 5,2 5,4 5,6 5,8 6,0 6,2 6,4 6,6 6,8 7,0 7,2 7,4 7,6 7,8 8,0 8,2 8,4 8,6 8,8 9,0 9,2 9,4 9,6 9,8 10,0

Аппараты воздушного охлаждения зигзагообразного типа.

Количество труб, площадь сечения и поверхность теплообмена.

(Коэффициент оребрения труб 9)

Таблица 5

Число рядов труб	Число ходов по трубе	Общее количество труб		Количество труб на один ход																Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>				Внутренний диаметр труб, мм	Площадь сечения ходов (средняя) м <sup>2</sup>																			
				в секции								в аппарате								наружная (номинальная)		внутренняя																						
				Номера ходов																секции аппарата		секции аппарата																						
				1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8								секции	аппарата	секции	аппарата														
4	1	94	564	94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	564	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50	300	37	220	21	32,6	198,6							
	2			48	46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	288	276	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—	—	—	22	35,7	214,2			
	4			24	24	24	22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	144	144	144	132	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—	—	—	21	10,3	97,8			
	8			12	12	12	12	12	12	12	10	72	72	72	73	72	72	72	60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—	—	—	—	22	17,9	107,4		
6	1	141	846	141	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	846	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	73	440	55	330	21	48,8	292,6				
	2			75	66	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	430	396	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	22	53,6	321,6			
	4			36	36	36	33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	216	216	216	198	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—	21	24,4	146,4		
	6			18	18	18	18	18	18	18	15	108	108	108	108	108	108	90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—	22	26,8	160,8		
8	1	188	1128	188	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1128	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	98	590	73	440	21	65,1	390,6			
	2			96	92	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	576	552	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	22	74,5	429,0		
	4			48	48	48	44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	288	288	288	264	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—	21	32,6	198,6	
	8			24	24	24	24	24	24	24	20	144	144	144	144	144	144	120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—	22	35,7	214,2	
8	1	188	1128	188	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1128	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	98	590	73	460	21	65,1	390,6		
	2			96	92	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	576	552	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	22	74,5	429,0	
	4			48	48	48	44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	288	288	288	264	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—	21	32,6	198,6
	8			24	24	24	24	24	24	24	20	144	144	144	144	144	144	120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—					—	—	22	35,7	214,2

- Примечания: 1. Действительная наружная поверхность теплообмена секций и аппаратов может отличаться от номинальной на ±5%.
2. В верхней строке указана наружная поверхность теплообмена по гладкой поверхности у основания ребер, в нижней — по оребренной поверхности. Внутренняя поверхность теплообмена для диметаллических труб указана в верхней строке, для моноталлических — в нижней.

Аппараты воздушного охлаждения зигзагообразного типа.

Количество труб, площадь сечения и поверхность теплообмена.

(Коэффициент оребрения труб 14,6)

Таблица 6

Число рядов труб	Число рядов по трубам	Общие количество труб		Количество труб на один ход																Поверхность теплообмена, м <sup>2</sup>				Внутренний диаметр труб, мм	Площадь сечения (f) одного хода (средняя) 10 <sup>3</sup> · f, м <sup>2</sup>	
				в секции								в аппарате								Наружная (номинальная)		Внутренняя				
				Номера ходов																секции		аппарата				
				1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	секции	аппарата	секции	аппарата			
4	1	82	492	82	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	28,4	170,4	
	2			44	38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	43	260	32	195	22	34,2	187,2
	4			24	20	20	18	—	—	—	—	144	120	120	108	—	—	—	—	625	3750	34	205	21	14,2	85,2
	8			12	12	12	12	8	8	8	10	72	72	72	72	48	48	48	60	—	—	—	—	22	15,6	93,6
6	1	123	738	123	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	7,1	42,6	
	2			63	60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	7,8	46,8
	4			33	30	30	30	—	—	—	—	198	180	180	180	—	—	—	—	65	390	48	290	21	3,5	21,0
	8			21	18	18	18	12	12	12	12	126	108	108	108	72	72	72	72	940	5650	52	310	22	3,8	22,8
8	1	164	984	164	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	42,6	255,6	
	2			88	76	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	46,8	280,8
	4			48	40	40	36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	24,3	127,8				
	8			24	24	24	24	16	16	16	20	144	144	144	144	96	96	96	120	940	5650	52	310	22	23,4	140,4

Примечания: 1. Действительная наружная поверхность теплообмена секций и аппаратов может отличаться от номинальной на ±5%.

2. В верхней строке указана наружная поверхность теплообмена по гладкой поверхности у основания ребер, в нижней — по оребренной поверхности. Внутренняя поверхность теплообмена для биметаллических труб указана в верхней строке, для монометаллических — в нижней.

Материальное исполнение аппаратов  
воздушного охлаждения

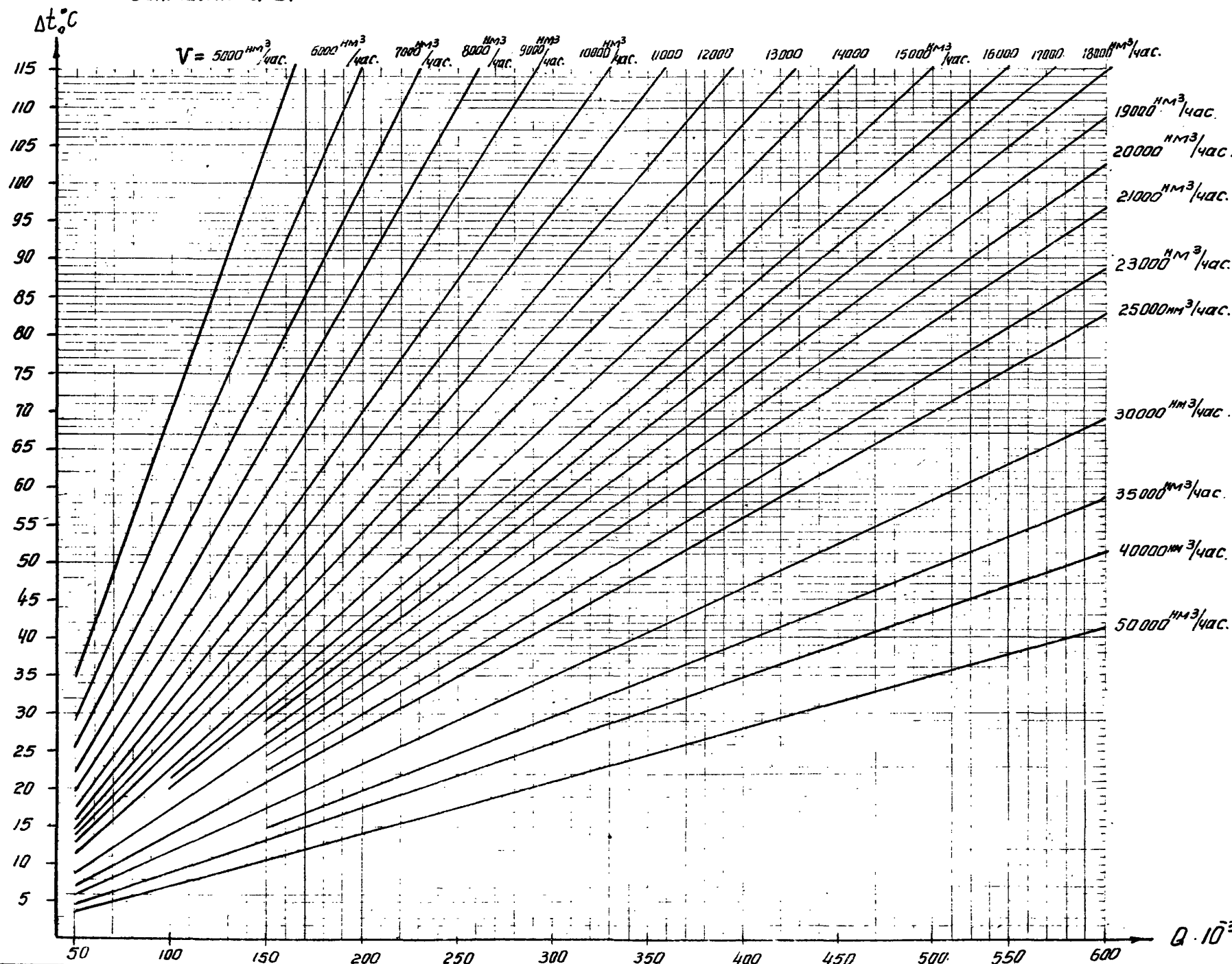
Таблица 7

Исполнение аппаратов по материалу	Давление условное в аппарате кгс/см <sup>2</sup>	Рабочая температура аппарата	Материал							
			Трубы		Решётки трубные	Крышки	Прокладки асбестометаллические			
			Внутренние	Наружные						
Б1	6	от -40°C до +450°C	Сталь 10 и 20 ГОСТ 8734-58**	Сплав АД1 ГОСТ 4535-65	Сталь 16ГС ГОСТ 5520-69	Сталь 20Л-II Сталь 20Л-III ГОСТ 977-65	Картон асбестовый ГОСТ 2850-58 в оболочке из сплава АД ГОСТ 43722-68*			
Б2		от -40°C до +475°C	Сталь Х3М ГОСТ 550-58 Сталь 0Х13 ГОСТ 9941-62 Сталь Х8		Сталь Х5М ГОСТ 7350-86 группа А			Сталь 20Х5МЛ Сталь 20Х3ТЛ ГОСТ 2176-67	Картон асбестовый ГОСТ 2850-58 в оболочке из стали 0Х13-М ГОСТ 4986-54*	
Б3		от -40°C до +300°C	Сталь 0Х22Н3Т Сталь 0Х17Н6М2Т ГОСТ 9941-62		Сталь 16ГС + Сталь Х18Н10Т ГОСТ 10885-64*			Сталь 10Х18Н9ТЛ ГОСТ 2176-67	Картон асбестовый ГОСТ 2850-58* в оболочке из стали 0Х18Н10-М ГОСТ 4986-54*	
		от -40°C до +475°C	Сталь Х18Н10Т ГОСТ 9941-62							Сталь 09Г2С + Сталь Х18Н10Т ГОСТ 10885-64*
		от -60°C до +475°C	Сталь Х17Н13М2Т Сталь 0Х17Н16М3Т ГОСТ 9941-62							Сталь 16ГС + Сталь Х17Н13М2Т Сталь 16ГС + Сталь 0Х17Н16М3Т ГОСТ 10885-64*
Б4	от -40°C до +475°C	Сталь Х17Н13М2Т Сталь 0Х17Н16М3Т ГОСТ 9941-62	Сталь 16ГС ГОСТ 5520-69 с наплавкой из латуни ЛОБ2-1 или Л-63 ГОСТ 1010-47**	Сталь 20Л-II Сталь 20Л-III ГОСТ 977-65	Картон асбестовый ГОСТ 2850-58* в оболочке из сплава АД ГОСТ 43722-68*					
Б5	от -40°C до +250°C	Латунь Л0Мш 70-1-0,06 Латунь ЛАМш 77-2-0,06 ГОСТ 494-69	Сталь 16ГС ГОСТ 5520-69	Сталь 20Л-III ГОСТ 977-65	Картон асбестовый ГОСТ 2850-58* в оболочке из сплава АД ГОСТ 43722-68*					
М1У	6	от -40°C до +450°C	Сплав АМг2 и АД1 ГОСТ 4535-65	Сплавы АМг5 и АМг6 ГОСТ 4704-65*	Сталь 20Л-III ГОСТ 977-65	Картон асбестовый ГОСТ 2850-58* в оболочке из сплава АД ГОСТ 43722-68*				
М1А	10 16									

- Примечания:
1. Сталь марки 20Х3ТЛ применяется при рабочих температурах до 425°C.
  2. Сталь марки 0Х13 применяется при рабочих температурах от 0°C до 300°C.
  3. Секции аппаратов всех материальных исполнений, в которых используются стали 20Л-II, 20Л-III, 20Х5ТЛ и 16ГС могут применяться при температурах окружающего воздуха до -60°C при условии, что подъём давления в секциях производится при температурах стенок равных указанным в таблице в графе рабочих температур.
  4. Аппараты зигзагообразного и малопоточного типов поставляются только на Руб, 16, 25 и 64 кгс/см<sup>2</sup>.

Зависимость температуры подогрева воздуха от теплопроизводительности при различной производительности вентилятора.

Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения

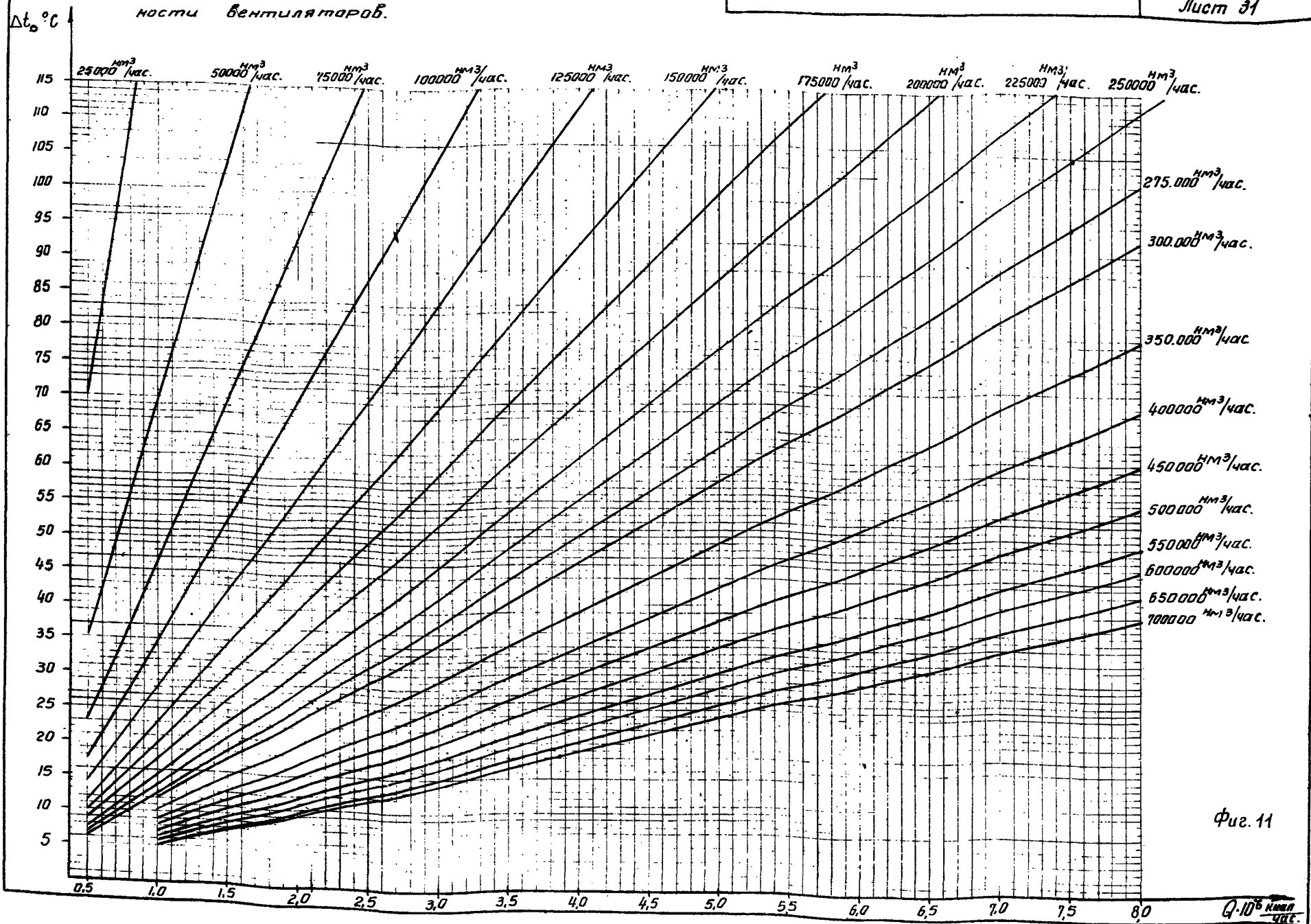


Фиг. 10

Зависимость температуры подогрева воздуха от теплопроизводительности при различной производительности вентиляторов.

Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения

Лист 31



Фиг. 11

$Q \cdot 10^6$  kcal/hour

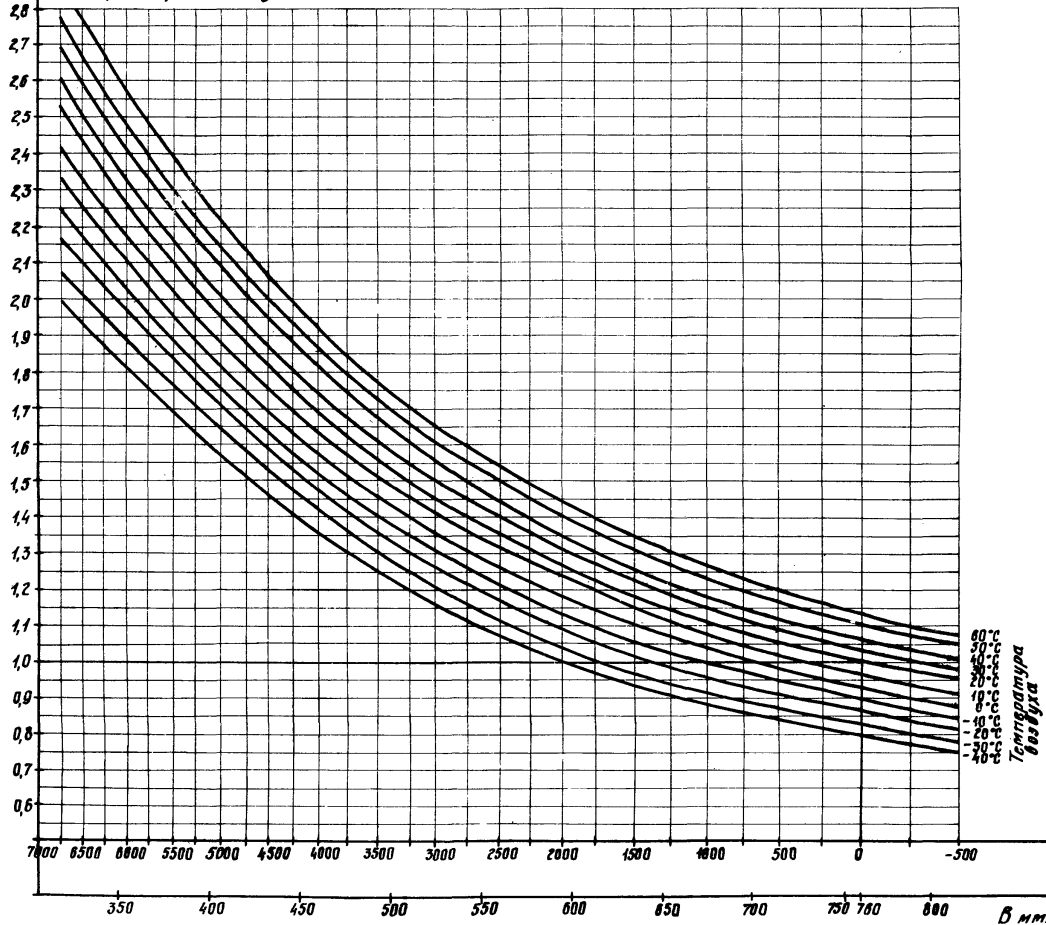


$K_{\Delta t}$

Поправочный коэффициент к величине  $\Delta t$  в зависимости от высоты местности над уровнем моря (барометрического давления) и температуры окружающего воздуха.

Методика теплового и аэродинамического расчёта аппаратов воздушного охлаждения

Лист 32 \*



Фиг. 12

Высота над уровнем моря

$Y$  (м)

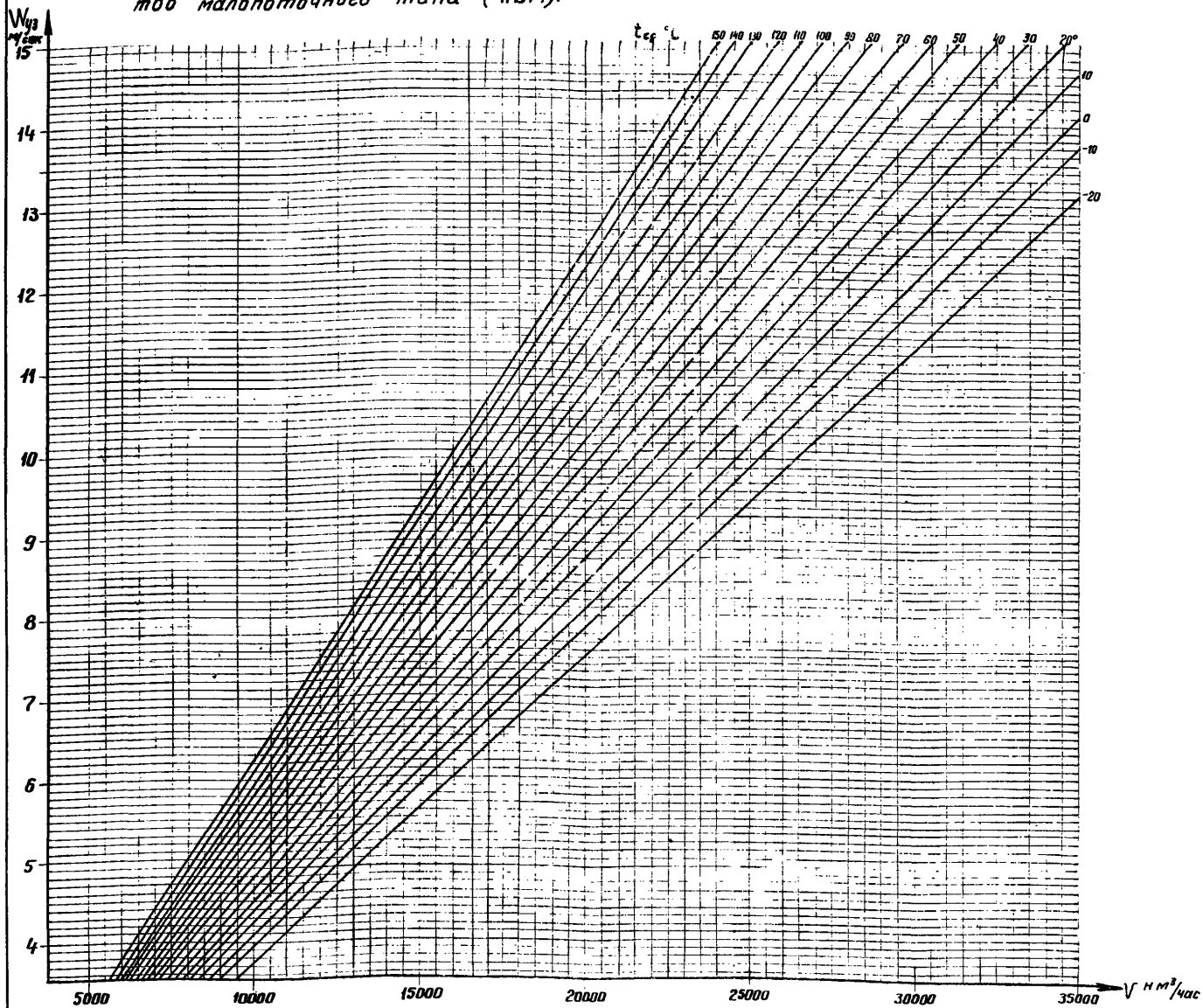
Давление барометрическое

$P$  мм.рт.ст.

Зависимость скорости воздуха в узком сечении от производительности вентилятора при различных значениях средней температуры воздуха для аппаратов малопоточного типа (АВМ).

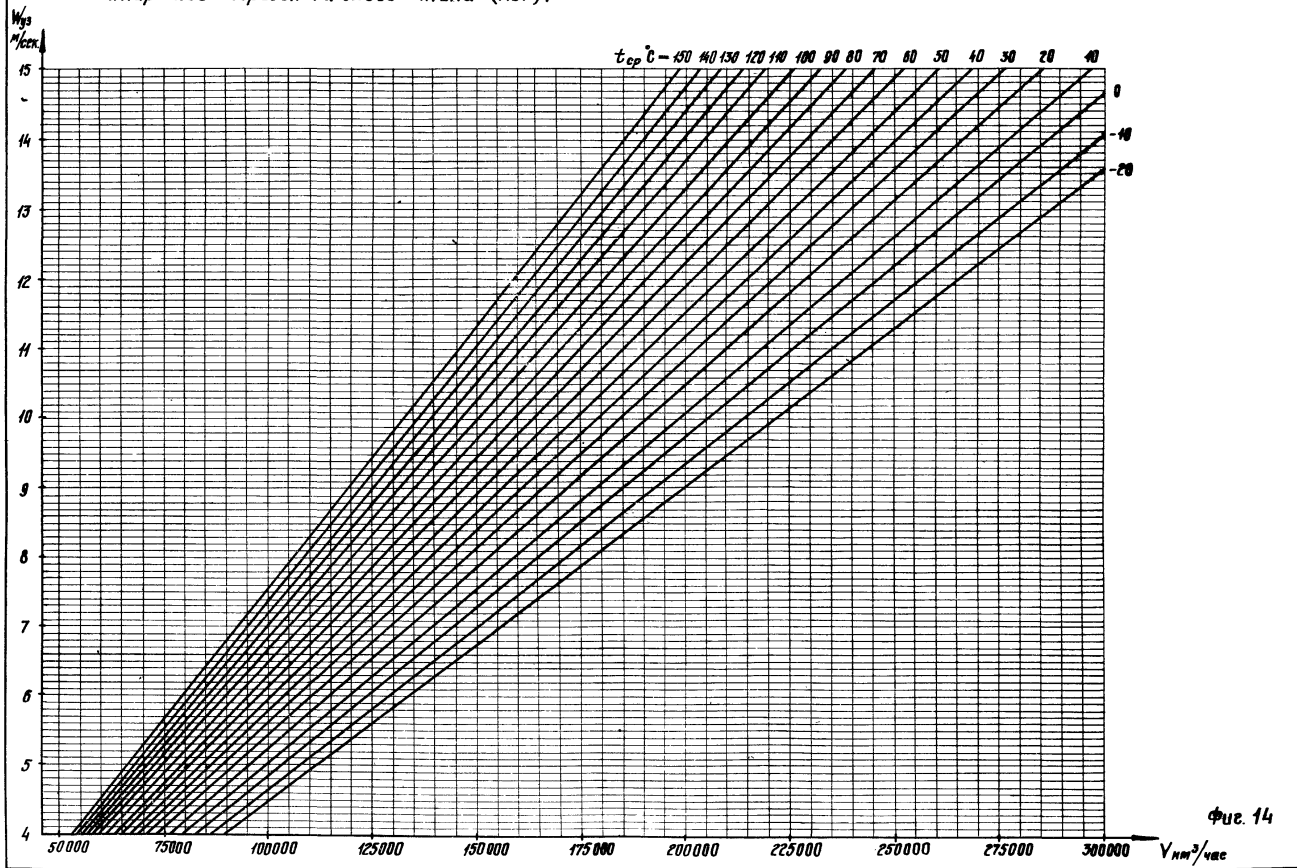
Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения

Лист 33



Фиг. 13

Зависимость скорости воздуха в узком сечении от производительности вентилятора при различных значениях средней температуры воздуха для аппаратов горизонтального типа (АВГ).



Фиг. 14

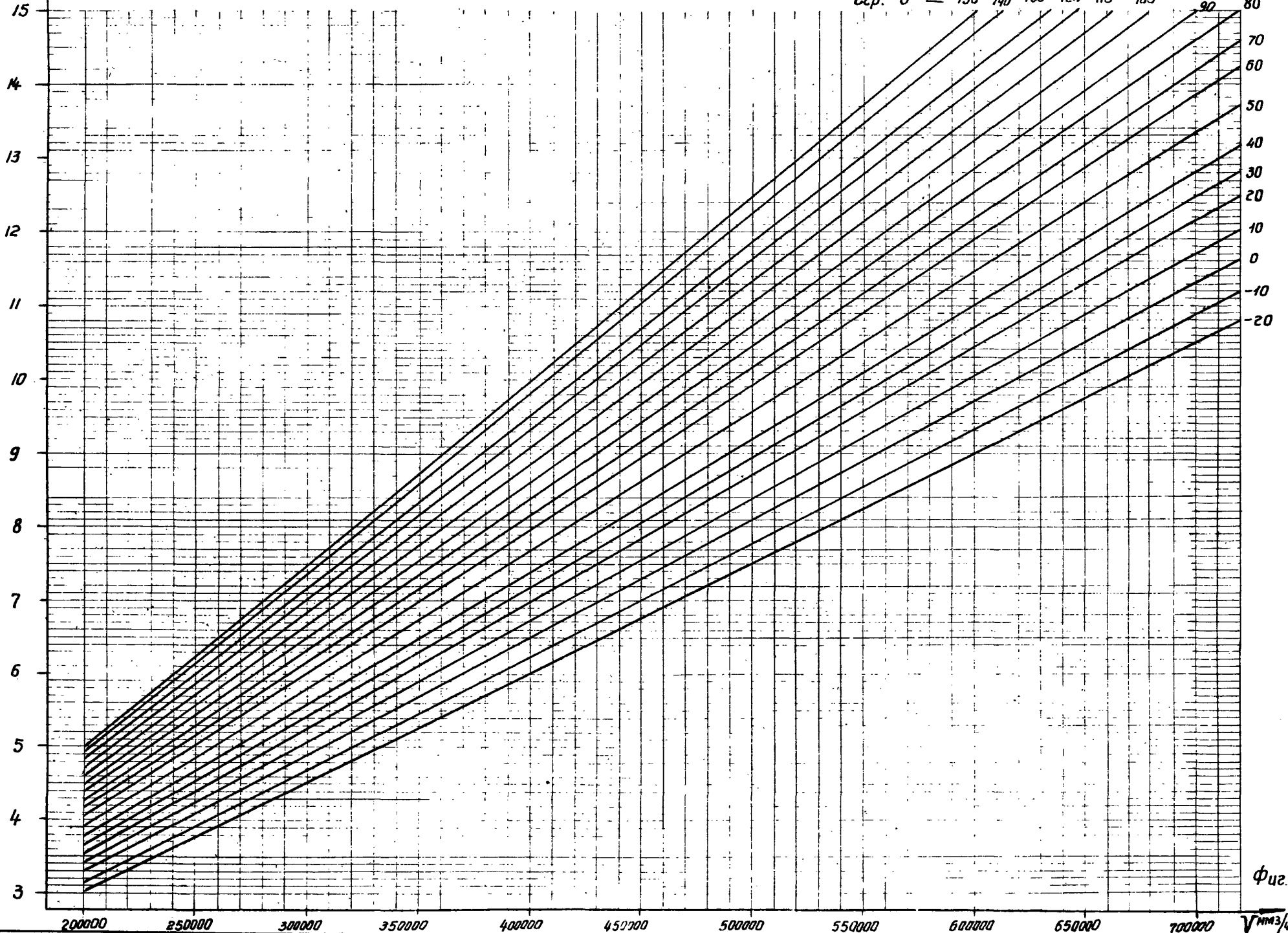
Зависимость скорости воздуха в узком сечении от производительности вентилятора при различных значениях средней температуры воздуха для аппаратов зигзагообразного типа (АВЗ)

Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения

Лист 35

$W_{уз}, \text{м}^3/\text{сек.}$

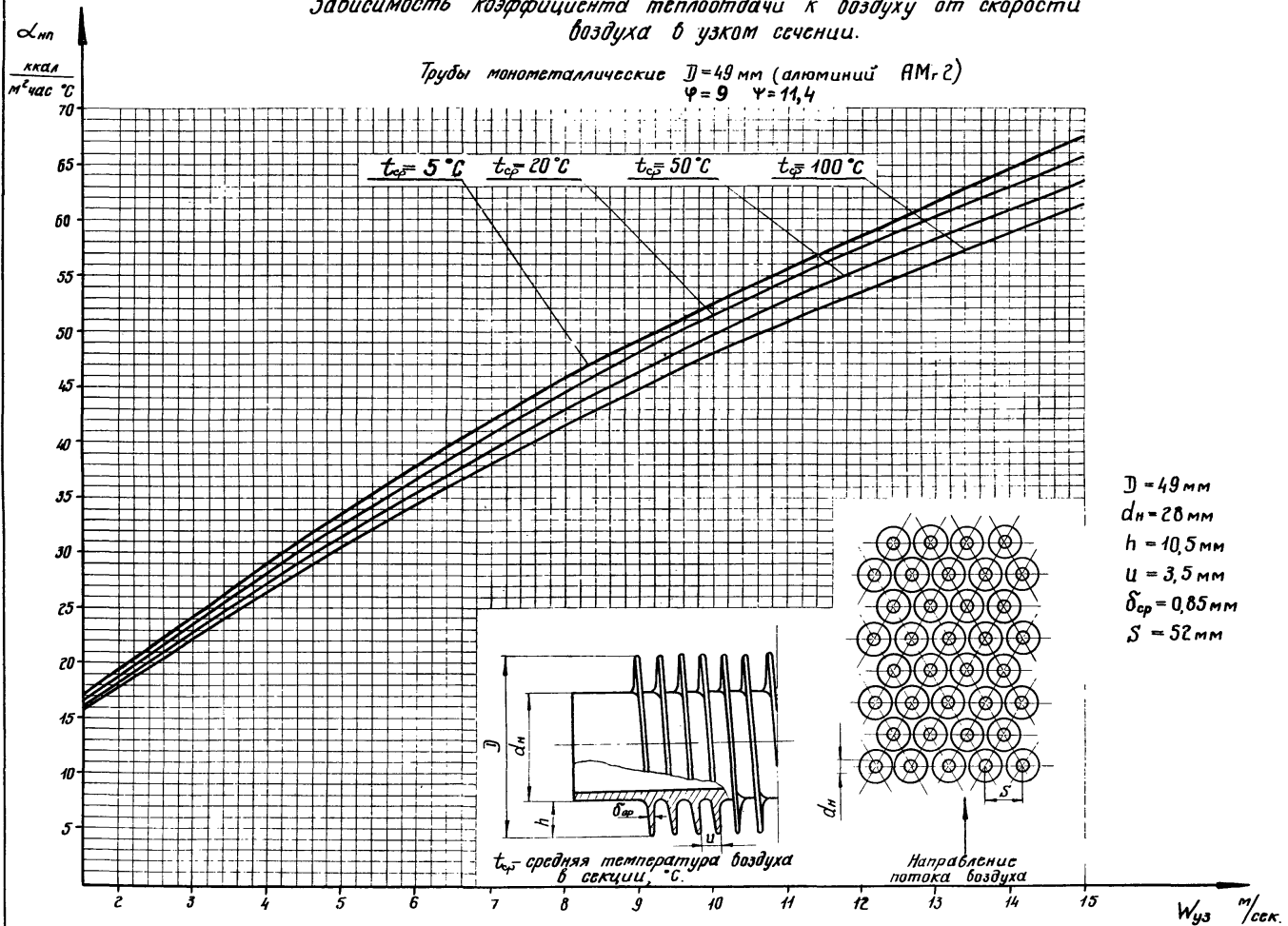
$t_{ср.} \text{ } ^\circ\text{C} = 150 \ 140 \ 130 \ 120 \ 110 \ 100 \ 90$



Фиг. 15

Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении.

Трубы монометаллические  $D = 49$  мм (алюминий АМг 2)  
 $\psi = 9$   $\Psi = 11,4$



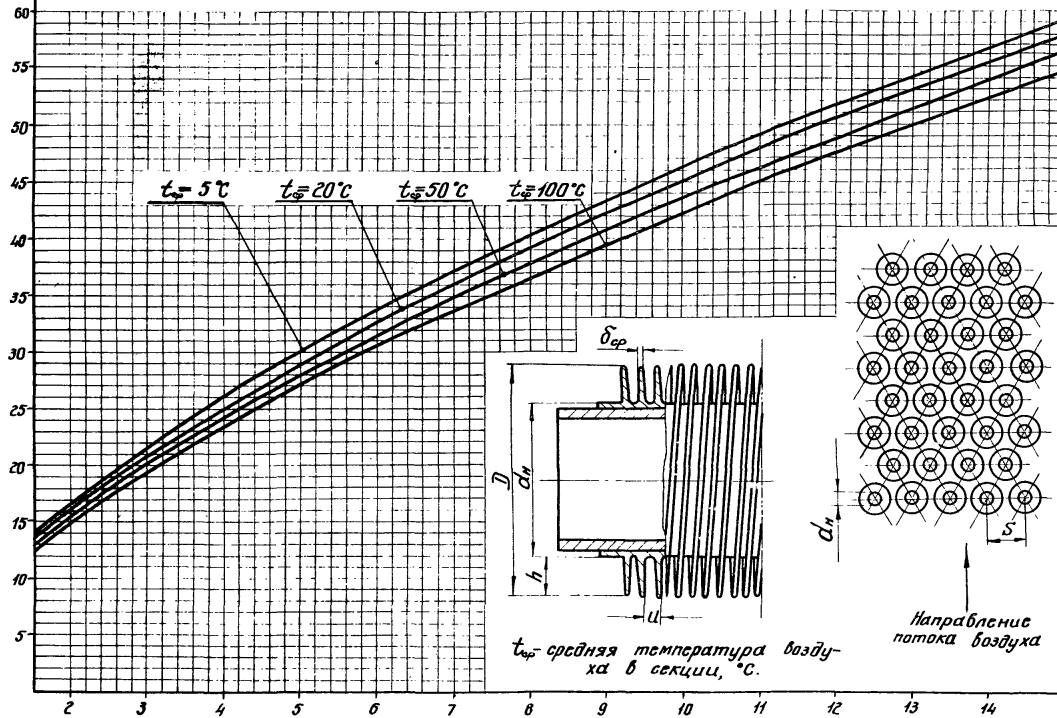
Фиг. 16

Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении.

Трубы биметаллические  $D = 49$  (сталь Х18Н10Т + алюминий АД1)

$\psi = 9$      $\psi = 12$

$\alpha_{нп}$   
ккал / м<sup>2</sup> час °С



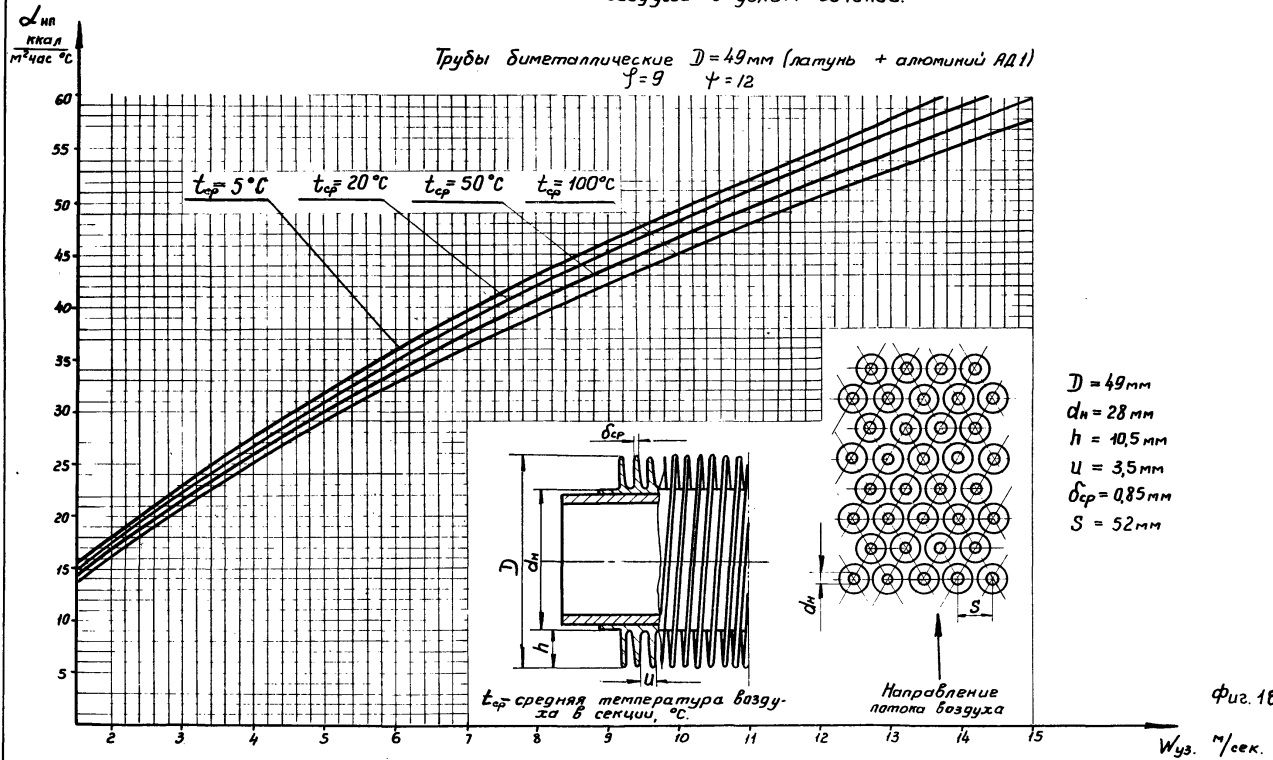
$D = 49$  мм  
 $d_n = 28$  мм  
 $u = 3,5$  мм  
 $\delta_{ср} = 0,85$  мм  
 $S = 52$  мм  
 $h = 10,5$  мм

$t_{ср}$  - средняя температура воздуха в секции, °С.

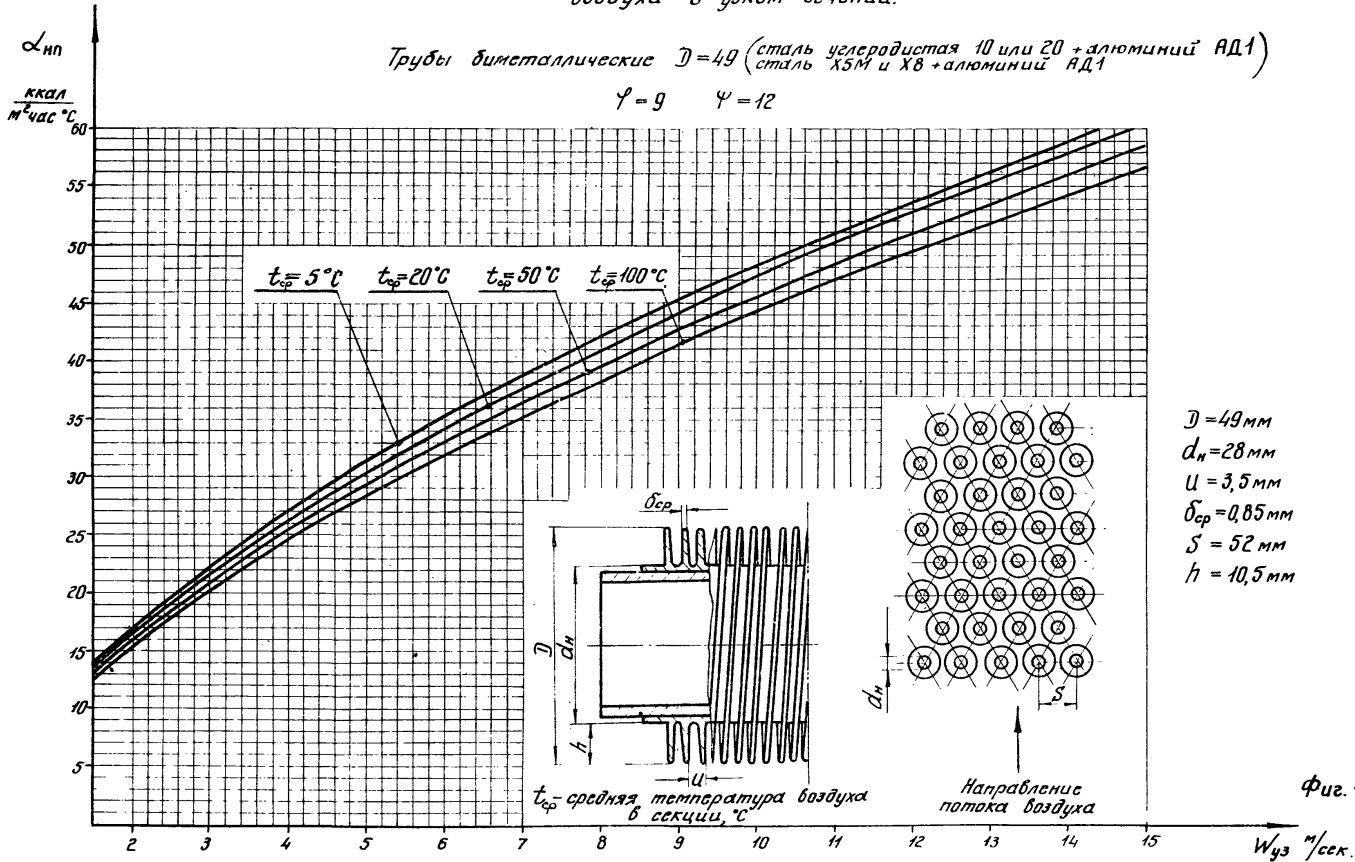
$W_{уз}$  м/сек.

Фиг. 17

Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости  
воздуха в узком сечении.



Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении.

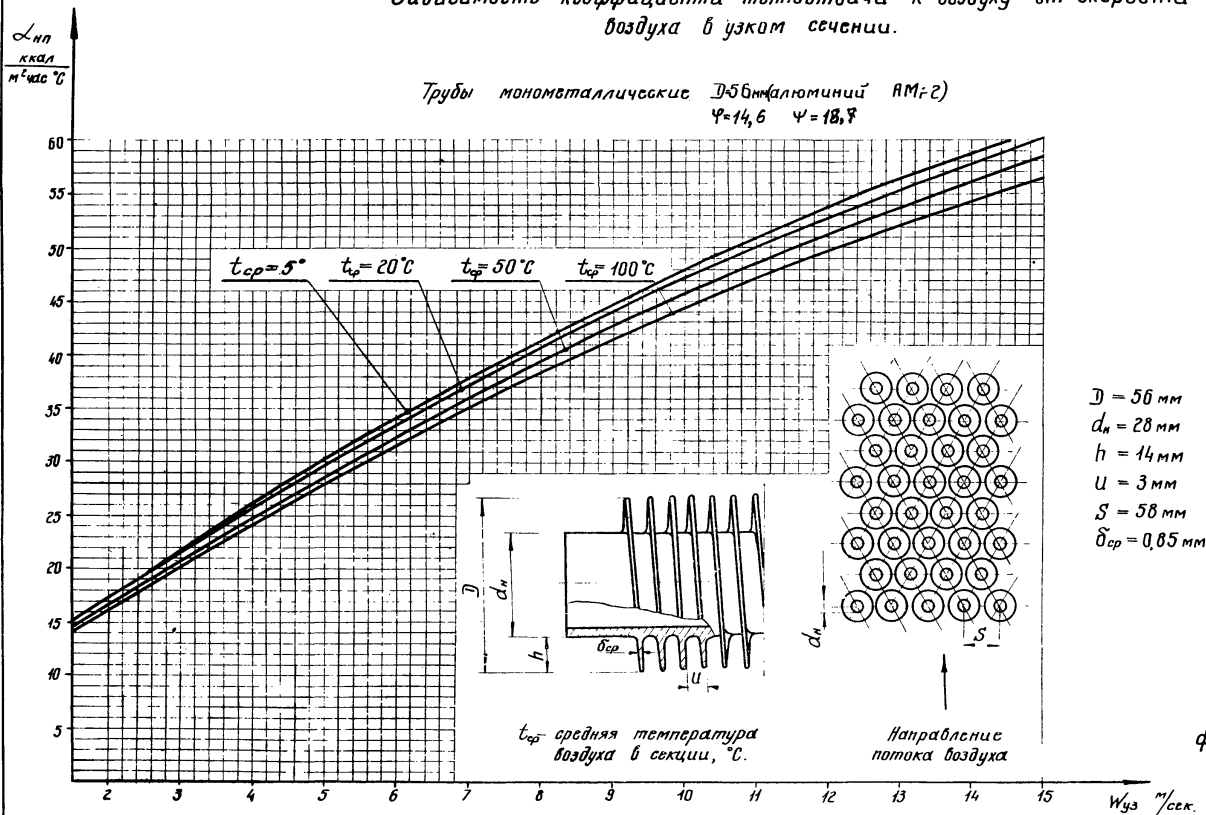


Фиг. 19



Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости  
воздуха в узком сечении.

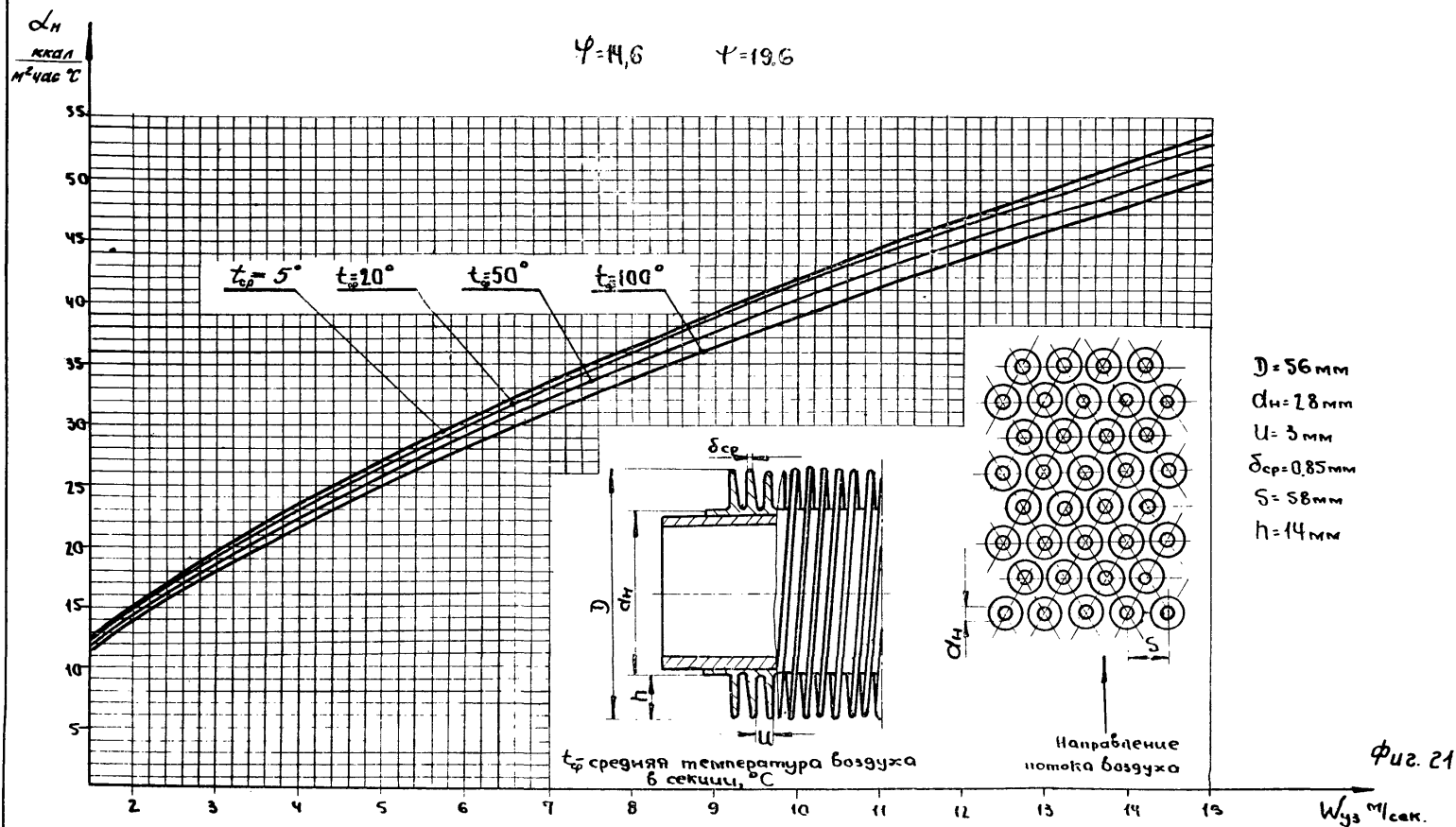
Трубы монометаллические  $\text{D} = 56 \text{ мм}$  алюминий АМг-2)  
 $\Psi = 14,6$   $\Psi = 18,8$



Фиг. 20

Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости  
воздуха в узком сечении.

Трубы биметаллические  $D=56$  (сталь X18H10T+алюминий АД1  
сталь X18H13M2T+алюминий АД1)

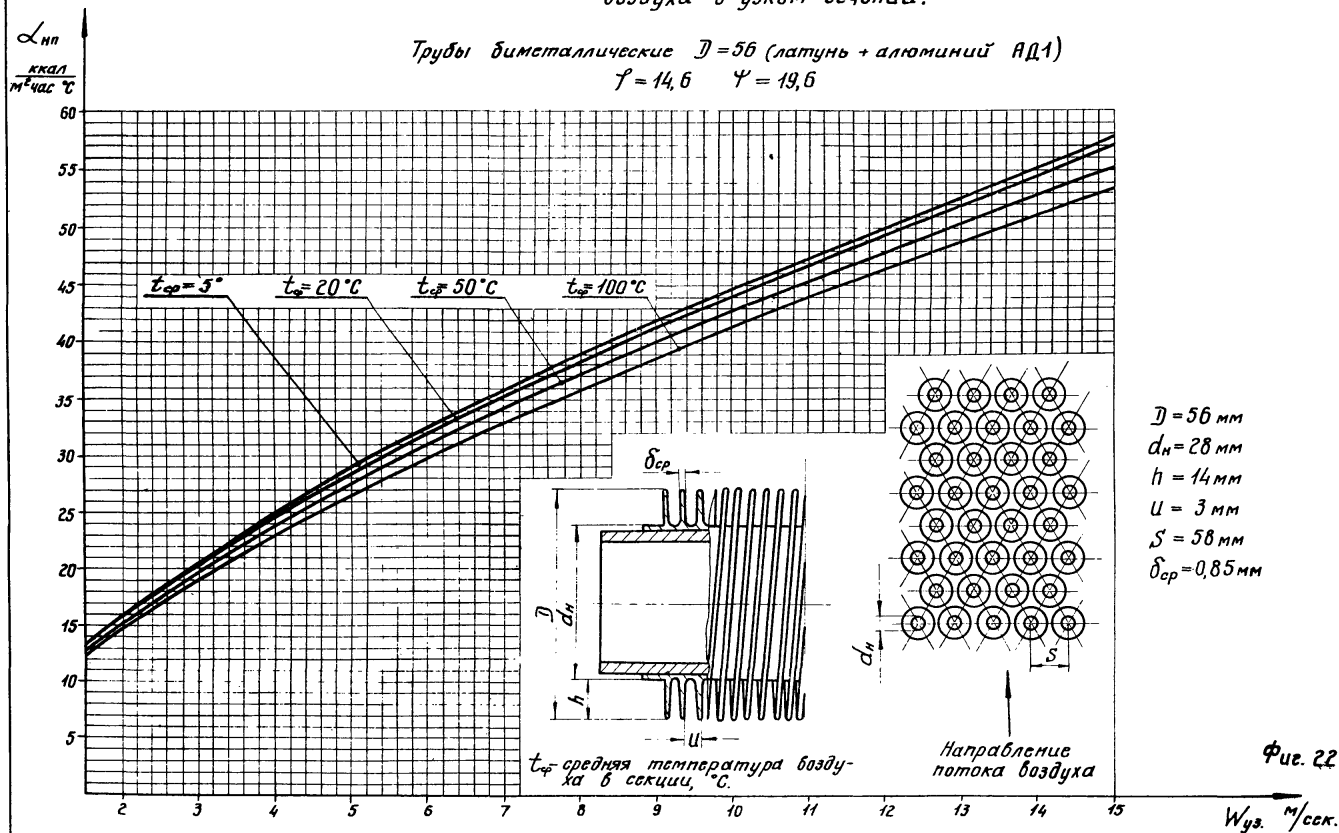


Фиг. 21

Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости  
воздуха в узком сечении.

Трубы биметаллические  $D=56$  (латунь + алюминий АД1)

$f=14,6$   $\Psi=19,6$

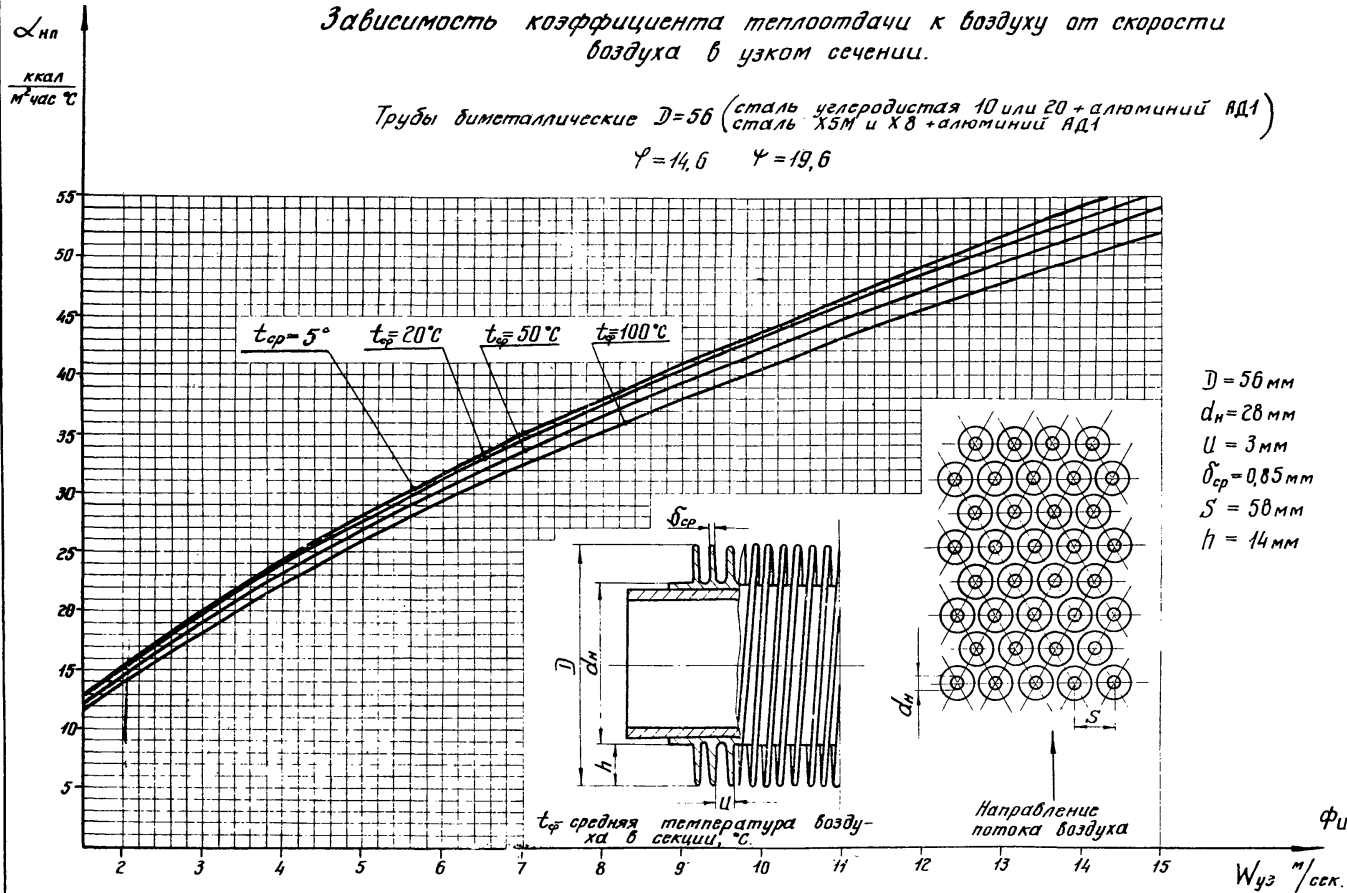


Фиг. 22

Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении.

Трубы диметаллические  $D=56$  (сталь углеродистая 10 или 20 + алюминий АД1)

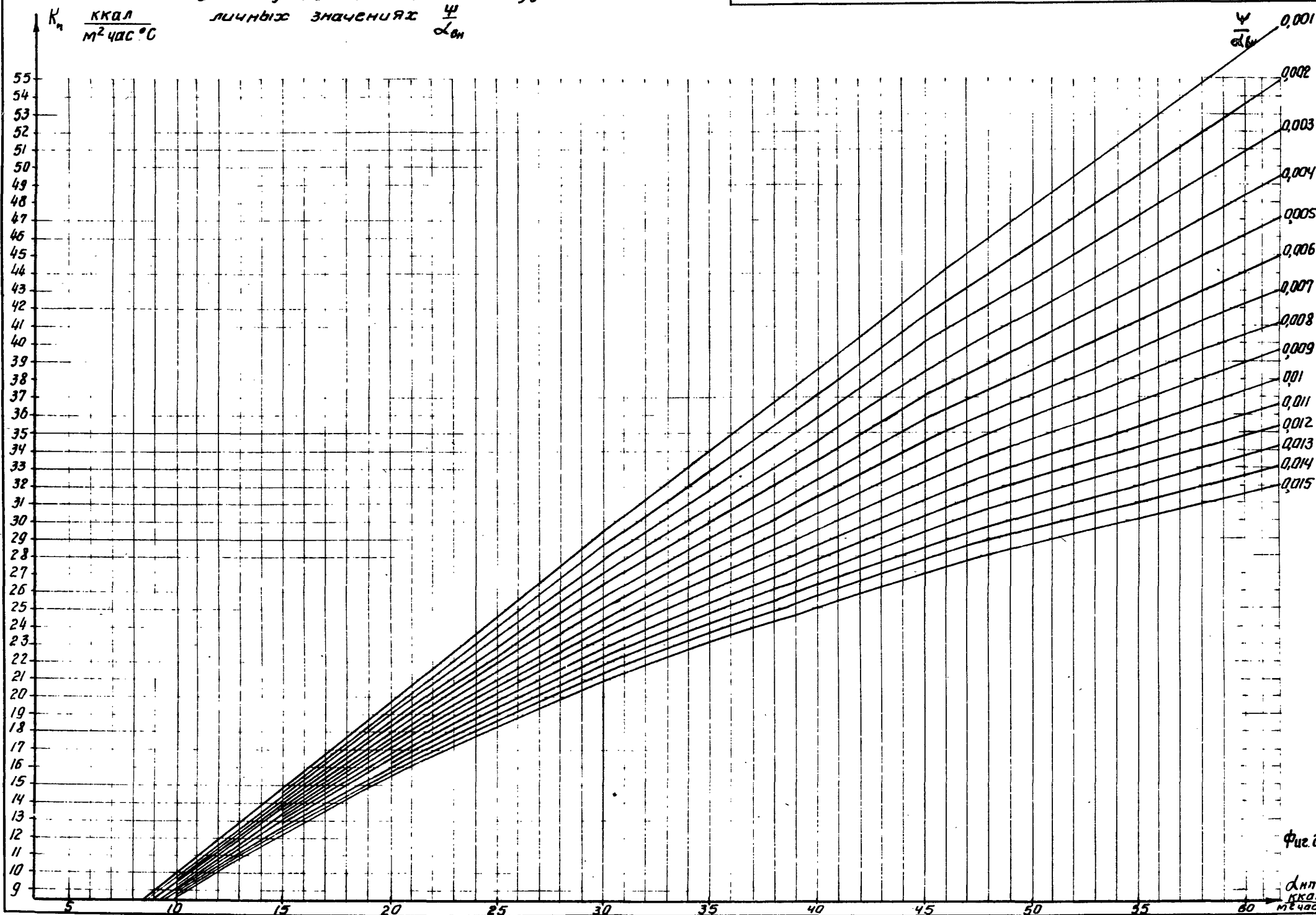
$\Psi=14,6$     $\Psi=19,6$



Зависимость коэффициента теплопередачи  
(без учета загрязнения) от коэффициента  
теплоотдачи со стороны воздуха при раз-  
личных значениях  $\frac{\psi}{\alpha_{вн}}$

Методика теплового и аэродинамического  
расчета аппаратов воздушного охлаждения.

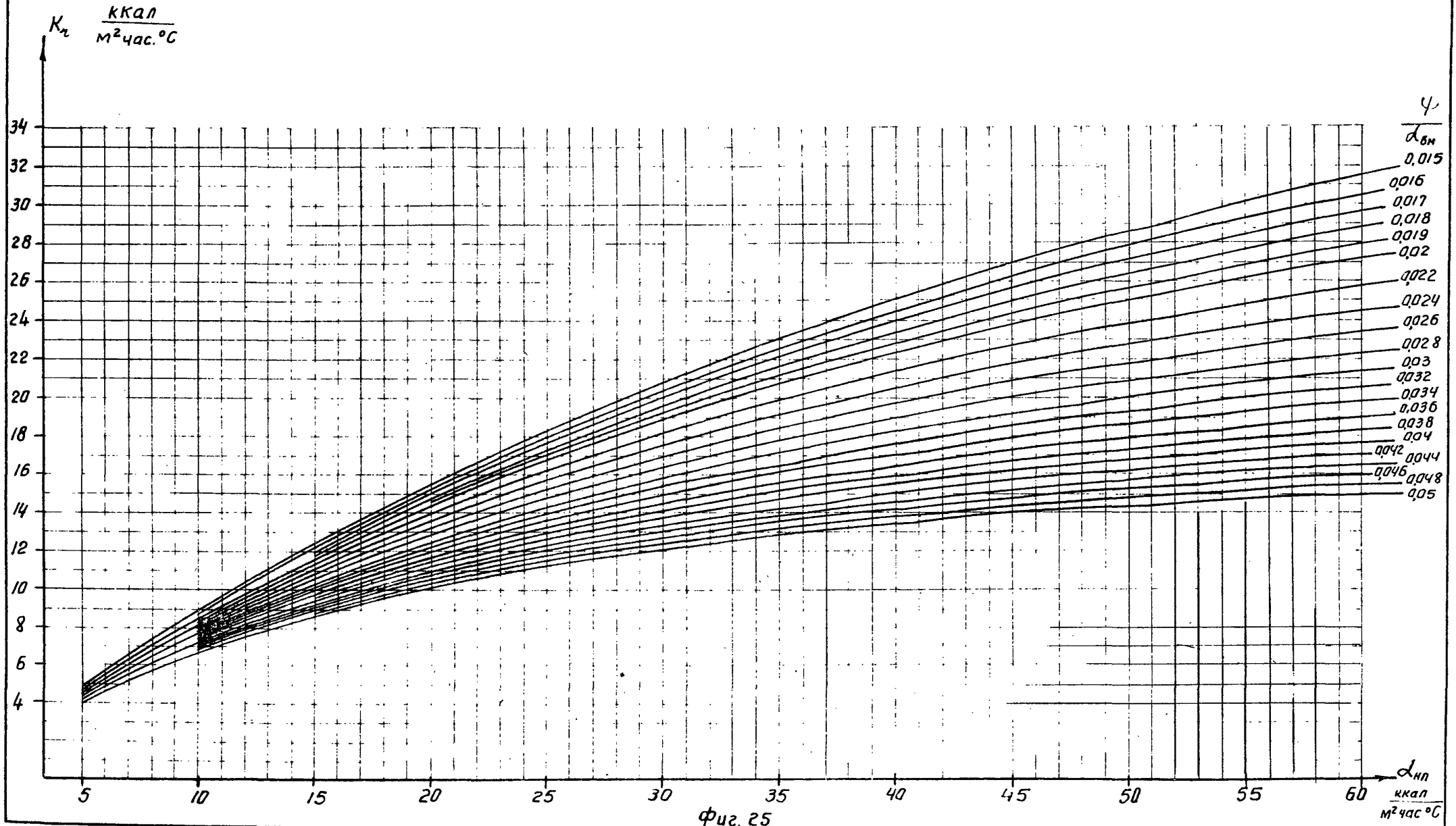
Лист 44



Фиг. 24

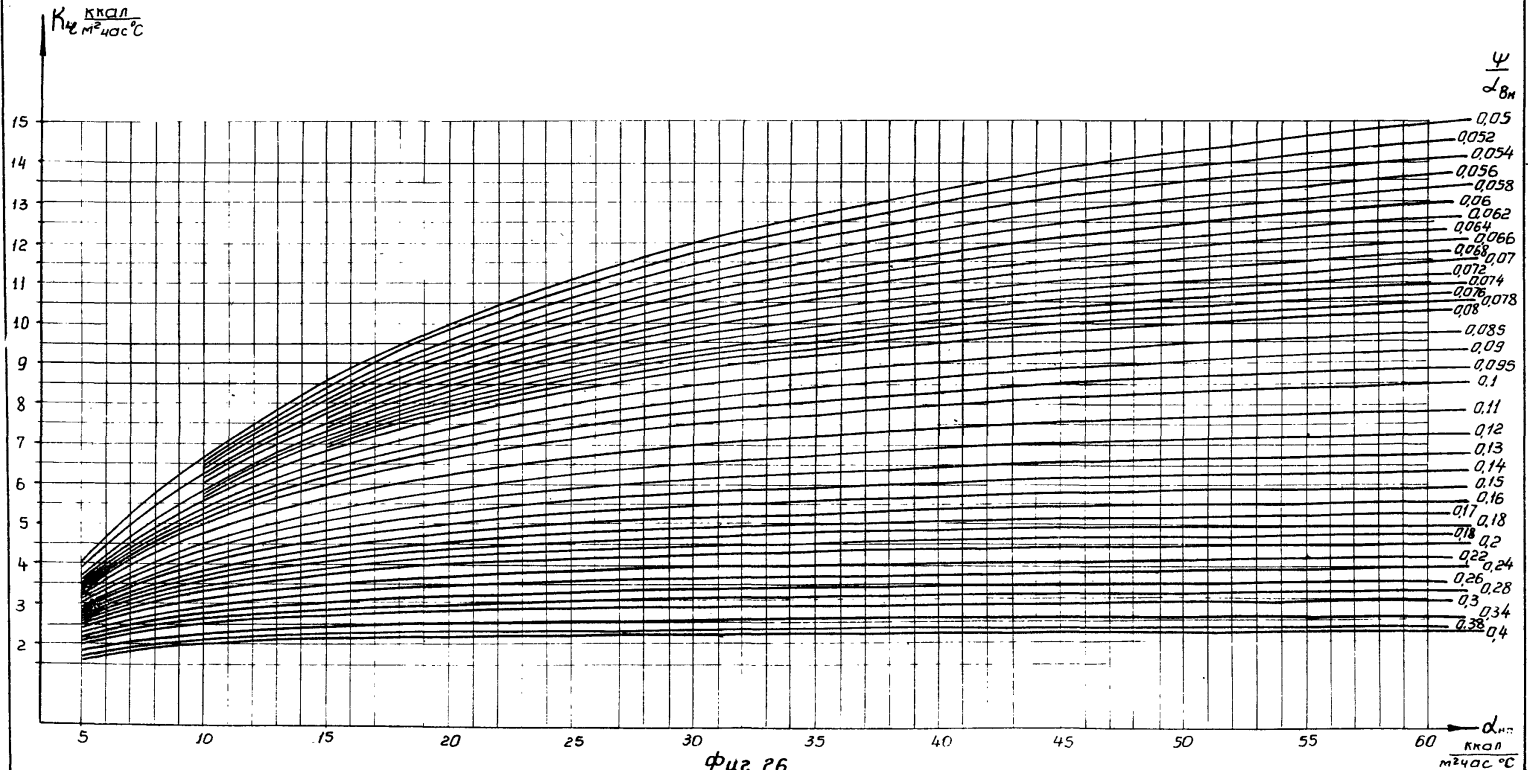
дип  
квал  
м/час

Зависимость коэффициента теплопередачи (без учета загрязнения)  
от коэффициента теплоотдачи со стороны  
воздуха при различных значениях  $\frac{\psi}{\alpha_{вн}}$



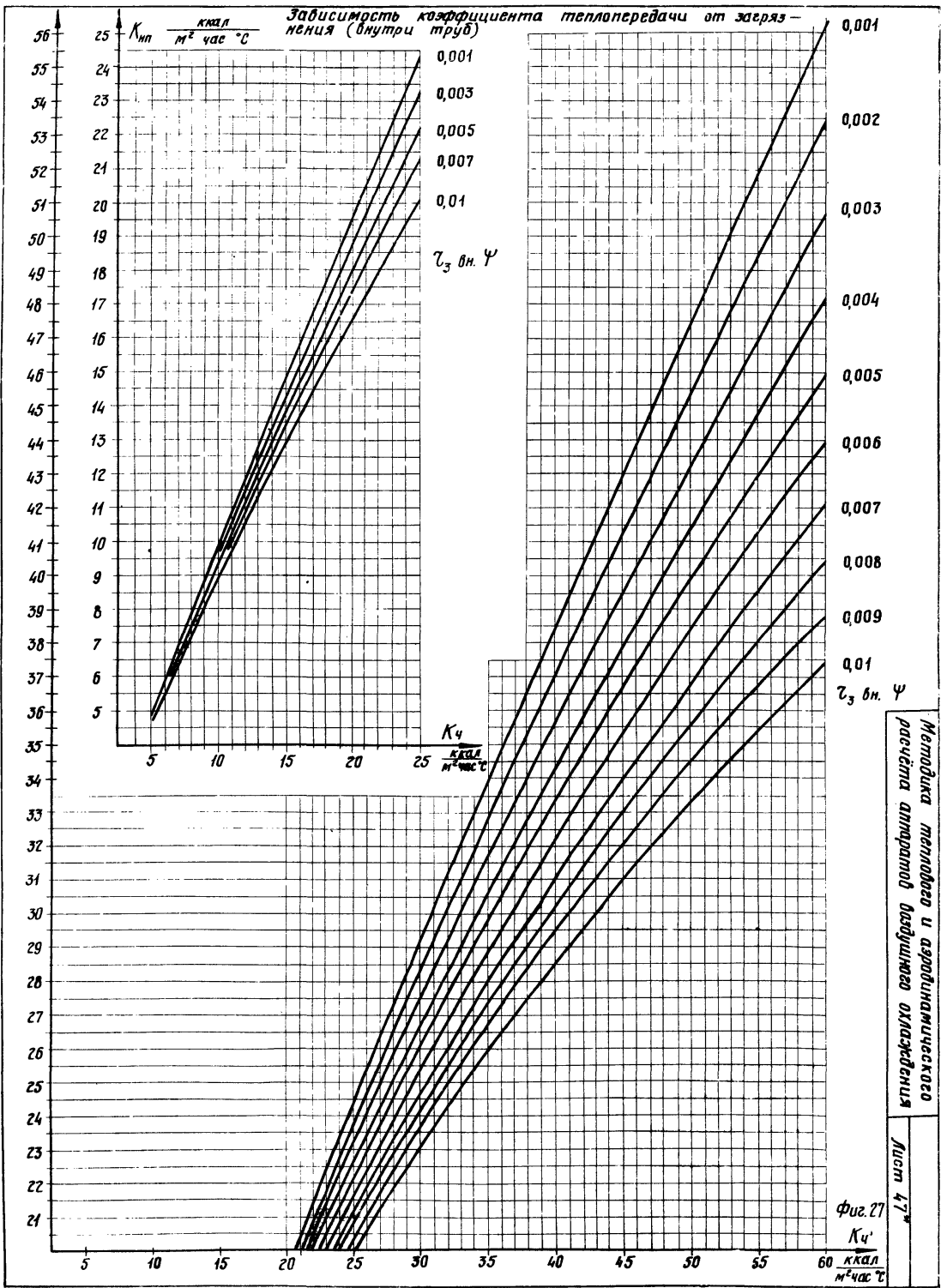
$\alpha_{вн}$   
 $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr} \cdot ^\circ\text{C}}$

Зависимость коэффициента теплопередачи (без учета загрязнения) от коэффициента теплоотдачи со стороны воздуха при различных значениях  $\frac{\psi}{\alpha_{вн}}$



Фиг. 26

Зависимость коэффициента теплопередачи от загрязнения (внутри труб)



Методика методов и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения

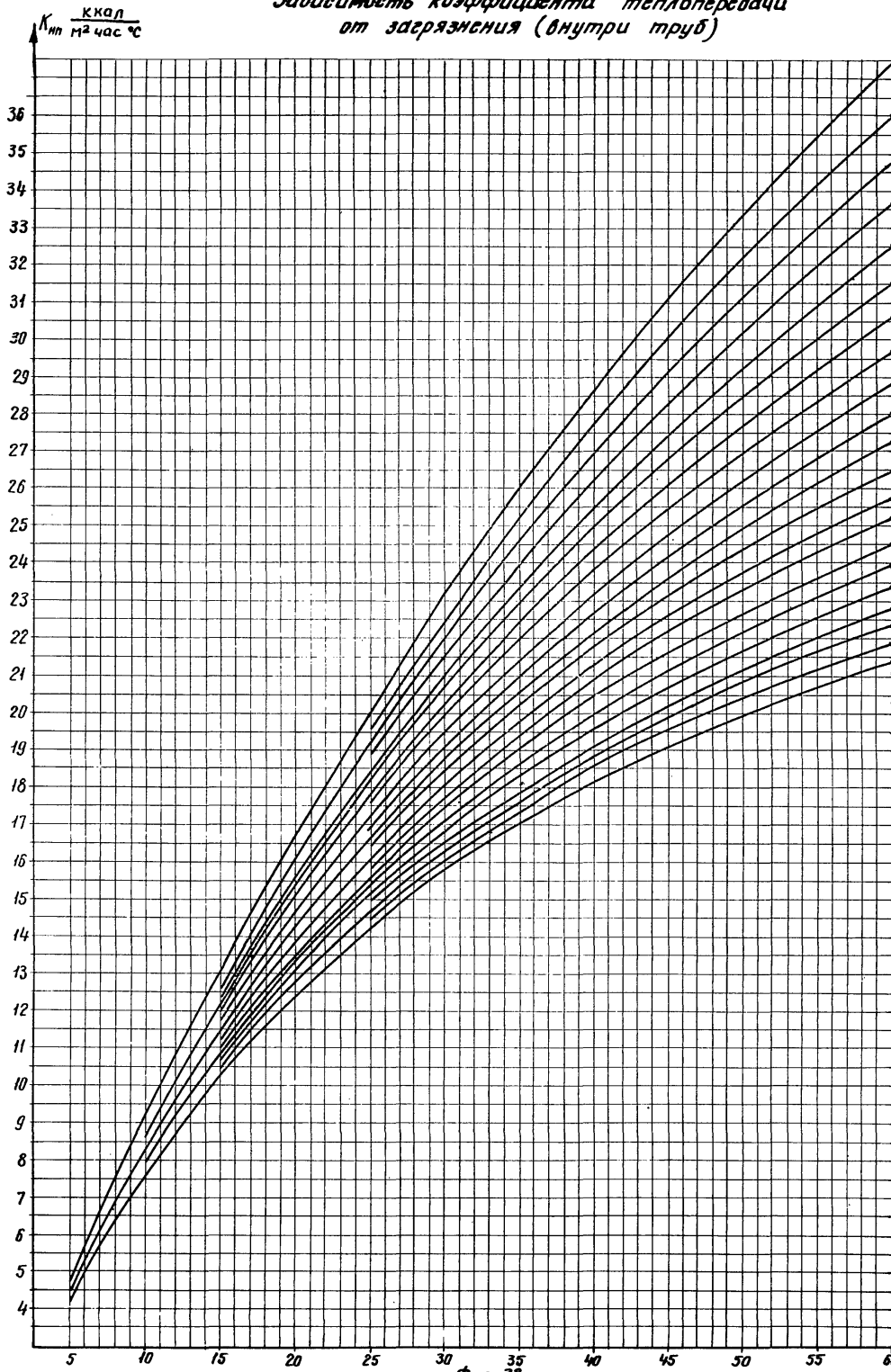
Лист 47\*

Фиг. 27  
 $K_{ч}$   
 kcal / m<sup>2</sup>·hour·°C



Зависимость коэффициента теплопередачи от загрязнения (внутри труб)

$Z_3$  в.м.  $\psi$



- 0,01
- 0,011
- 0,012
- 0,013
- 0,014
- 0,015
- 0,016
- 0,017
- 0,018
- 0,019
- 0,02
- 0,021
- 0,022
- 0,023
- 0,024
- 0,025
- 0,026
- 0,027
- 0,028
- 0,029
- 0,3

Методика расчета и аэродинамического расчета аэродинамического воздушного охлаждения.

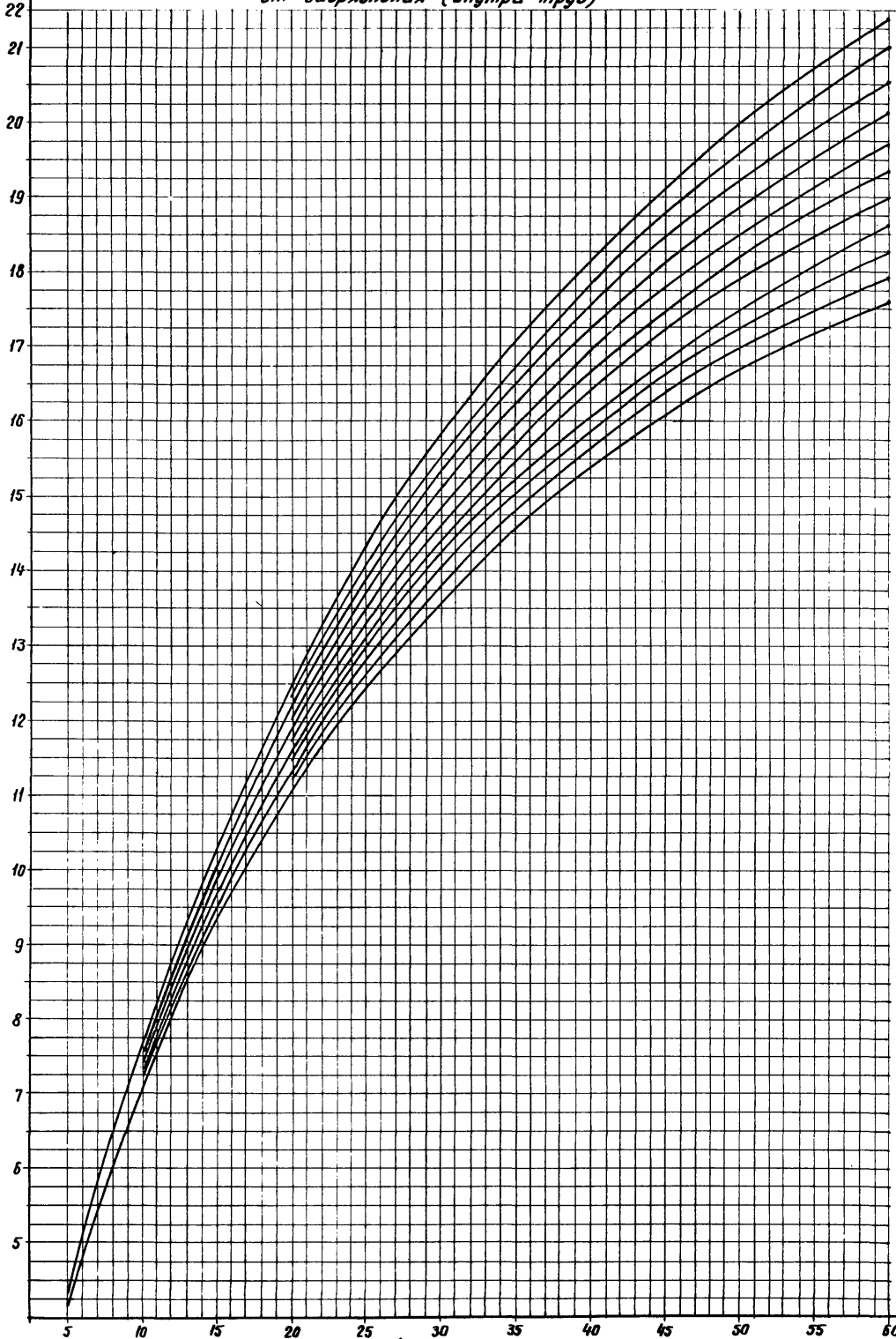
Лист 48

$K_2$   
 $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{час} \cdot ^\circ\text{C}}$

$K_{нт} \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot ^\circ\text{C}}$

Зависимость коэффициента теплопередачи от загрязнения (внутри труб)

$\zeta, \text{ в. } \Psi$

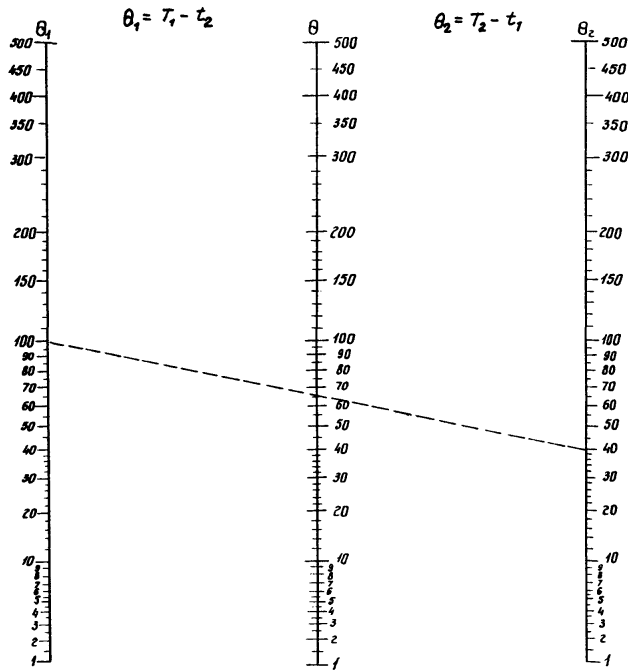


0,03  
0,031  
0,032  
0,033  
0,034  
0,035  
0,036  
0,037  
0,038  
0,039  
0,04

Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения

Лист 49

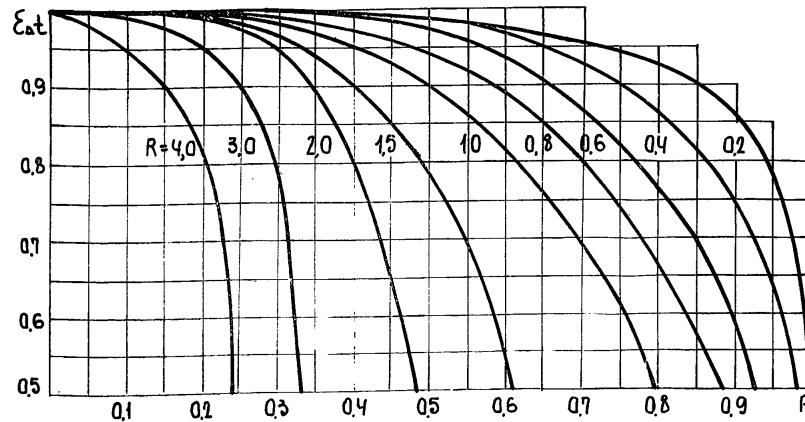
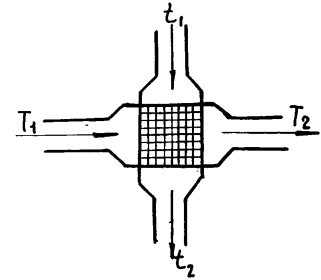
$K_{нт} \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot ^\circ\text{C}}$



Среднелогарифмический температурный напор.

фиг. 30

Определение поправочного коэффициента  $\epsilon_{\Delta t}$   
при однократном перекрестном токе.  
(один ход продукта).



Примечание:

Оба теплоносителя не перемешиваются.

Фиг. 31

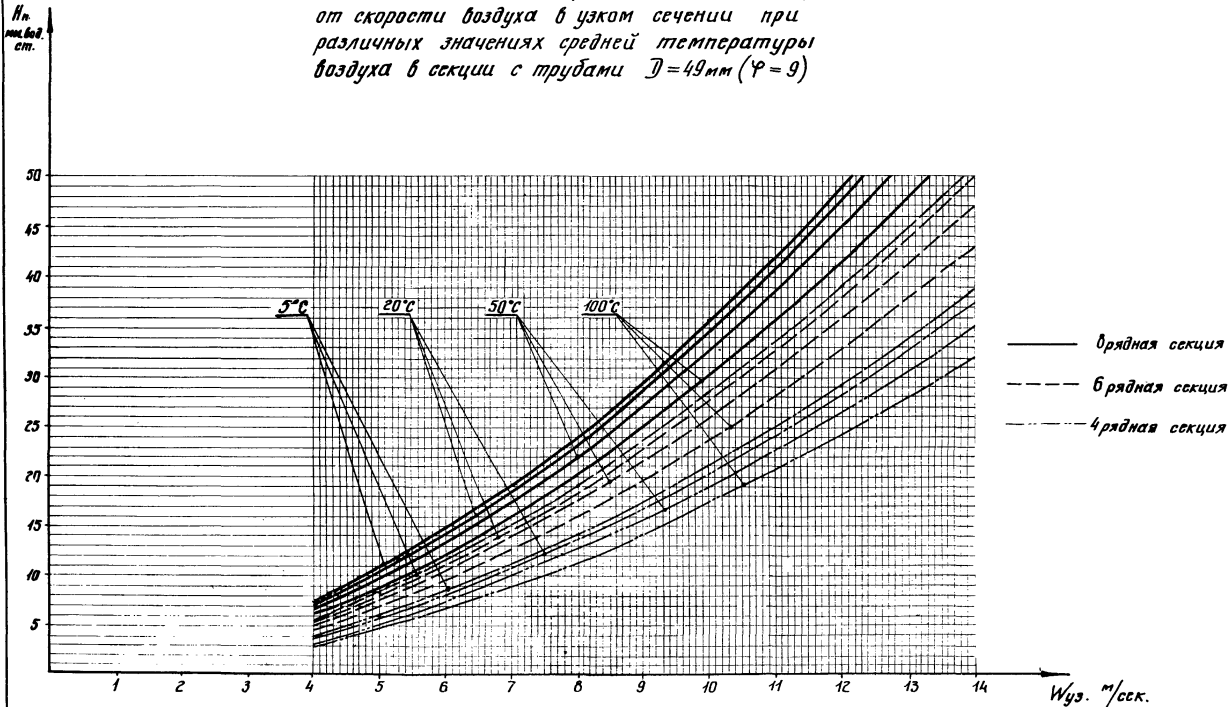
При многократном перекрёстном токе  $\epsilon_{\Delta t}$   
определяется по формуле

$$\epsilon_{\Delta t n} = \epsilon_{\Delta t n-1} + \frac{1 - \epsilon_{\Delta t n-1}}{4} (n-1)$$

где:  $n = z \div 4$  - число ходов продукта

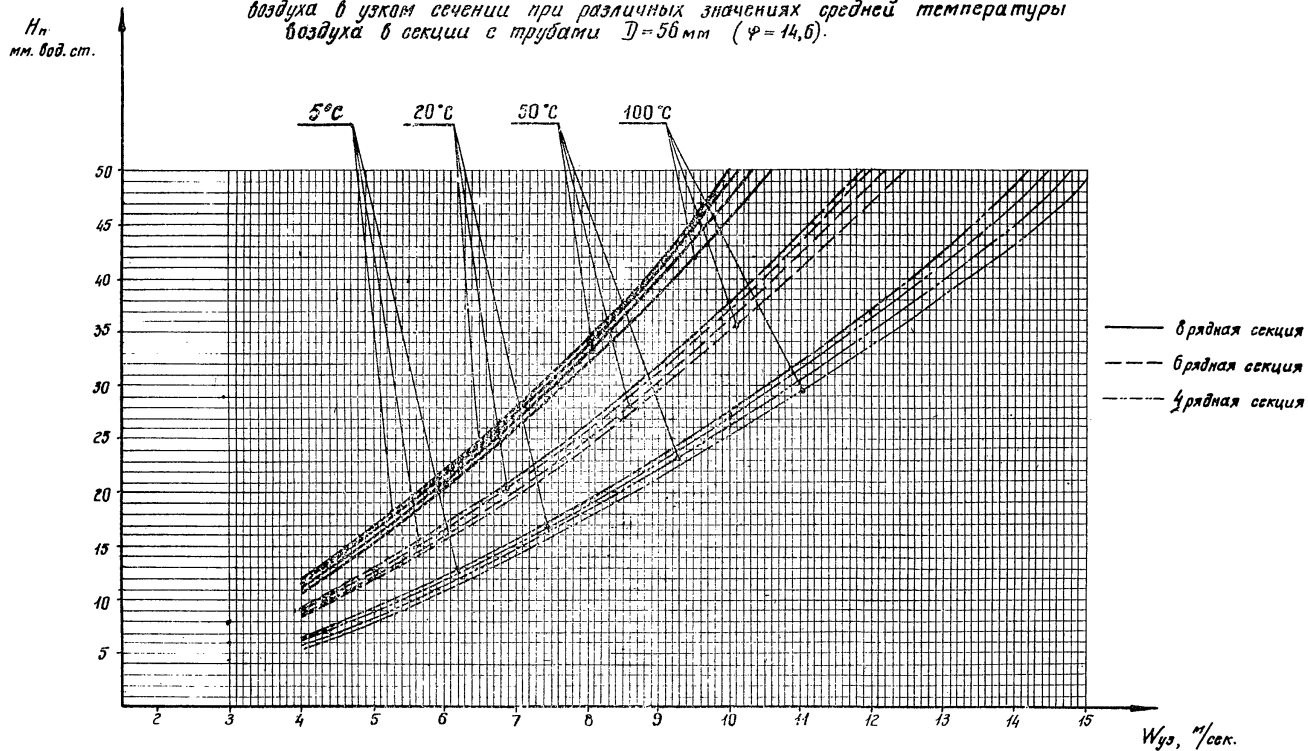
При  $n > 4$ ,  $\epsilon_{\Delta t} = 1$

Зависимость полного аэродинамического напора  
от скорости воздуха в узком сечении при  
различных значениях средней температуры  
воздуха в секции с трубами  $D=49\text{ мм}$  ( $\varphi=9$ )



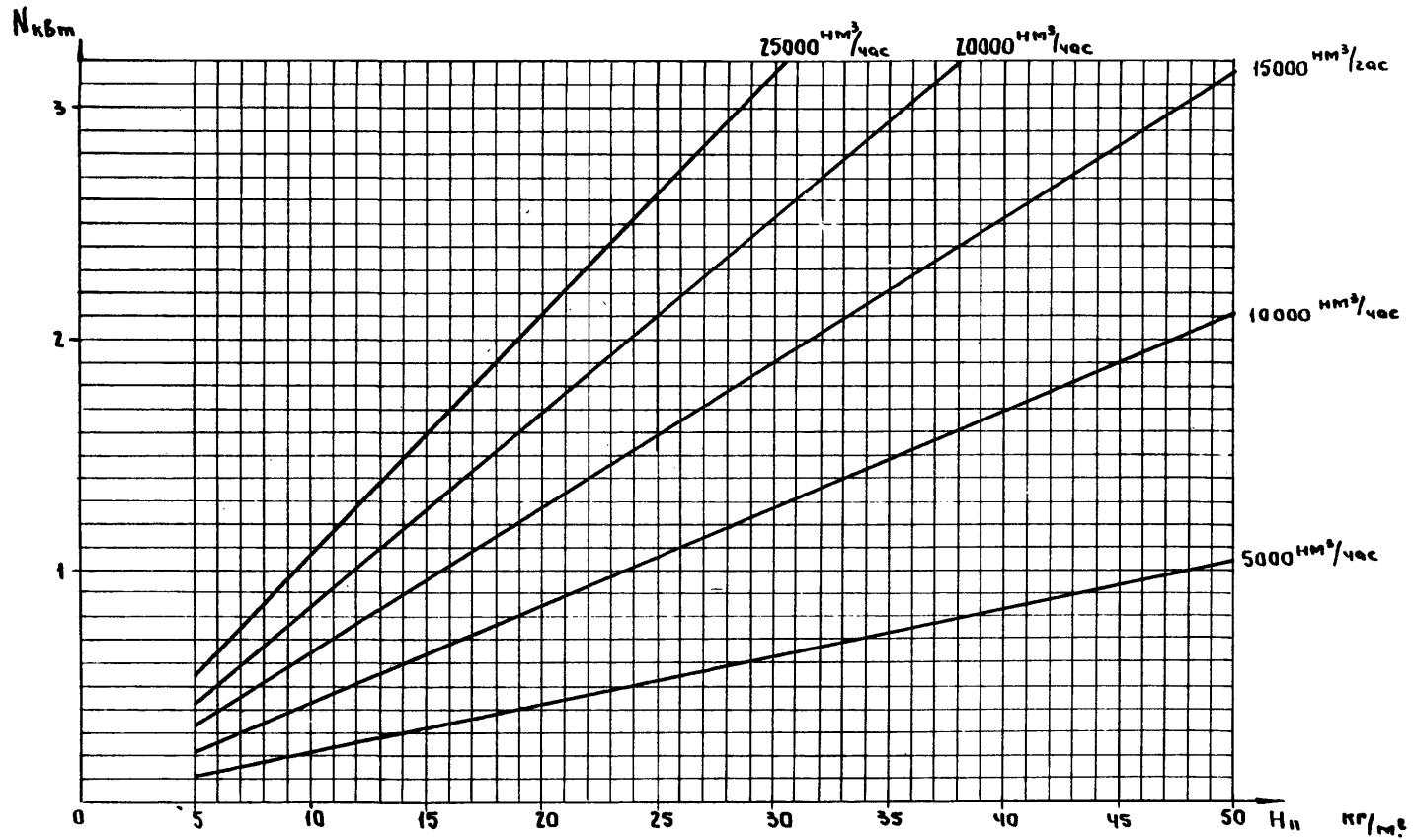
Фиг. 32

Зависимость полного аэродинамического напора от скорости воздуха в узком сечении при различных значениях средней температуры воздуха в секции с трубами  $D=56$  мм ( $\varphi=14,6$ ).

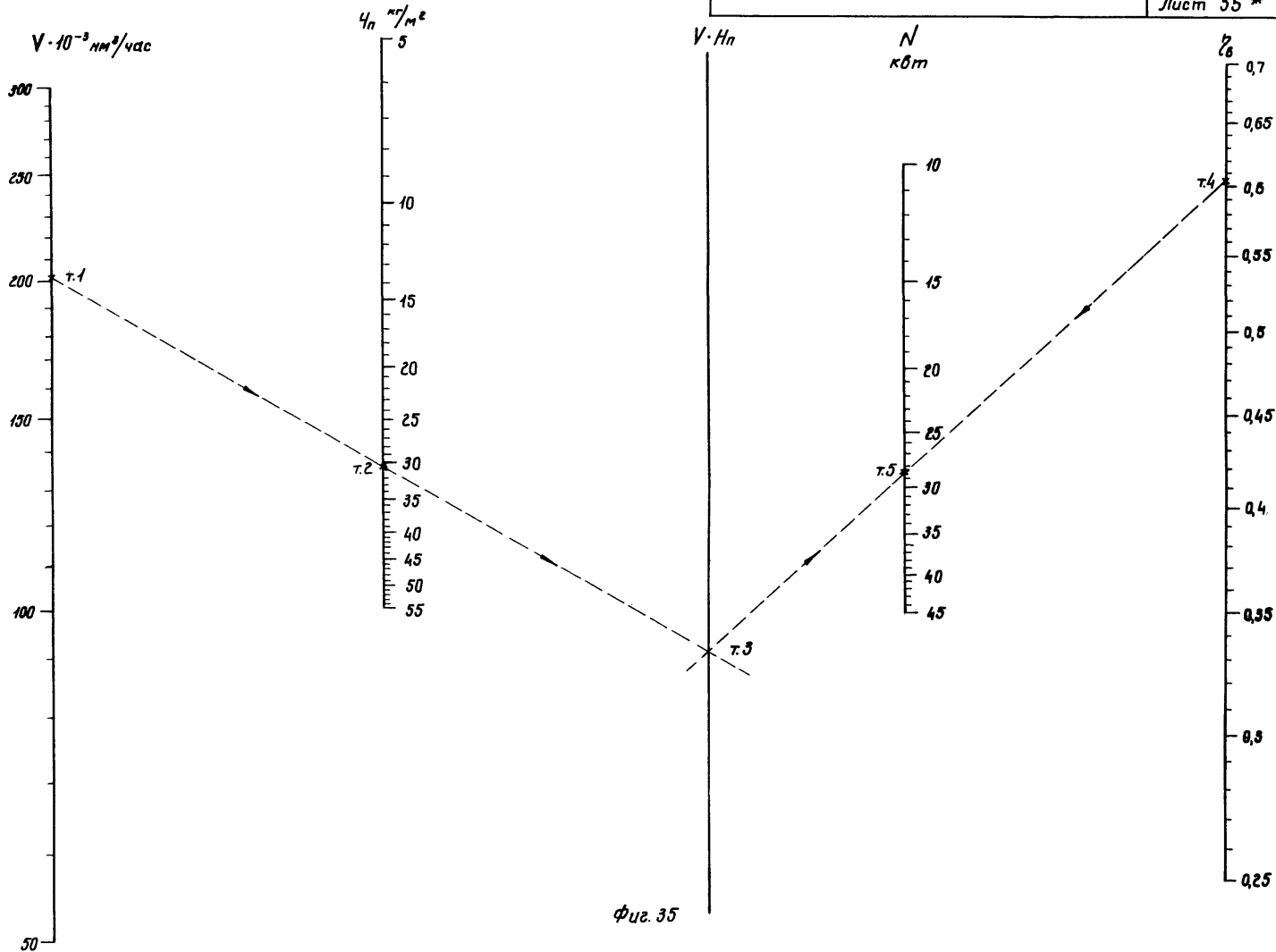


Фиг. 33

Потребляемая мощность аппаратов воздушного охлаждения  
 маломощного типа АВМ.



Фиг. 34



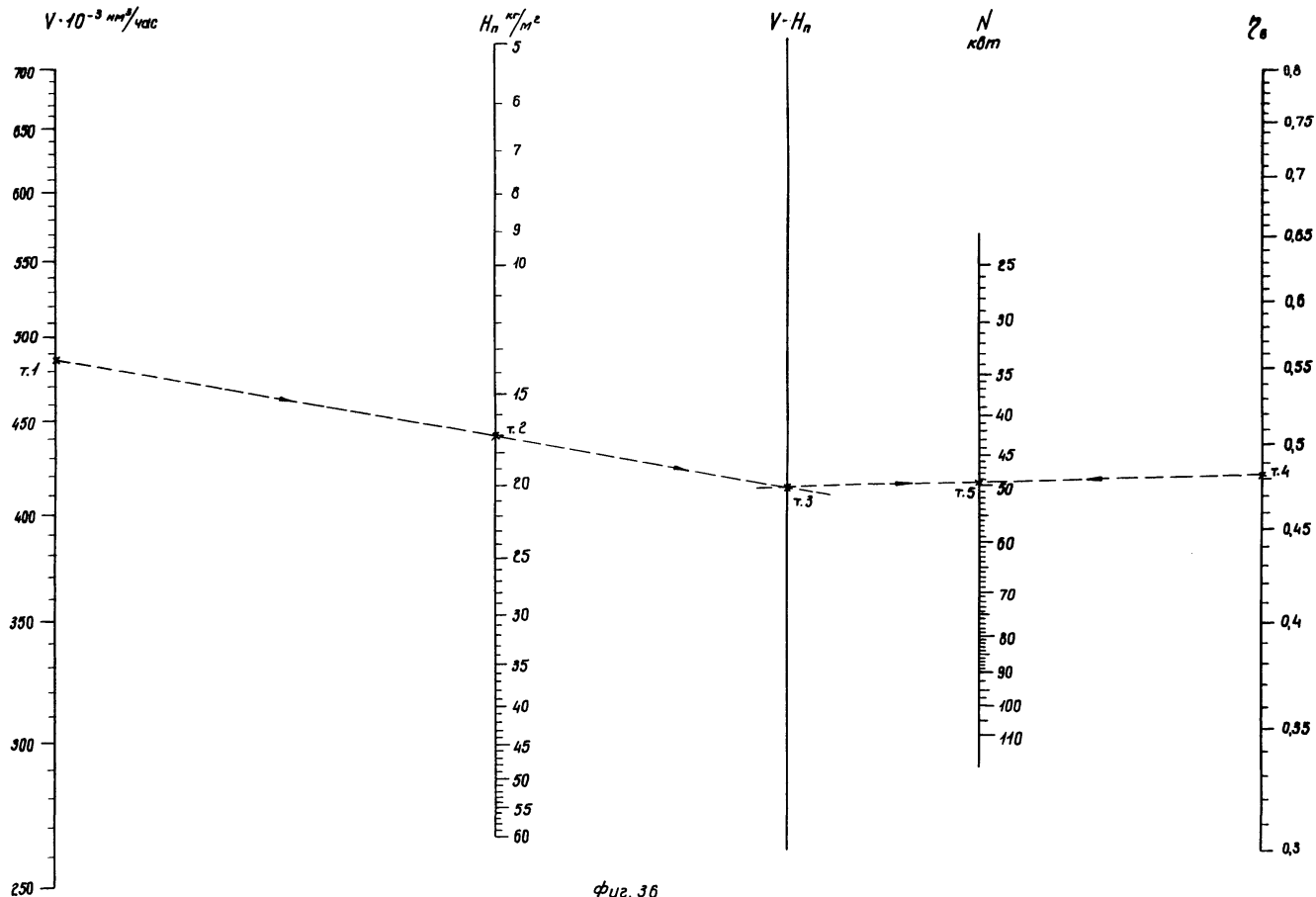
Фиг. 35



Определение потребляемой мощности аппарата воздушного охлаждения зигзагообразного типа АВЗ.

Методика теплового и аэродинамического расчёта аппаратов воздушного охлаждения

Лист 56\*



Фиг. 36

**РАСЧЕТ**

коэффициента теплоотдачи со стороны  
продукта  $\alpha_{вн}$

**I. Коэффициент теплоотдачи со стороны конденсирующихся паров продукта**

Поскольку процесс конденсации паров внутри горизонтальных труб в достаточной степени не изучен, то возможно применение в этом случае общеизвестных формул (Л.13) для  $\alpha_k$  на наружной поверхности труб с введением поправочного коэффициента

$$\alpha_k = K_L \cdot C \sqrt{\frac{\gamma \cdot \lambda^3 \cdot 3600}{\mu}} \cdot \frac{\sqrt{z}}{\sqrt{l(t_s - t_w)}}$$

Здесь:  $\alpha_k$  - коэффициент теплоотдачи, ккал/м<sup>2</sup>.час.гр.

$K_L$  - поправочный коэффициент, учитывающий особенности процесса конденсации внутри горизонтальных труб определяется по графику 37. При конденсации в вертикальных трубах  $K=1$

$C = 1,15$  для вертикальных труб

$C = 0,72$  для горизонтальных труб

$l$  - определяющий геометрический параметр для вертикальных труб  $l=H$ , где  $H$  - высота труб, м для горизонтальных труб  $l=d_{вн}$ , где  $d_{вн}$  - внутренний диаметр труб, м

$\gamma$  - удельный вес, кг/м<sup>3</sup>

$\lambda$  - коэффициент теплопроводности, ккал/м.час.гр.

$\frac{\mu}{\sqrt{t_s - t_w}}$  - динамический коэффициент вязкости, кг.сек./м<sup>2</sup> берется при средней температуре пленки  $t_m$

$$t_m = \frac{t_s + t_w}{2}$$

$t_s$  - температура насыщения (конденсации), °C

$t_w$  - температура стенки, °C

$z$  - теплота парообразования, ккал/кг

$\sqrt{z}$  - берется по температуре насыщения  $t_s$ .

**2. Коэффициент теплоотдачи со стороны конденсирующегося водяного пара (в горизонтальных трубах)**

$$\alpha_{вн} = (3400 + 100 \cdot W) \sqrt{\frac{1,21}{l}} \quad (\text{Л.15})$$

Здесь:  $\alpha_{вн}$  - коэффициент теплоотдачи со стороны водяного пара, ккал/м<sup>2</sup>.час.гр.

$W$  - скорость пара на входе в трубу, м/сек

$l$  - длина трубы, м

Для других паров конденсирующихся внутри горизонтальных труб можно принять соотношение (Л.15):

$$\alpha_n = \frac{\lambda_n}{\lambda_{вн}} \cdot \sqrt{\frac{\frac{\gamma_n^2}{z_n}}{\frac{\gamma_{вн}^2}{z_{вн}}}} \cdot \alpha_{вн}$$

Физические параметры  $\lambda, \gamma, z$  принимаются соответственно для рассчитываемых паров и водяного пара, при температуре пленки  $t_m$ . Наличие неконденсирующихся газов в составе конденсирующегося паров может учитываться в соответствии с рекомендациями (Л.13).

**3. Коэффициент теплоотдачи при охлаждении продукта**

При турбулентном режиме движения продукта внутри труб коэффициент теплоотдачи определяется по следующей формуле (Л.18):

$$\alpha_{охл} = 0,021 \frac{\lambda}{d_{вн}} \cdot Re_f^{0,85} \cdot Pr_f^{0,45} \cdot \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0,25}$$

При развитом турбулентном режиме коэффициент теплоотдачи может быть определен по более простой формуле (Л.18)

$$\alpha_{охл} = 0,023 \cdot \frac{\lambda}{d_{вн}} \cdot Re_m^{0,8} \cdot Pr_m^{0,4}$$

Для переходного режима движения ( $2200 \leq Re \leq 10000$ ), при определении коэффициента теплоотдачи в вышеуказанные формулы необходимо вводить поправочный коэффициент  $\gamma_{Re}$ , который определяется по графику фиг. 38.

При ламинарном режиме ( $Re < 2200$ ), коэффициент теплоотдачи определяется по формуле (Л.18):

$$\alpha_{охл} = 0,17 \frac{\lambda}{d_{вн}} \cdot Re_f^{0,33} \cdot Pr_f^{0,45} \cdot Gr_f^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0,25}$$

Здесь:  $Re = \frac{W \cdot d_{вн}}{\nu}$  - критерий Рейнольдса

$Pr = \frac{\nu}{a} = \frac{\nu \cdot c_p \cdot \gamma}{\lambda}$  - критерий Прандтля

$Gr = \frac{\beta \cdot \Delta t \cdot d_{вн}^3 \cdot \lambda}{\nu^2}$  - критерий Грасгофа

$\beta$  - коэффициент объемного расширения, 1/°C

$\Delta t$  - разность температур продукта и стенки, °C

Индексы:  $f$  и  $m$  - показывают, что физические параметры берутся при средней температуре продукта

$w$  - показывает, что физические параметры берутся при температуре стенки

В случае конденсации или охлаждения многокомпонентной смеси общий коэффициент теплоотдачи можно рассчитывать по следующей формуле:

$$\alpha = \frac{\alpha_1 \cdot G_1 + \alpha_2 \cdot G_2 + \dots + \alpha_n \cdot G_n}{G}$$

где:  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  - коэффициенты теплоотдачи отдельных компонентов (фракций), ккал/м<sup>2</sup>.час.гр.

$G_1, G_2, \dots, G_n$  - весовой расход отдельных компонентов, кг/час

$G = G_1 + G_2 + \dots + G_n$  - полный весовой расход продукта, кг/час

Коэффициенты теплоотдачи при охлаждении продуктов можно рассчитывать также по формулам, приведенным в (Л.10).

Приложение 2

Гидродинамический расчет

Гидродинамическое сопротивление при движении продукта внутри труб складывается из потерь на трение и местные сопротивления и определяется по следующей общеизвестной формуле: (Л.18)

$$\Delta P_{\text{гн}} = \sum \varepsilon \frac{\ell}{d_{\text{гн}}} \frac{W_{\text{гн}}^2 \gamma}{2g} + \sum \zeta \frac{W_{\text{гн}}^2 \gamma}{2g}$$

Здесь:  $\Delta P_{\text{гн}}$  - суммарные гидравлические потери, кг/м<sup>2</sup> или мм.вод.ст.

$\ell$  - длина труб, м

$W_{\text{гн}}$  - скорость (средняя) продукта в трубах, м/сек

$g$  - ускорение силы тяжести,  $g = 9,81$  м/сек<sup>2</sup>

$\gamma$  - удельный вес продукта при  $t_{\text{ср}}$ , кг/м<sup>3</sup>

$\varepsilon$  - коэффициент сопротивления трения

При ламинарном режиме движения жидкости

$$\varepsilon = \frac{64}{Re}$$

$$Re = \frac{W_{\text{гн}} \cdot d_{\text{гн}}}{\nu}$$

$\nu$  - кинематическая вязкость при  $t_{\text{ср}}$ , м<sup>2</sup>/сек

При турбулентном режиме движения жидкости для  $3000 < Re < 100000$

$$\varepsilon = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (\text{для гладких труб})$$

$$\varepsilon = \frac{1}{(1,74 + 2 \lg \frac{z}{8})^2} \quad (\text{для шероховатых труб})$$

Здесь:  $z$  - радиус внутренний, мм

$\delta$  - абсолютная шероховатость (средняя высота отдельных выступов на поверхности трубы), мм, определяется в зависимости от вида труб

Виды труб	$\delta$ , мм
Латунные и нержавеющие	0,1
Стальные, с некорродирующими газами и парами (водяной пар, воздух)	0,1
Стальные, с некорродирующими жидкостями (вода, нефть, спирт)	0,2
Стальные, со слабо корродирующими жидкостями ( $NH_3$ , артезианская вода)	0,3+0,5
Стальные, с сильно корродирующими жидкостями ( $H_2SO_4, CaCl_2$ ) и газами	0,8

$\zeta$  - коэффициент местных сопротивлений

Рекомендуемые значения  $\zeta$ , отнесенные к средним скоростям продукта в трубах:

1. Входная или выходная камера (удар и поворот)

$$\zeta_1 = 1,5$$

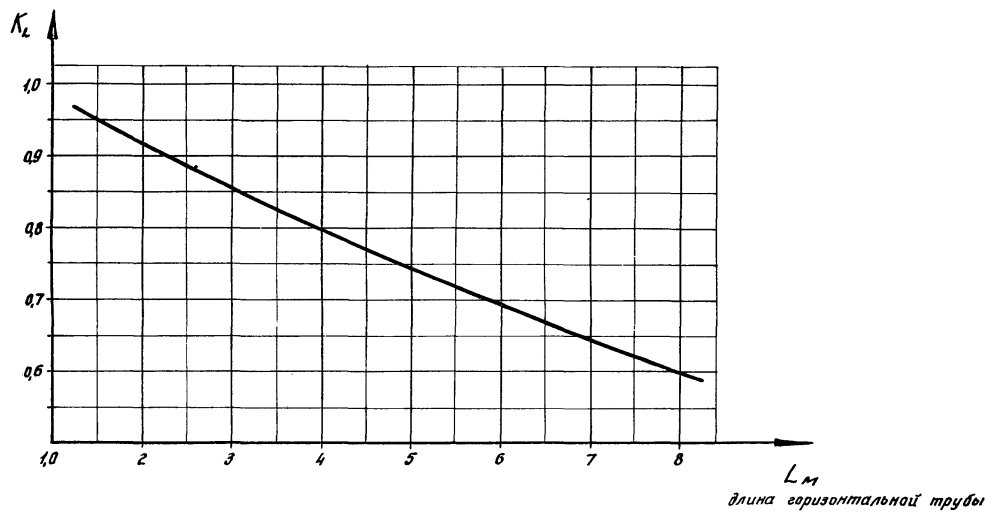
2. Поворот на 180° между ходами и секциями

$$\zeta_2 = 2,5$$

3. Вход в трубы или выход из них

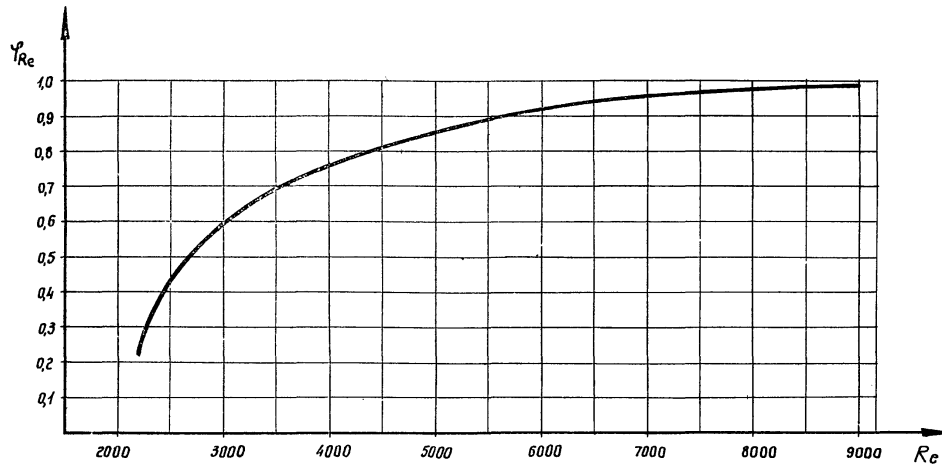
$$\zeta_3 = 1,0$$

Поправочный коэффициент, учитывающий  
наличие пленки конденсата при конденсации  
внутри горизонтальных труб.



Фиг. 37

Поправочный коэффициент  $\Psi_{Re}$  для переходного  
режима ( $2000 < Re < 10000$ )



Фиг. 38

Климатические данные по некоторым пунктам СССР.

Таблица 8

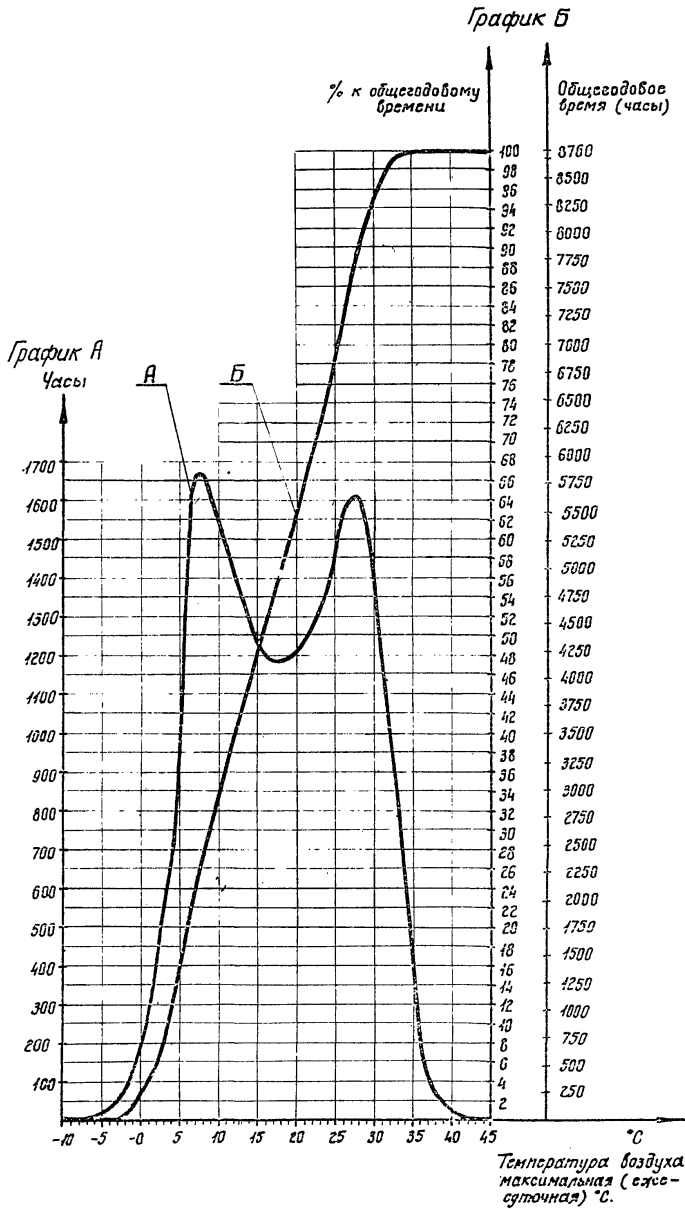
№ п/п.	Наименование пунктов	Температура воздуха, °С					Ветер			Вносимость воздуха в % Средняя в 10 лет	
		Средне-месячная	Средняя в 10 лет	Средняя маяминья	Средняя холодноты	Средняя июльноты	Средняя скорость в м/сек.		Самое холодное	Самое жаркое	
							За три холодноты	За три июльноты			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
<b>Европейская часть.</b>											
1	Астрахань	-6,9	25,1	29,3	31,1	-22	—	—	81	47	
2	Баку	3,8	25,7	27,9	30,6	-4	5,9	—	75	54	
3	Брянск	-8,6	18,2	22,5	22,6	-24	—	—	82	58	
4	Волгоград	-9,6	24,2	28,6	30,2	-25	6,3	4,6	84	40	
5	Воронеж	-9,6	19,8	24,1	—	-25	5,5	4,0	84	50	
6	Горький	-12,0	18,2	21,6	—	-28	4,7	3,5	86	56	
7	Гурьев	-10,4	25,4	29,7	31,5	-24	4,8	4,2	82	41	
8	Донецк	-8,6	24,5	28,4	27,5	-25	6,4	4,0	84	44	
9	Златоуст	-15,4	18,3	20,6	—	-31	3,9	3,1	82	60	
10	Иваново	-11,5	18,4	22,2	—	-28	3,7	2,9	86	59	
11	Казань	-13,0	20,0	24,0	—	-29	3,9	3,1	82	48	
12	Калинин	-9,5	18,3	21,7	23,9	-25	4,4	—	83	58	
13	Киев	-5,9	19,8	23,5	24,9	-21	4,3	3,6	83	55	
14	Киров	-14,2	18,0	21,8	—	-31	6,1	4,7	87	57	
15	Куйбышев	-13,4	20,6	24,2	26,3	-29	4,9	3,6	84	46	
16	Курск	-8,9	19,1	23,4	—	-24	4,9	3,9	84	55	
17	Ленинград	-8,0	17,7	20,3	22,1	-24	4,7	4,0	87	59	
18	Луганск	-6,8	22,0	27,4	29,1	-23	6,5	4,2	78	43	
19	Москва	-17,8	15,8	21,4	23,8	—	4,9	3,6	84	60	
20	Одесса	-2,5	22,2	24,9	26,9	-17	6,9	4,9	82	58	
21	Оренбург	-15,0	22,0	26,9	28,5	-30	4,5	3,6	83	41	
22	Орск	-18,8	21,4	26,3	28,2	-32	—	—	80	54	
23	Пенза	-12,0	19,8	24,1	25,6	-28	4,2	3,1	84	52	
24	Пермь	-15,4	18,0	21,8	23,7	-31	3,6	2,8	83	57	
25	Ростов-на-Дону	-5,7	23,4	27,2	29,0	-21	6,1	3,8	83	46	
26	Рига	-4,5	18,0	21,0	22,7	-20	4,6	4	84	61	
27	Рязань	-18,4	19,2	22,8	24,4	-28	4,0	2,9	85	56	
28	Саратов	-12,0	21,5	25,7	27,3	-28	5,2	3,8	83	42	
29	Свердловск	-15,6	17,3	21,1	22,9	-31	4,4	3,9	79	55	
30	Смоленск	-8,5	17,5	21,1	22,7	-24	4,4	3,0	85	62	
31	Сочи	4,8	22,8	25,7	27,3	-3	2,7	2	67	68	
32	Стерлитамак	-15,4	18,9	24,6	—	-31	—	—	78	50	
33	Тума	-9,8	18,6	22,8	24,2	-25	4,1	—	85	57	
34	Ульяновск	-12,9	19,9	23,8	25,7	-30	—	—	83	48	
35	Уральск	-14,1	23,1	28,1	—	-29	4,5	3,8	81	36	
36	Уфа	-14,8	19,4	23,4	25,3	-30	5,2	4,0	82	53	
37	Харьков	-7,4	20,3	25,1	28,5	-22	3,0	2,2	82	49	
38	Челябинск	-15,7	18,7	22,8	24,6	-31	4,2	3,9	78	54	

Методика методики и определения климатических элементов

Азиатская часть

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
39	Актмолинск	-17,4	20,2	27,0	27,0	-35	6,1	4,4	80	41
40	Актюбинск	-15,6	22,3	27,6	29,3	-31	4,8	3,9	83	29
41	Барнаул	-17,7	19,6	24,0	25,7	-37	3,2	2,9	77	51
42	Братск	-23,5	18,0	22,5	—	-44	2,0	2,5	76	55
43	Циркутск	-20,9	17,5	22,6	24,6	-36	2,1	2,4	77	55
44	Караганда	-15,1	20,3	25,1	27,0	-32	4,7	3,9	80	35
45	Краснодарск	2,9	28,8	34,6	33,7	-7	3,2	4,5	70	40
46	Красноярск	-17,8	19,9	24,2	25,9	-40	2,5	1,8	72	54
47	Камсомольск-на-Амуре	-25,6	19,9	22,8	24,9	-34	3,6	3,9	—	—
48	Кзыл-Орда	-9,3	25,7	31,9	33,4	-24	3,6	2,7	76	30
49	Минусинск	-19,6	20,3	24,3	26,4	-42	1,9	2,1	72	50
50	Нароит (Томская обл.)	-22,0	18,5	22,8	23,8	—	—	—	80	60
51	Новосибирск	-19,0	19,0	23,0	24,6	-39	3,9	3,1	80	55
52	Омск	-19,4	19,4	23,6	25,7	-37	—	—	79	54
53	Петропавловск	-19,0	19,1	23,5	24,9	-35	4,9	3,9	81	52
54	Самарканд	0,3	26,0	33,1	33,9	-15	—	—	62	26
55	Ташкент	-0,9	26,9	33,3	33,8	-15	1,4	1,3	59	27
56	Тобольск	-18,5	18,0	24,6	23,2	-36	3,9	3,9	80	56
57	Томск	-19,2	18,1	22,5	23,7	-39	4,8	3,3	59	24
58	Тюмень	-16,6	18,6	22,4	24,2	-35	3,7	3,4	17	55
59	Фергана	-3,2	26,8	33,1	34,2	-15	1,3	1,7	65	34

г. Баку



Методика метода и определения расчетная длительность воздушного охлаждения

Лист 63



г. Куйбышев

График Б

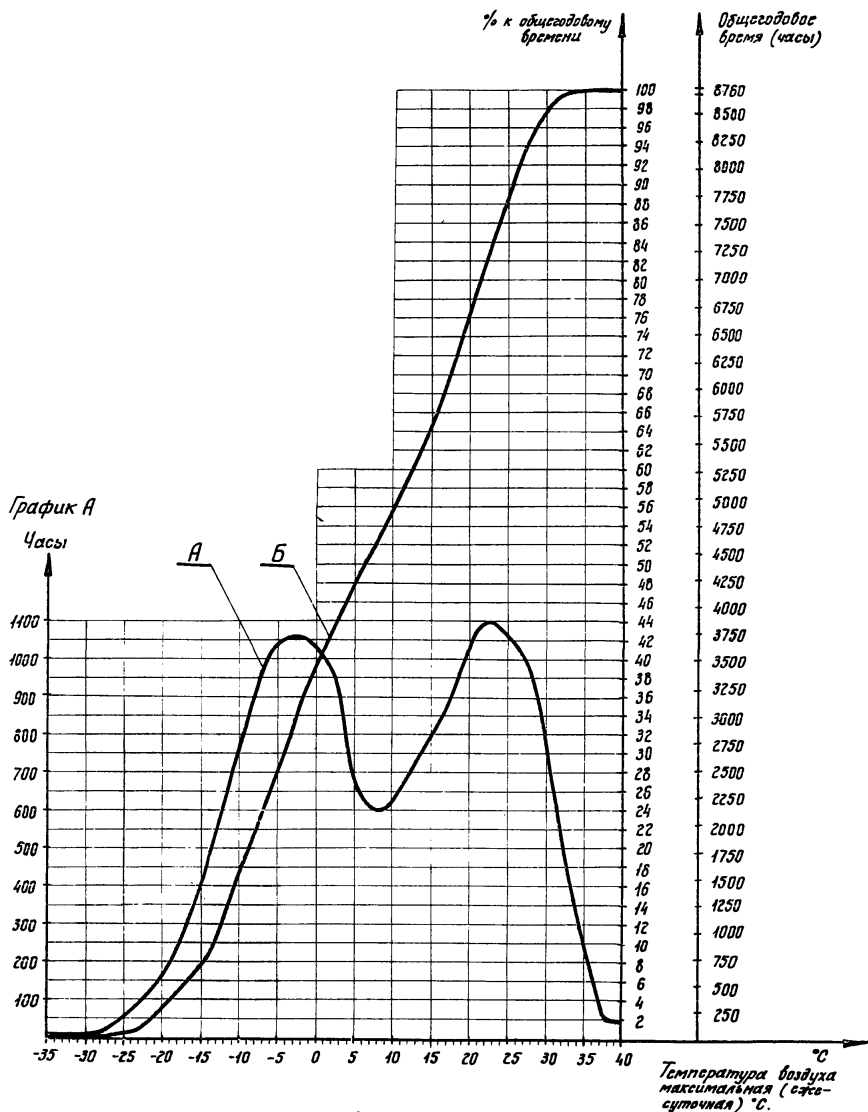
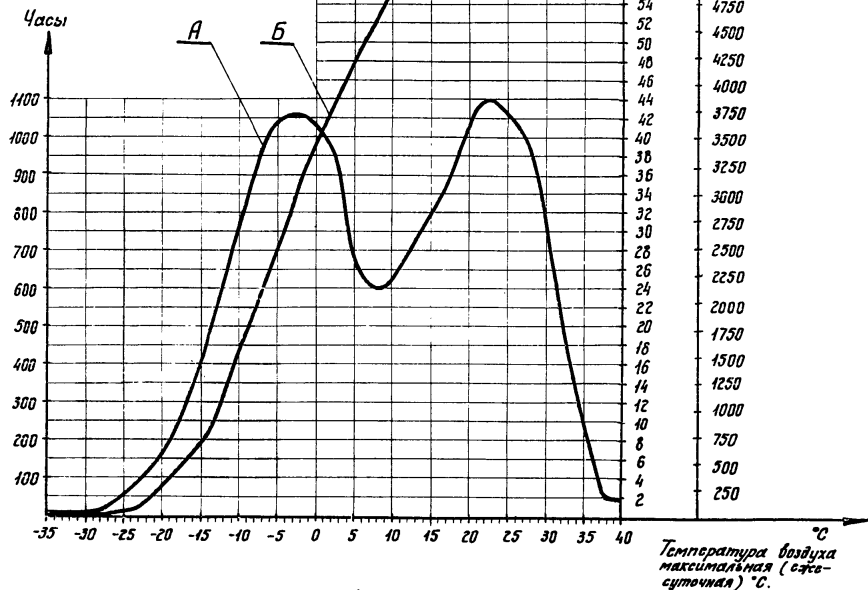


График А

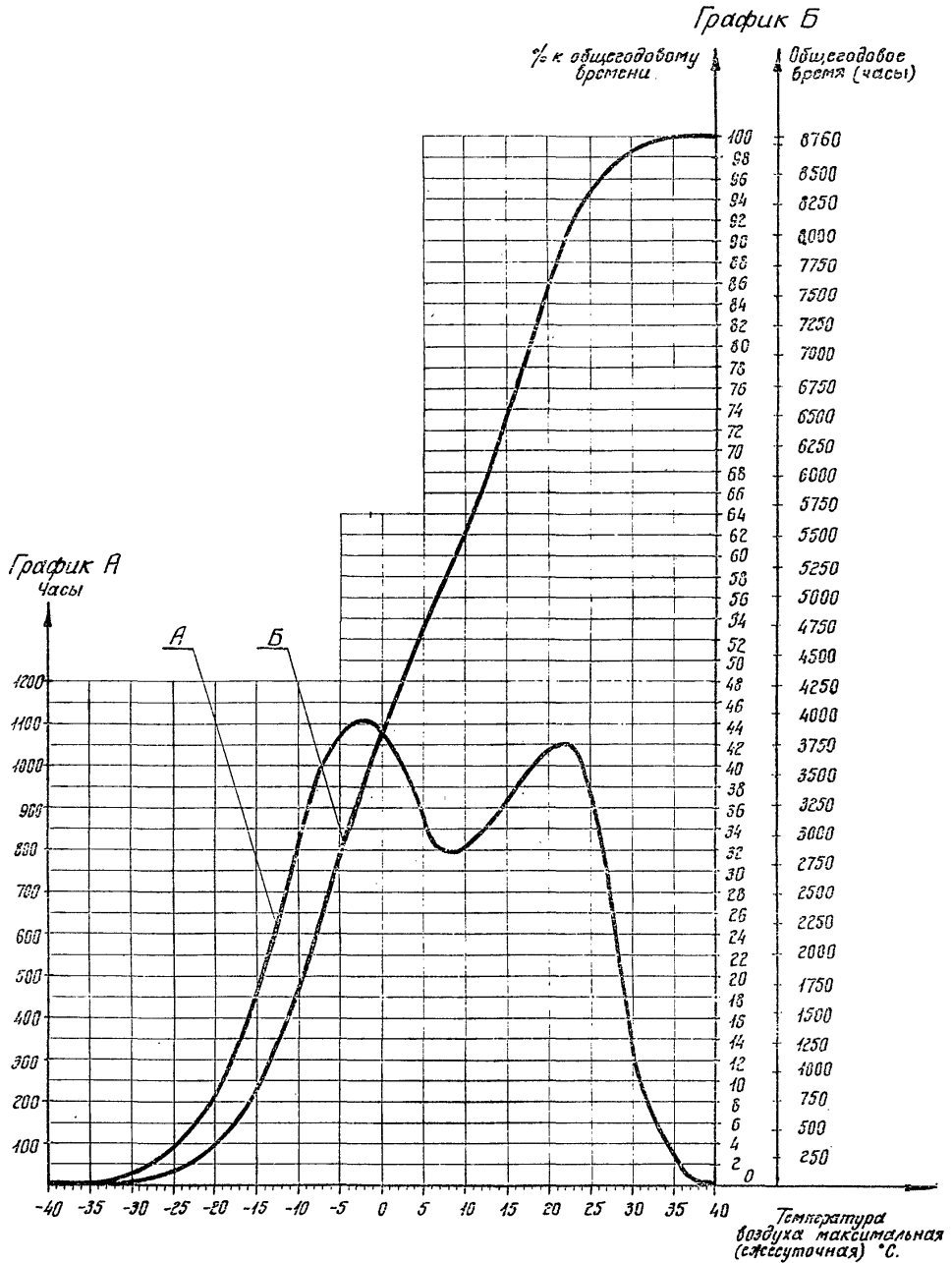


Фиг. 40

Методика подсчета и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения

Лист 64

г. Пермь

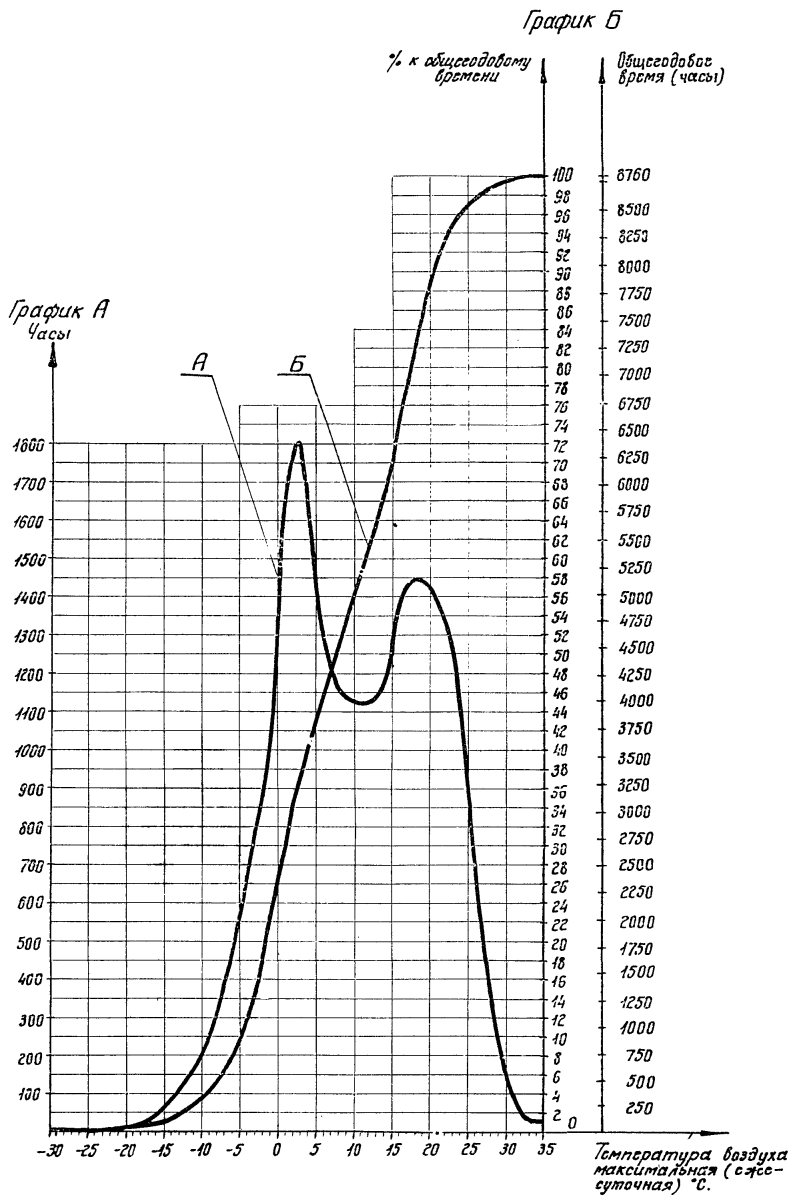


Методика измерения и арифметического расчёта параметров воздушного климата

Лист 65

Фиг. 41

г. Рига



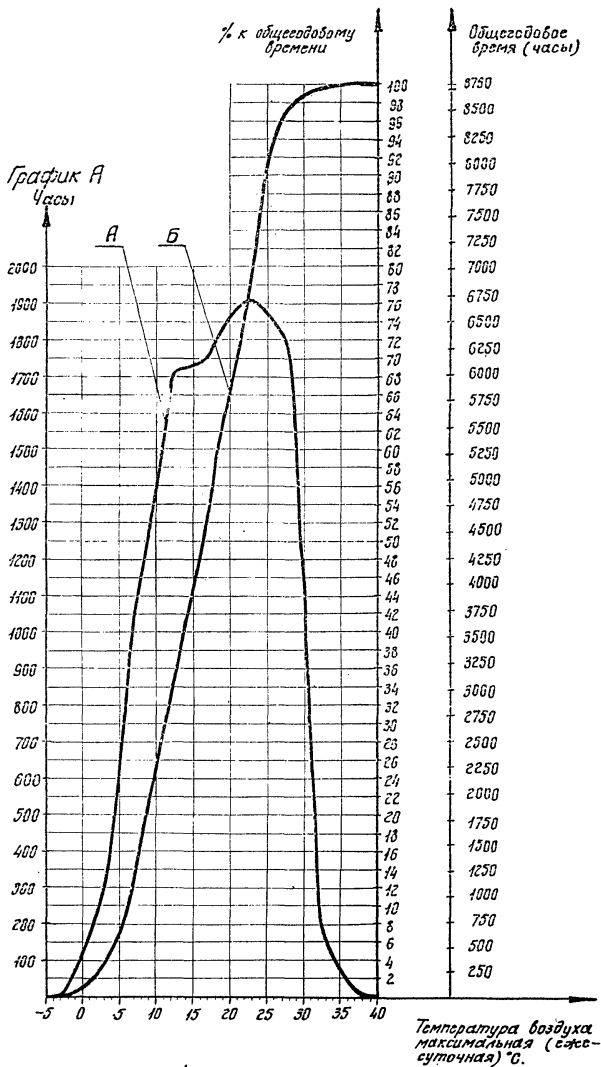
Методика теплого и пародинамического  
расчета андрамод воздушного охлаждения

Лист 66

Фиг. 42

г. Сочи

График Б

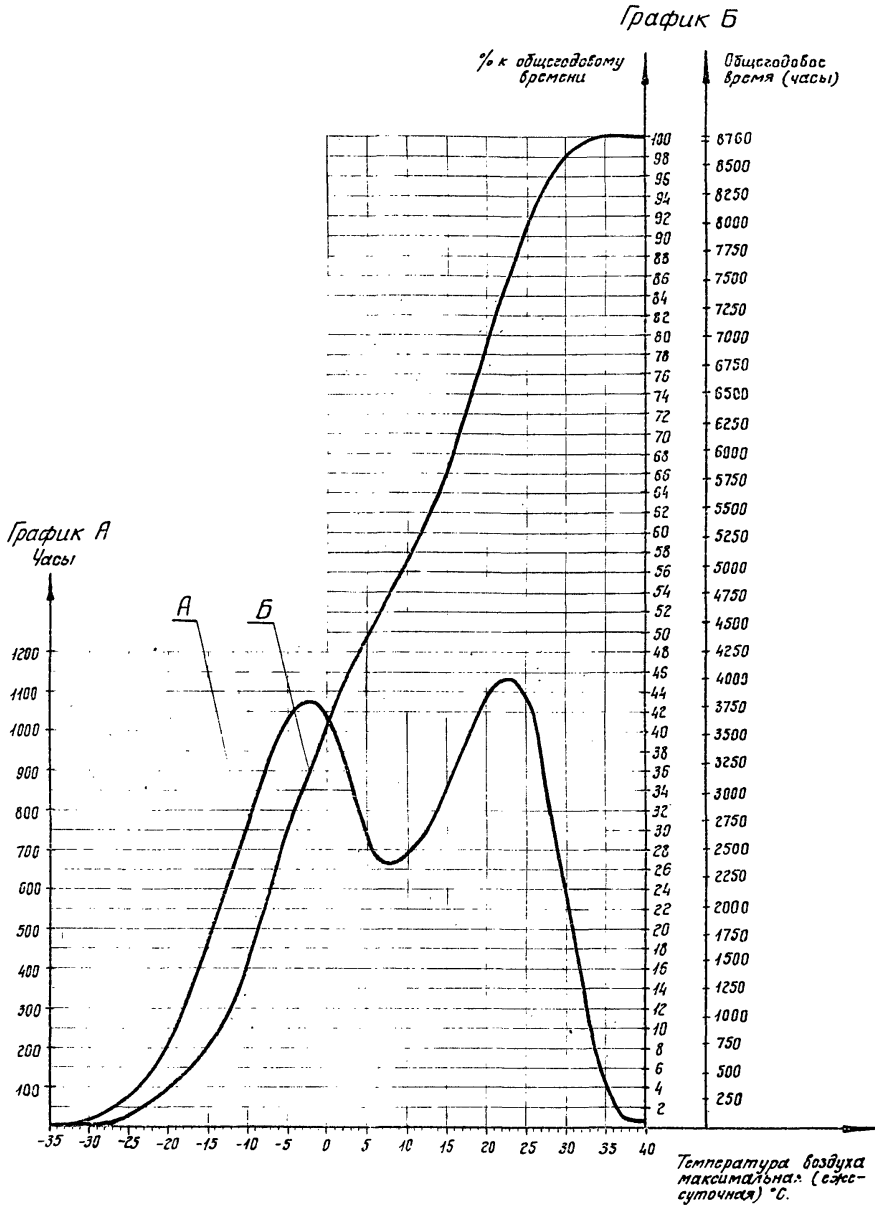


Фиг. 43

Методика измерения и аэродинамического расчета андростатического окисления

Лист 67

г. Уфа

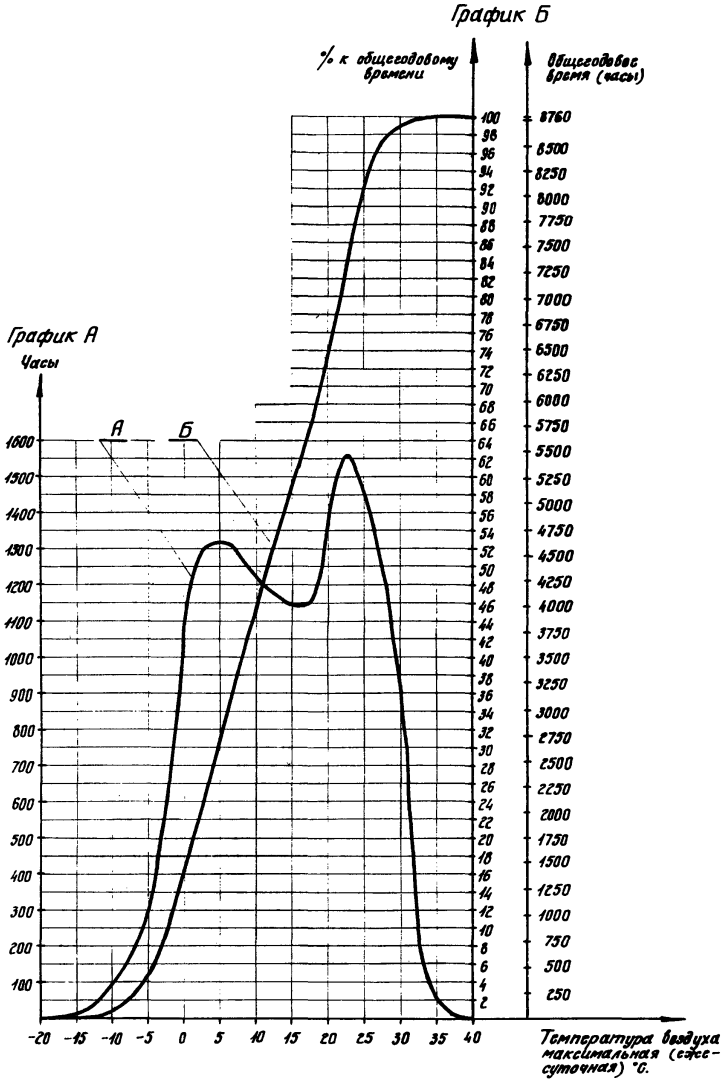


Фиг. 44

Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения

Лист 68

г. Одесса

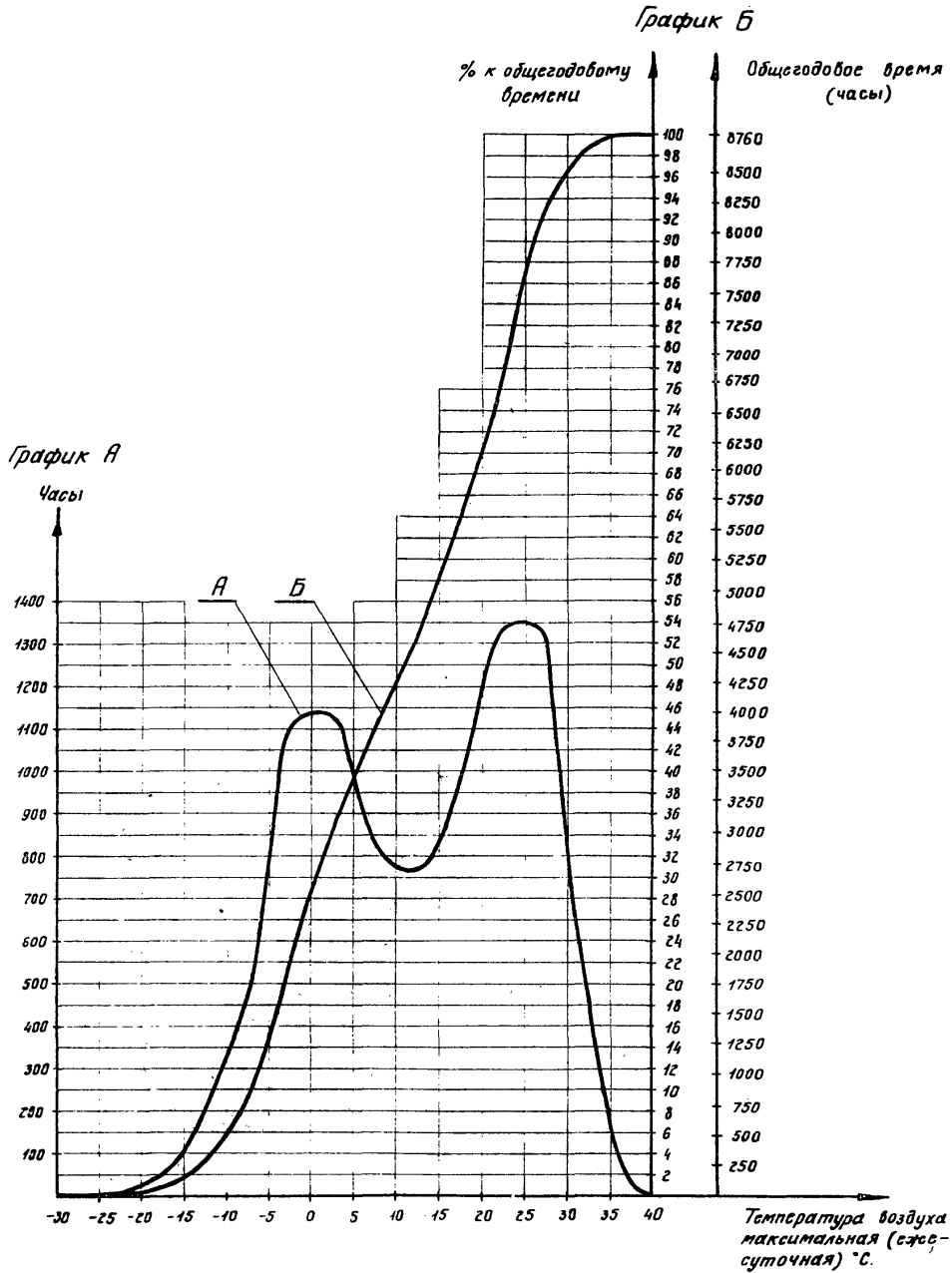


Методика температурного и пародинамического расчёта амплитуды воздушного охлаждения

Лист 09

Фиг. 45

г. Донецк

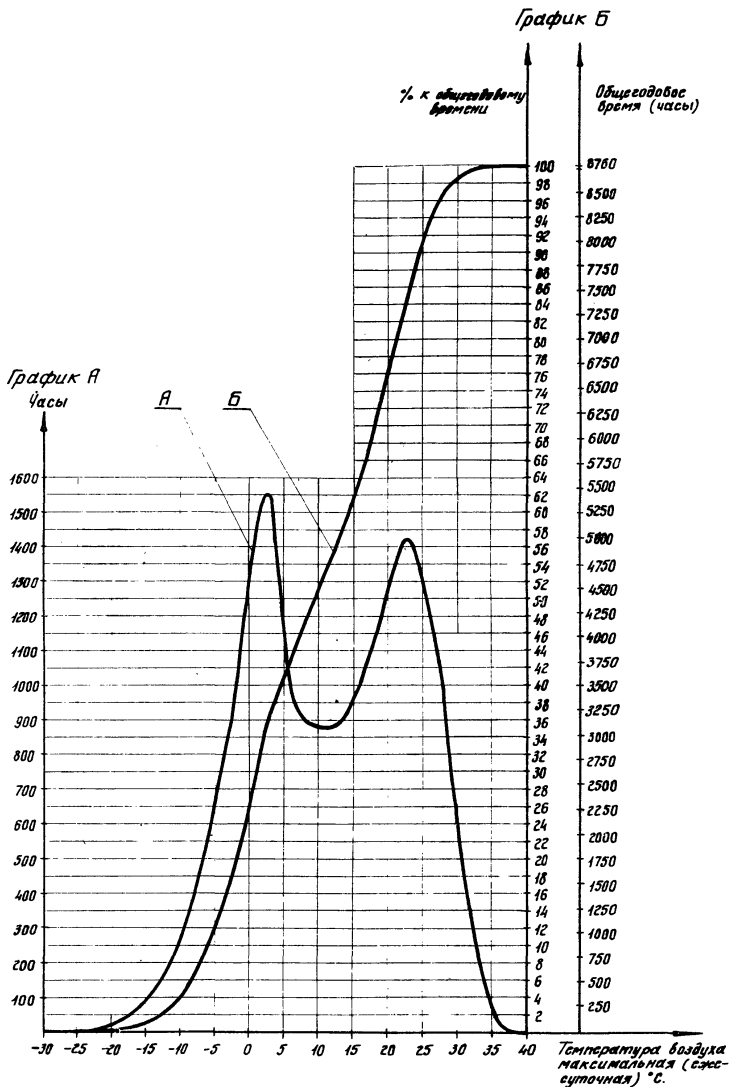


Фиг. 46

Методика теплового и аэродинамического расчета атмосферной воздушной среды

Лист 7В

г. Киев



Методика подсчета и аэродинамического расчета атмосферной воздушной диафракции

Лист 74



г. Москва

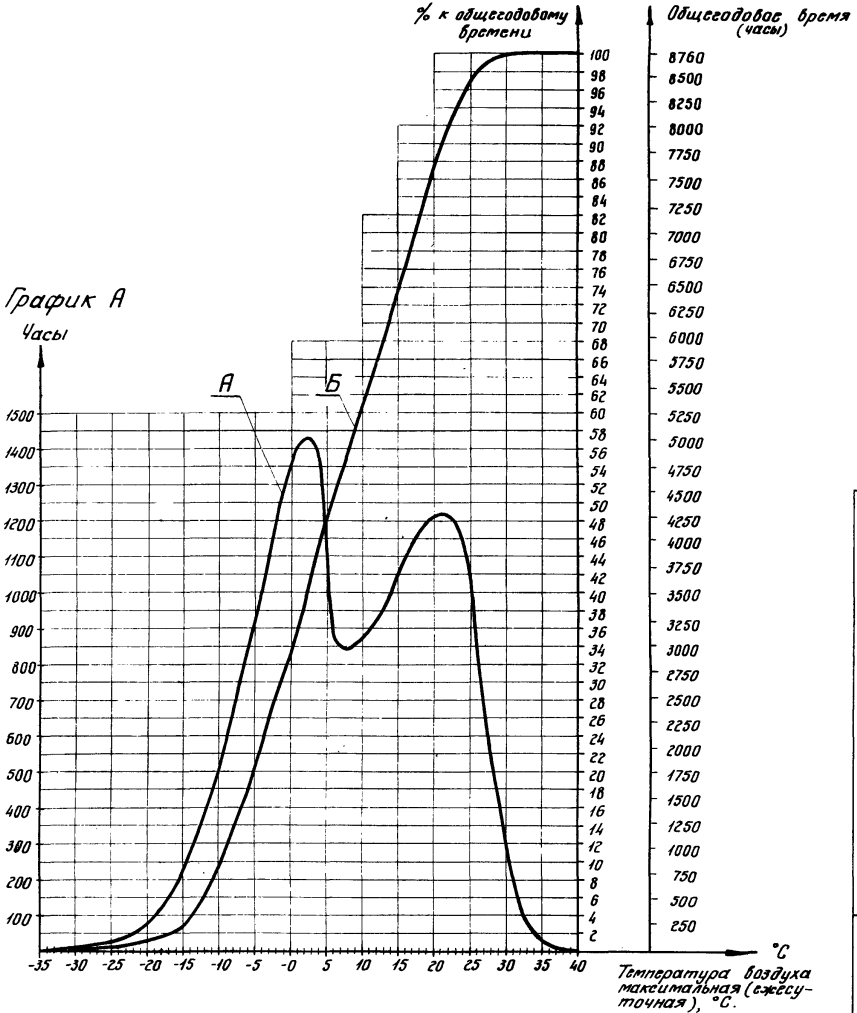
График Б

% к общегодовому  
времени

Общегодовое время  
(часы)

График А

Часы



Методика подсчета  
различия инградитов  
воздушного кислорода

Лист 72

г. Иркутск

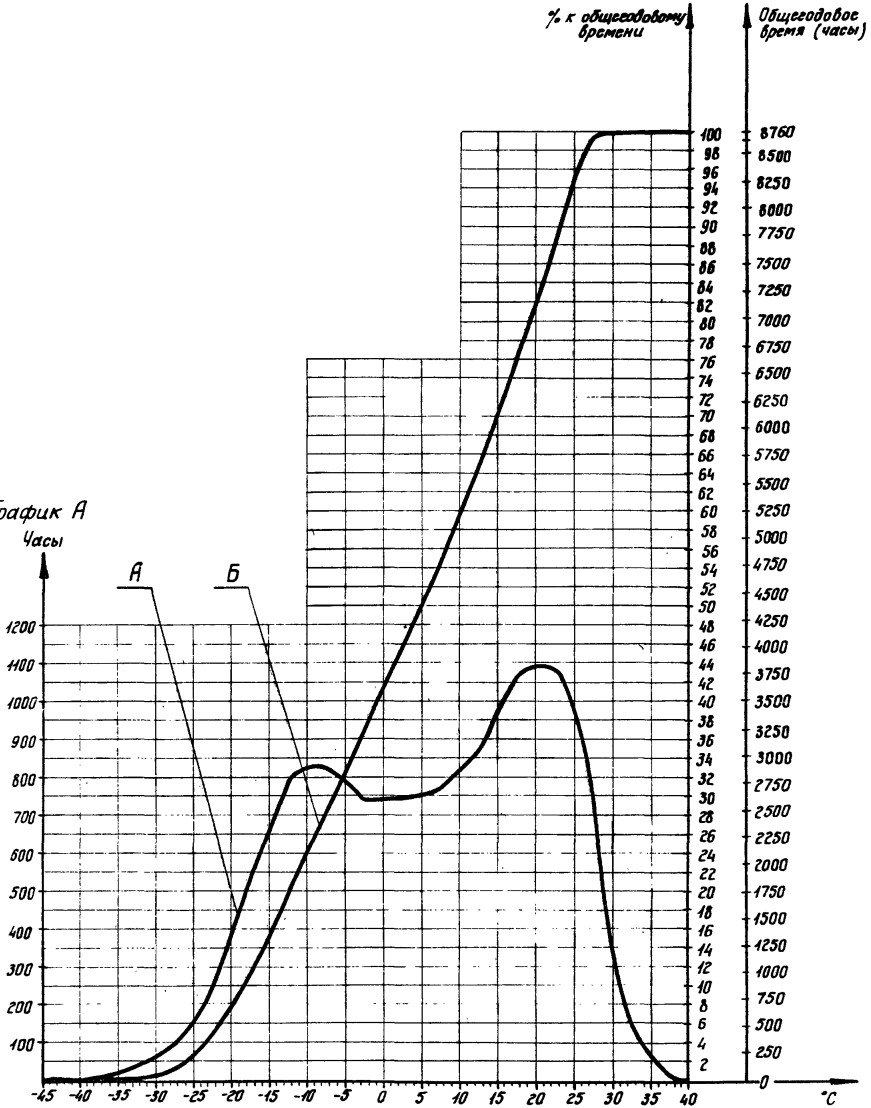
График Б

% к общегодовому времени

Общегодовое время (часы)

График А

Часы



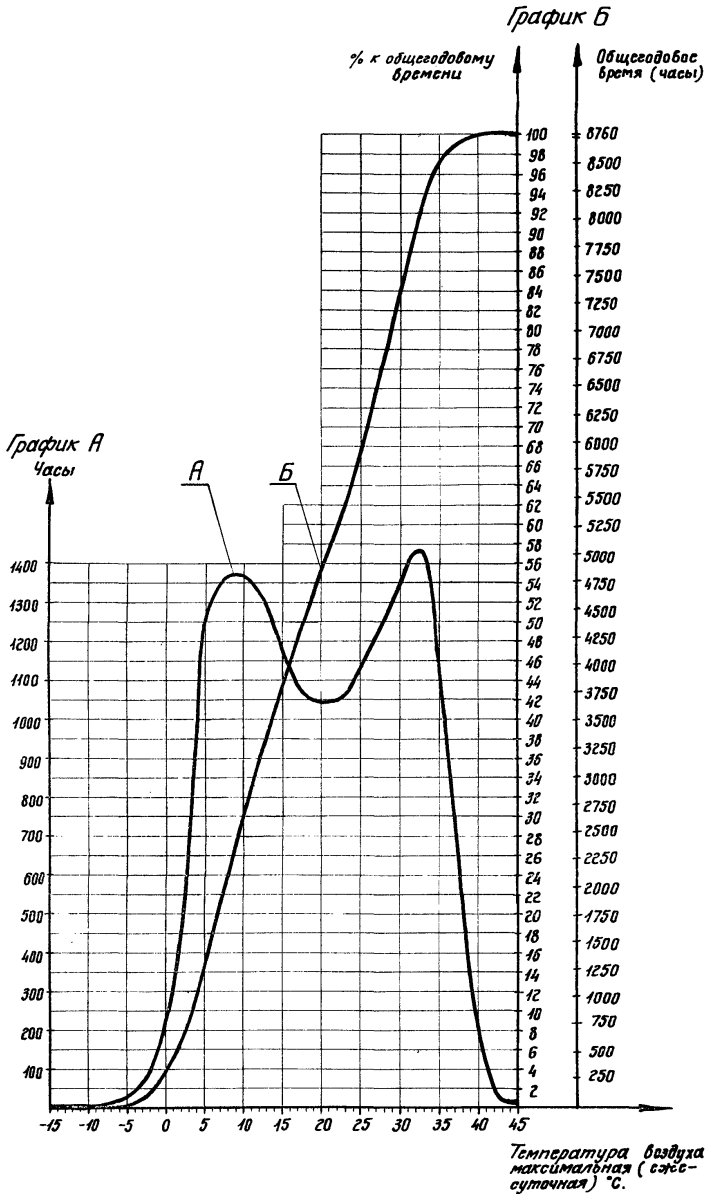
Температура воздуха  
максимальная (сезонно-суточная) °С.

Методика теплового и аэродинамического  
расчёта аттравата воздушного охлаждения

Лист 13

Фиг. 49

г. Краснодарск

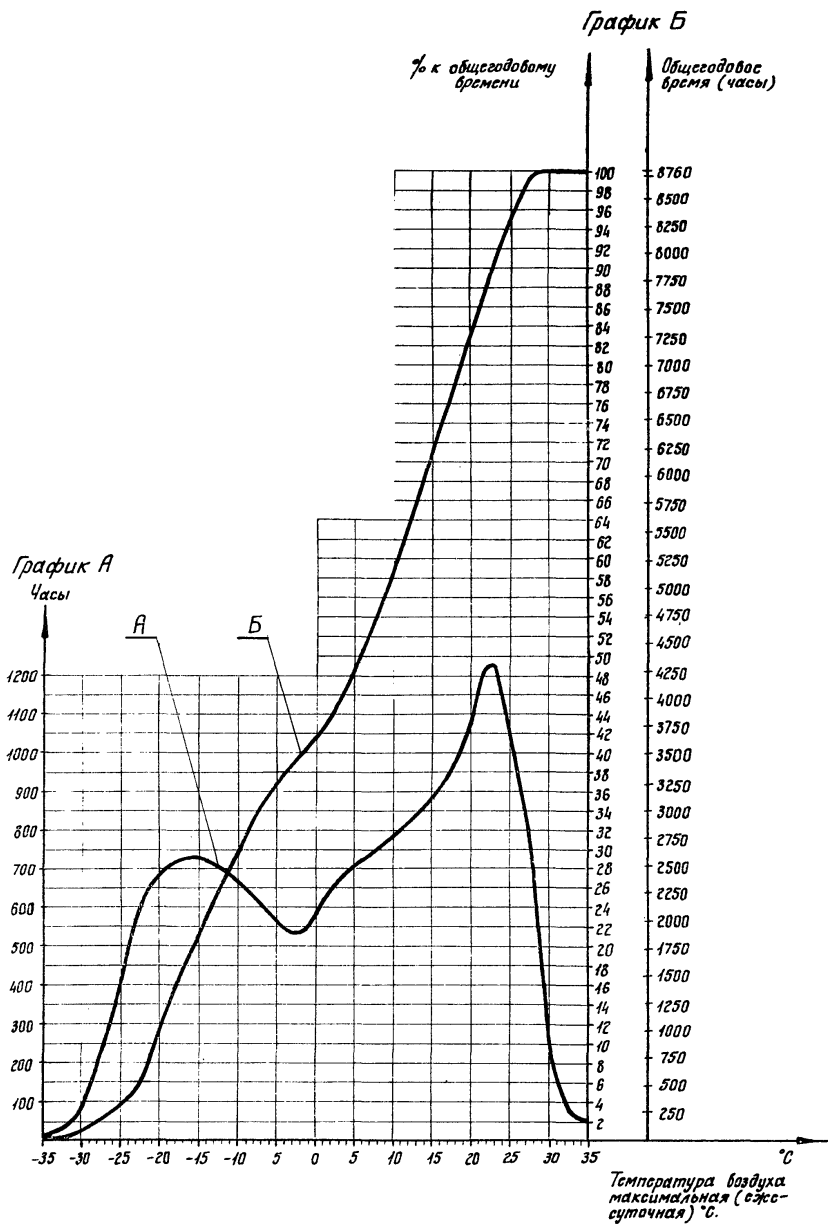


Фиг. 50

Методика теплового и аэродинамического расчёта атмосферы воздушного окладывания

Лист 74

г. Комсомольск-на-Амуре



Фиг. 51

г. Новосибирск

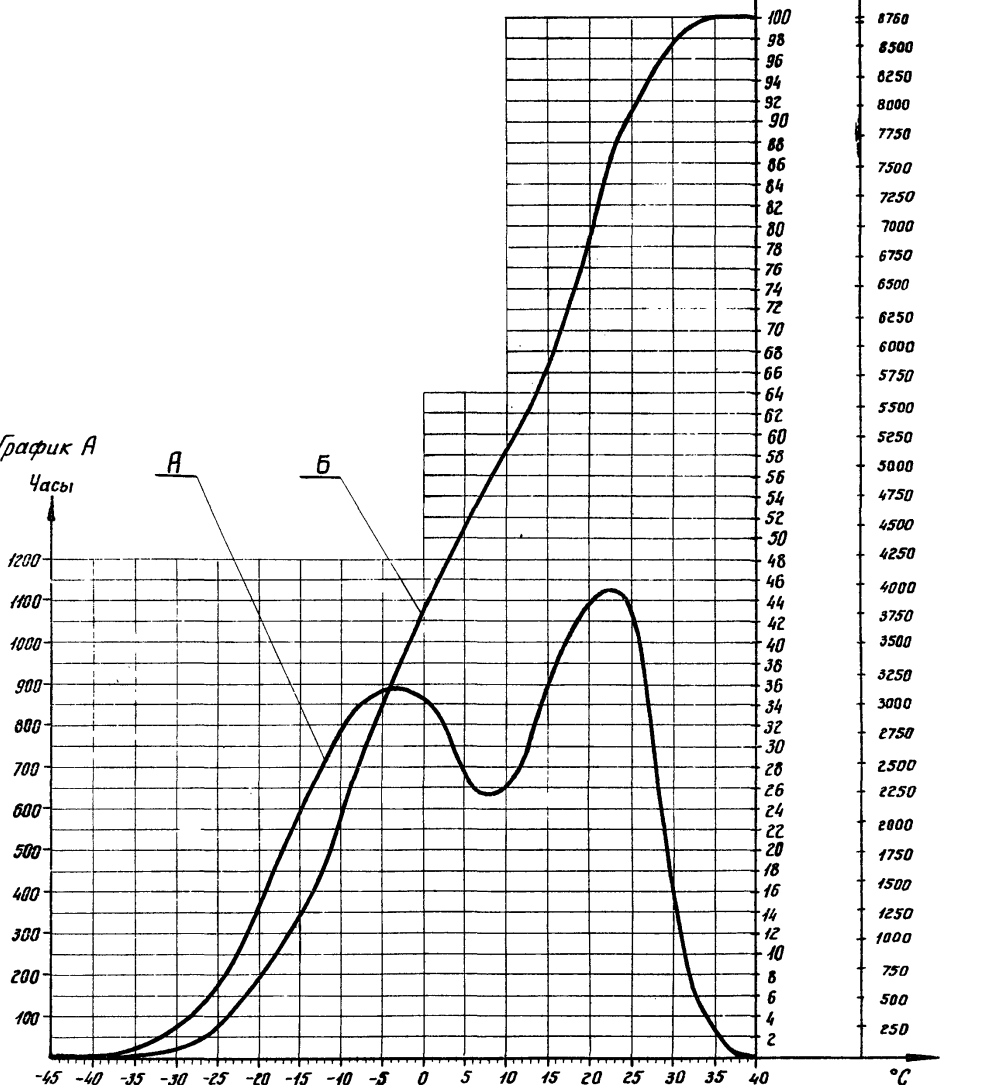
График Б

% к общегодовому времени

Общегодовое время (часы)

График А

Часы



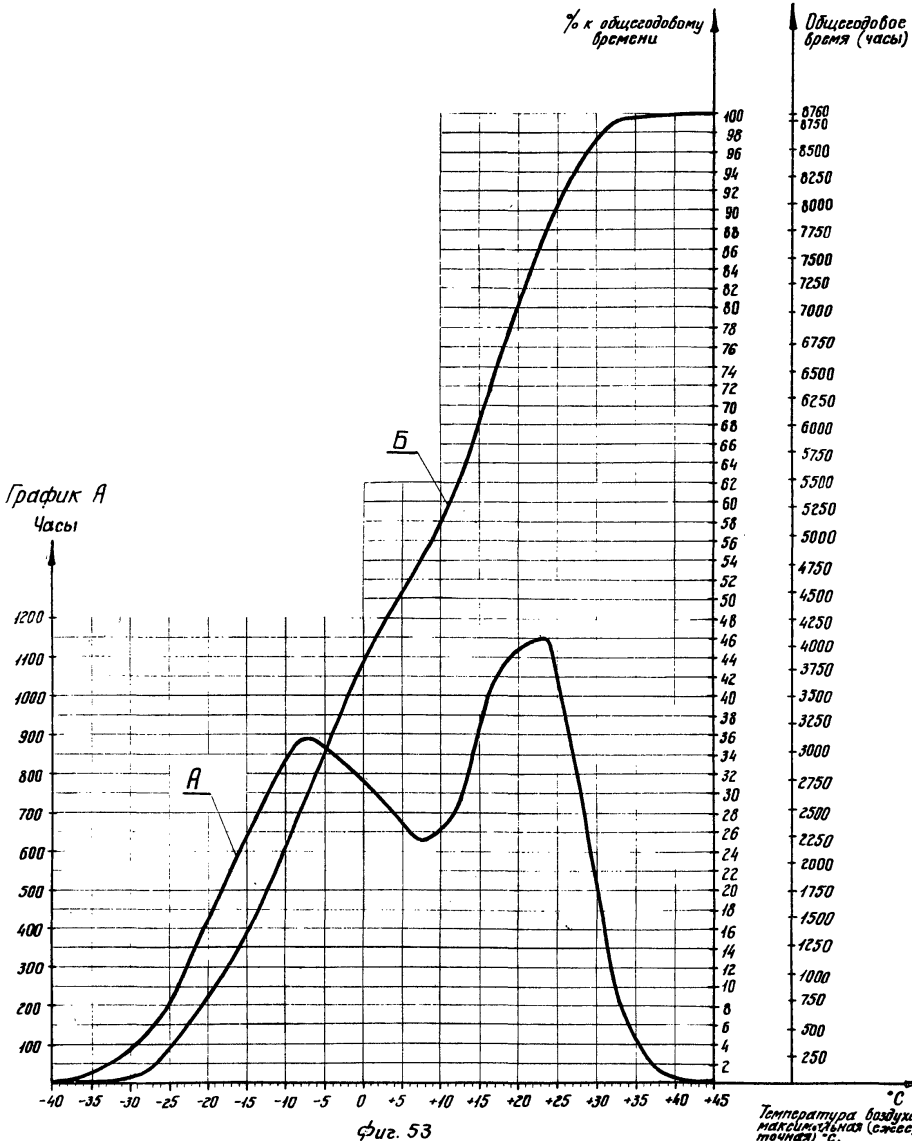
Температура воздуха максимальная (еже-суточная) °С.

Методика тепловых и аэродинамического расчёта аппаратов воздушного охлаждения

Лист 76

г. Омск

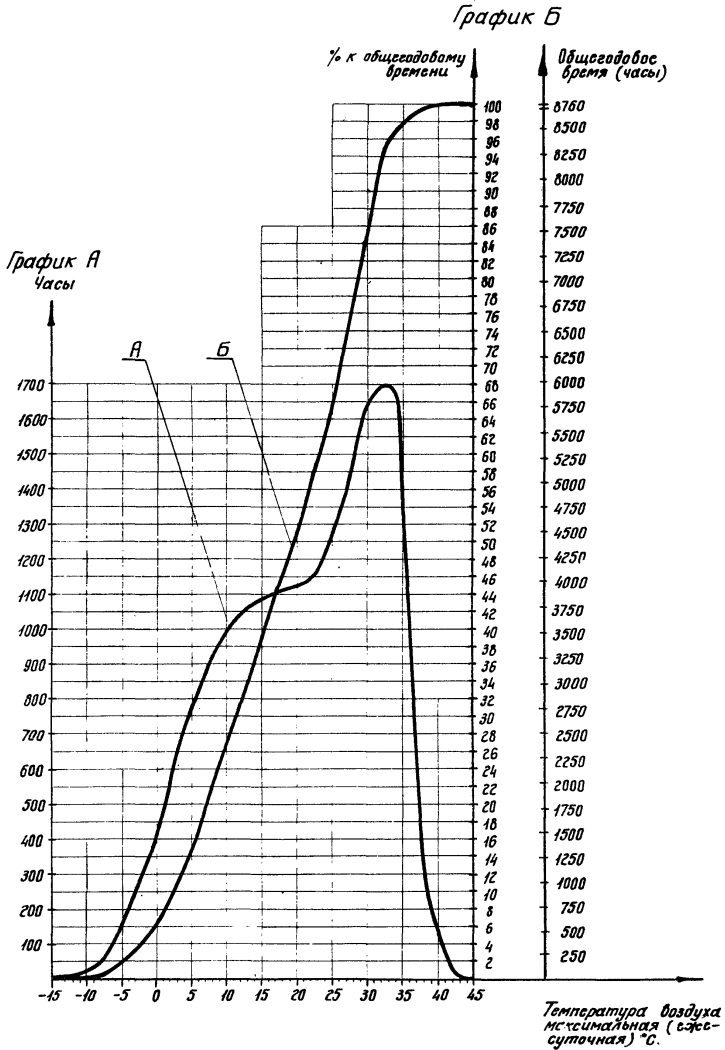
График Б



Фиг. 53

Методика измерения и определения  
расчета температурного режима  
Лист 77

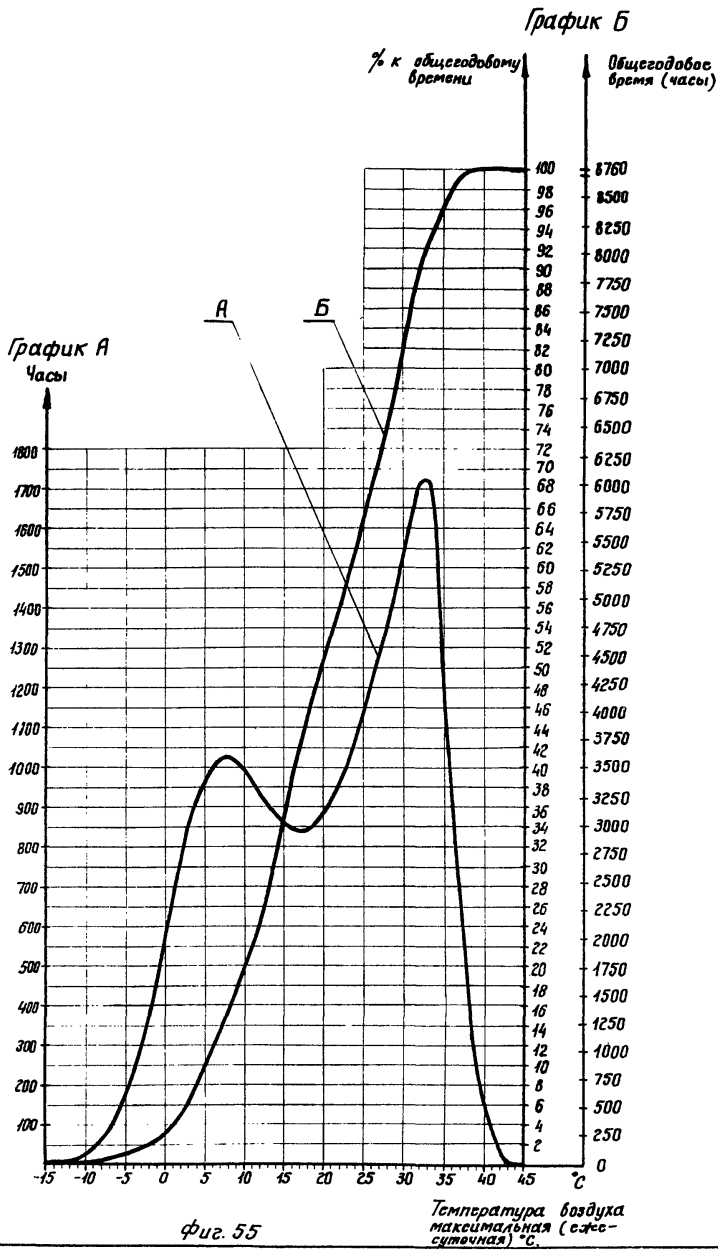
г. Самарканд



фиг. 54

Методика теплового и аэродинамического  
расчета аттаранов воздушного охлаждения

г. Фергана



Методика теплового и аэродинамического расчета димплов воздушного охлаждения



Физические параметры сухого воздуха

Таблица 9

при  $B = 760$  мм.рт.ст.

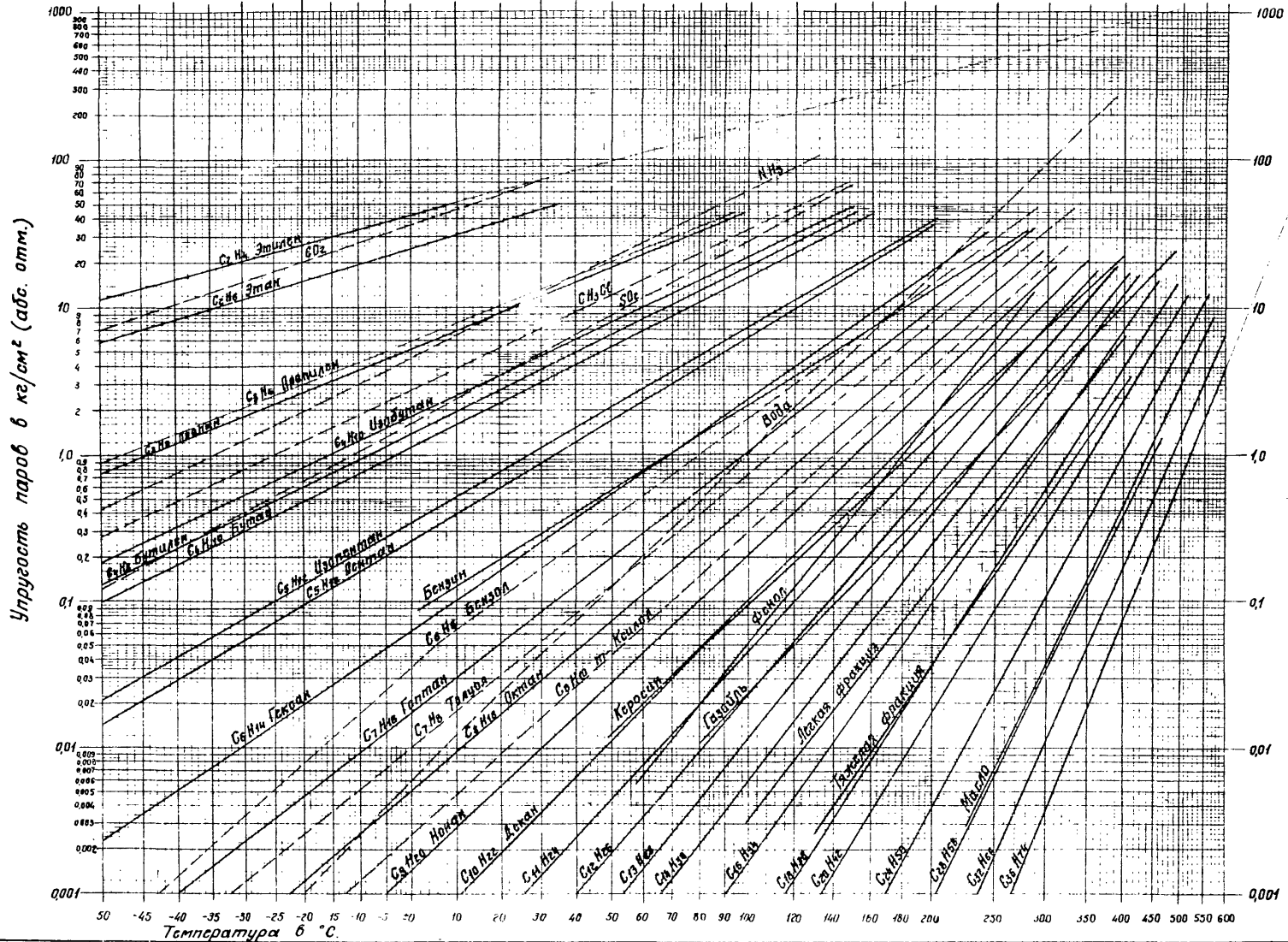
при  $B = 735,6$  мм.рт.ст.

$t$ °C	$\rho$ кг/м <sup>3</sup>	$C_p$ ккал кг.град.	$\lambda \cdot 10^2$ ккал м.час.гр.	$\alpha \cdot 10^2$ м <sup>2</sup> /час	$\mu \cdot 10^6$ кг.сек. м <sup>2</sup>	$\nu \cdot 10^6$ м <sup>2</sup> /сек.	$\rho_r$
-50	1,584	0,242	1,75	4,57	1,49	9,23	0,728
-40	1,515	0,242	1,82	4,96	1,55	10,04	0,728
-30	1,453	0,242	1,89	5,37	1,60	10,80	0,723
-20	1,395	0,241	1,96	5,83	1,65	12,79	0,716
-10	1,342	0,241	2,03	6,28	1,70	12,43	0,712
0	1,293	0,240	2,10	6,77	1,75	13,28	0,707
10	1,247	0,240	2,16	7,22	1,80	14,16	0,705
20	1,205	0,240	2,23	7,71	1,85	15,06	0,703
30	1,165	0,240	2,30	8,23	1,90	16,00	0,701
40	1,128	0,240	2,37	8,75	1,95	16,96	0,699
50	1,093	0,240	2,43	9,26	2,00	17,95	0,698
60	1,060	0,240	2,49	9,79	2,05	18,97	0,696
70	1,029	0,241	2,55	10,28	2,10	20,02	0,694
80	1,000	0,241	2,62	10,87	2,16	21,09	0,692
90	0,972	0,241	2,69	11,48	2,19	22,10	0,690
100	0,946	0,241	2,76	12,11	2,23	23,13	0,688
120	0,898	0,241	2,87	13,26	2,33	25,45	0,686
140	0,853	0,242	3,00	14,52	2,42	27,80	0,684
160	0,815	0,243	3,13	15,80	2,50	30,09	0,682
180	0,779	0,244	3,25	17,10	2,58	32,49	0,681
200	0,746	0,245	3,38	18,49	2,65	34,85	0,680
250	0,674	0,248	3,67	21,96	2,79	40,61	0,677
300	0,615	0,250	3,96	25,76	3,03	48,33	0,674
350	0,566	0,253	4,22	29,47	3,20	55,46	0,676
400	0,524	0,255	4,48	33,52	3,37	63,09	0,678
500	0,456	0,261	4,94	41,51	3,69	79,38	0,687
600	0,404	0,266	5,35	49,78	3,99	96,89	0,699
700	0,362	0,271	5,77	58,82	4,26	115,4	0,706
800	0,329	0,276	6,17	67,95	4,52	134,8	0,713

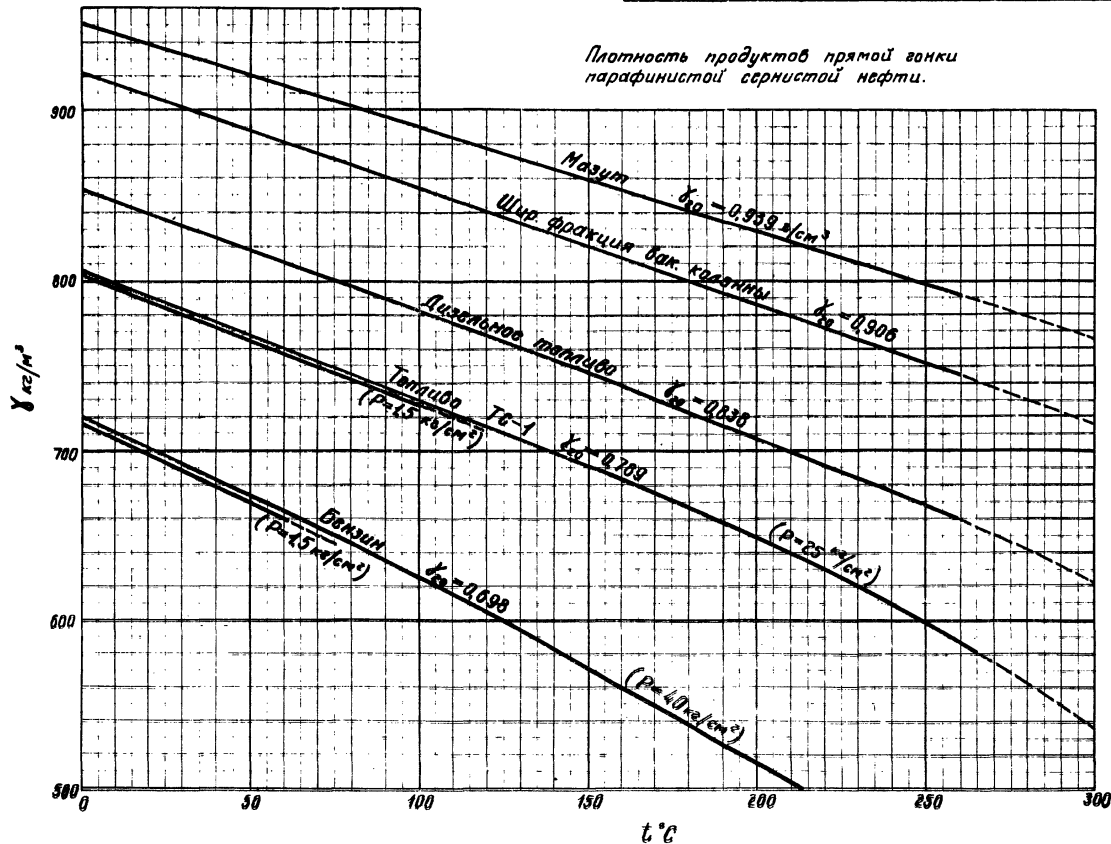
$t$ °C	$\rho$ кг/м <sup>3</sup>	$C_p$ ккал кг.град.	$\lambda \cdot 10^2$ ккал м.час.гр.	$\alpha \cdot 10^2$ м <sup>2</sup> /час	$\mu \cdot 10^6$ кг.сек. м <sup>2</sup>	$\nu \cdot 10^6$ м <sup>2</sup> /сек.	$\rho_r$
-50	1,534	0,242	1,75	4,73	1,49	9,54	0,726
-20	1,365	0,241	1,94	5,94	1,66	11,93	0,724
0	1,252	0,240	2,04	6,75	1,75	13,70	0,723
10	1,206	0,240	2,11	7,24	1,81	14,70	0,722
20	1,164	0,242	2,17	7,66	1,86	15,70	0,722
40	1,092	0,242	2,28	8,65	1,96	17,60	0,722
60	1,025	0,243	2,41	9,65	2,05	19,60	0,722
80	0,968	0,244	2,52	10,65	2,14	21,70	0,722
100	0,916	0,244	2,64	11,80	2,22	23,78	0,722
120	0,870	0,245	2,75	12,90	2,32	26,20	0,722
140	0,827	0,245	2,86	14,10	2,40	28,45	0,722
160	0,789	0,246	2,96	15,25	2,46	30,60	0,722
180	0,755	0,247	3,07	16,50	2,55	33,17	0,722
200	0,723	0,247	3,18	17,80	2,64	35,82	0,722
250	0,653	0,249	3,42	21,2	2,85	42,8	0,722
300	0,596	0,250	3,69	24,8	3,03	49,9	0,722
350	0,549	0,252	3,93	28,4	3,21	57,5	0,722
400	0,508	0,253	4,17	32,4	3,36	64,9	0,722
500	0,450	0,258	4,64	40,0	3,69	80,4	0,722
600	0,400	0,260	5,00	49,1	4,00	98,1	0,723
800	0,325	0,266	5,75	68,0	4,54	137,0	0,725

Температура  $t$  °C

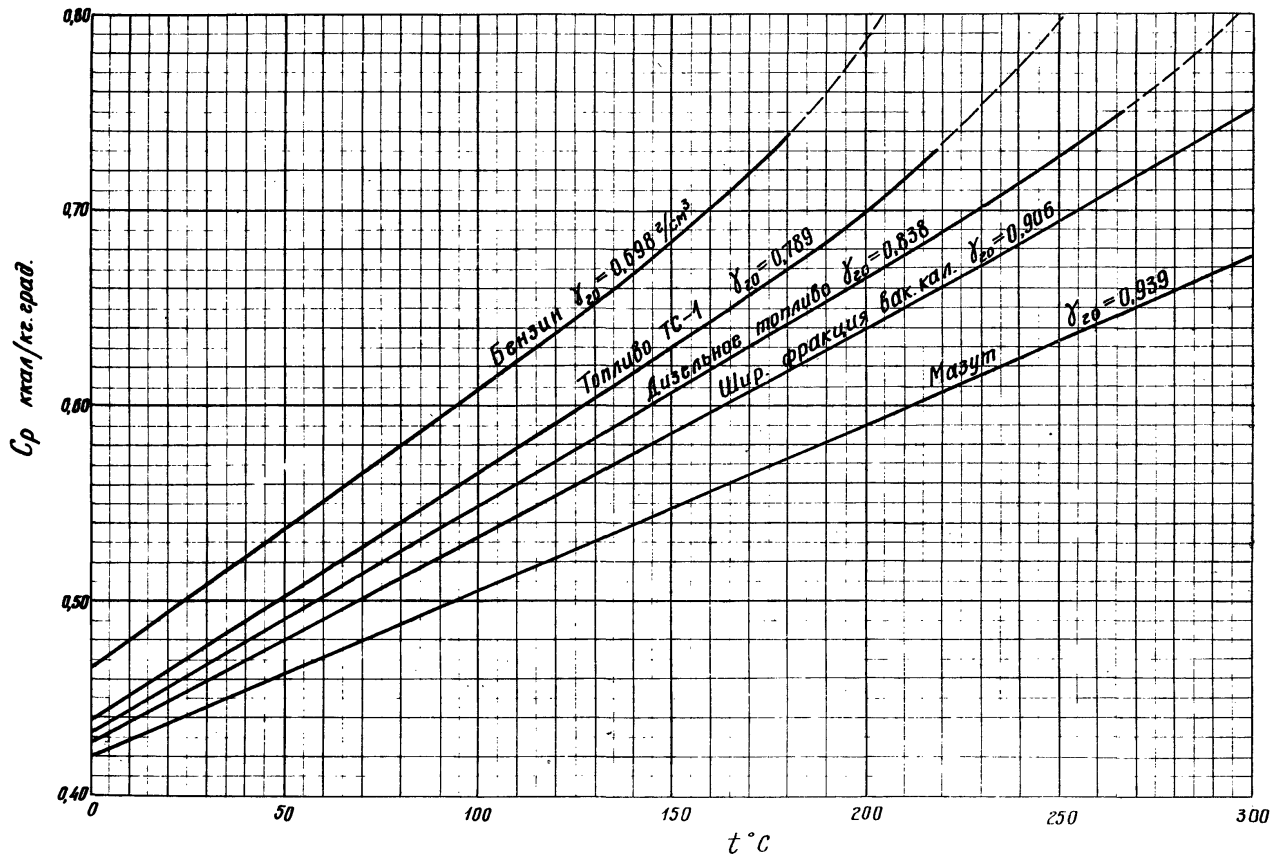
-50 -45 -40 -35 -30 -25 -20 -15 -10 -5 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 120 140 160 180 200 250 300 350 400 450 500 550 600



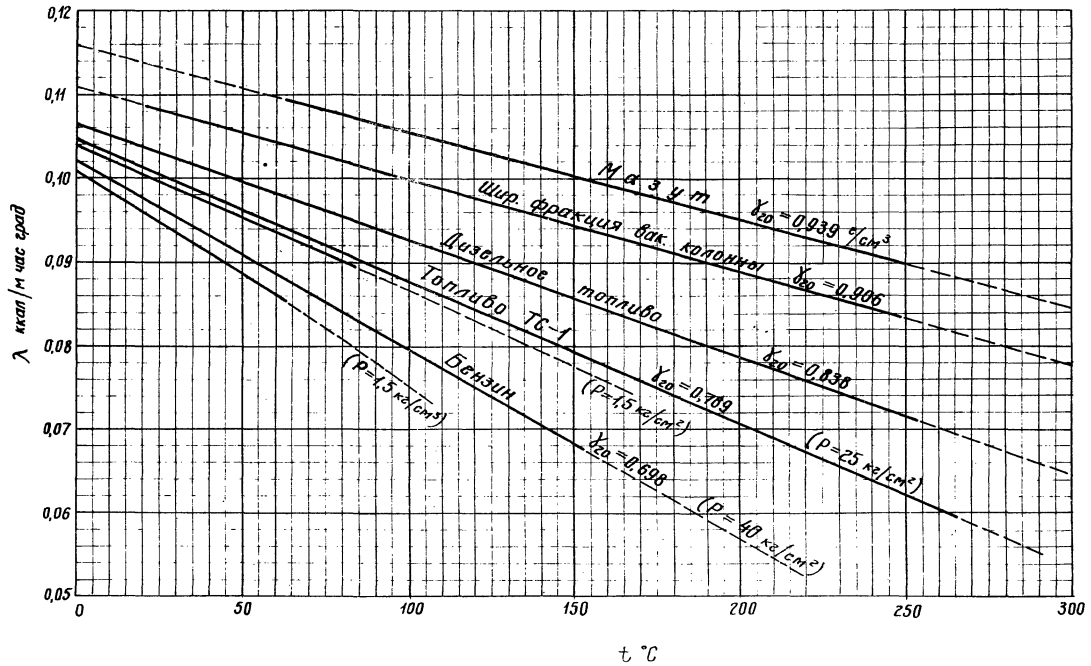
Плотность продуктов прямойгонки  
парафинистой сернистой нефти.



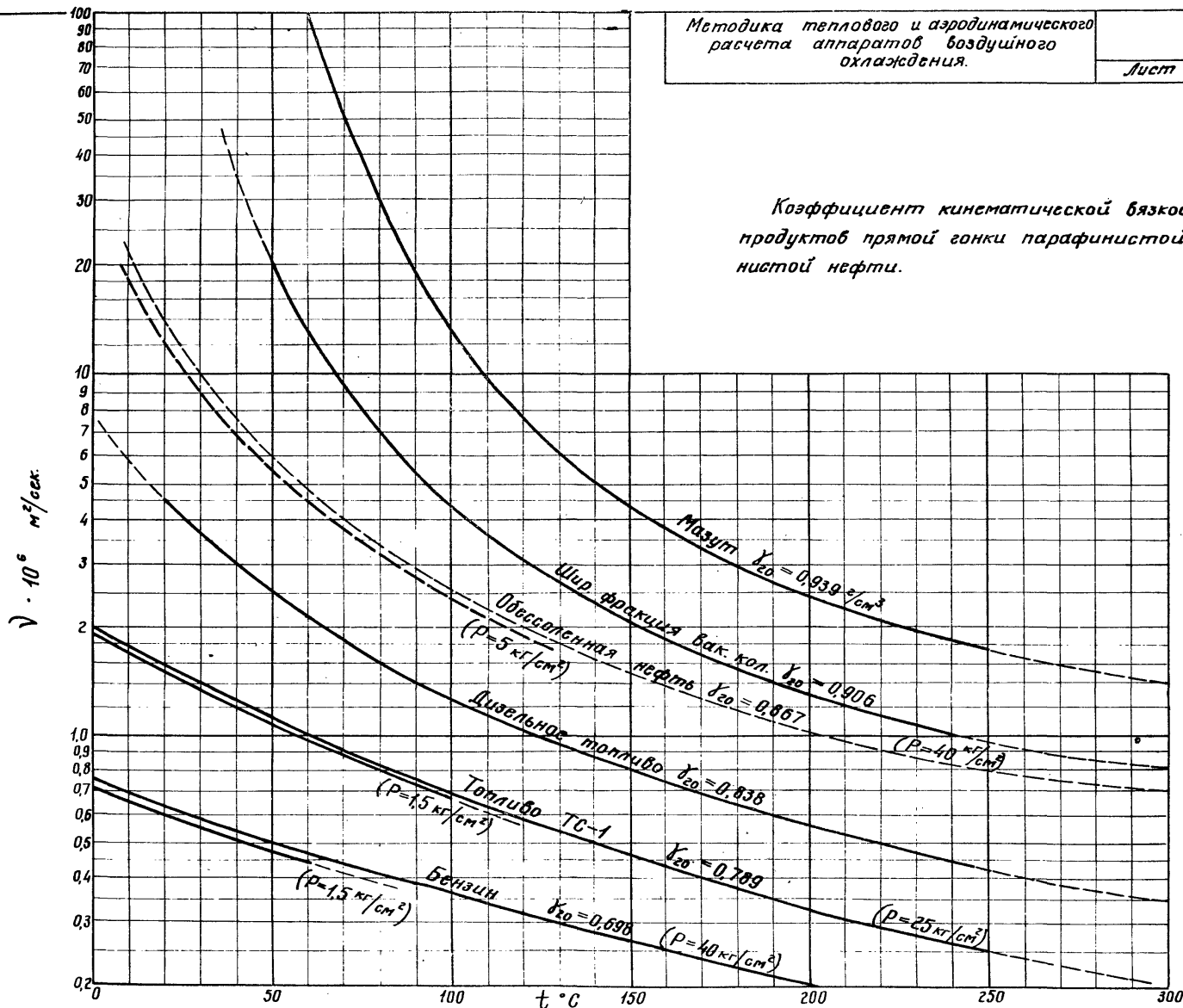
Теплоемкость продуктов прямой гонки  
парафинистой сернистой нефти.



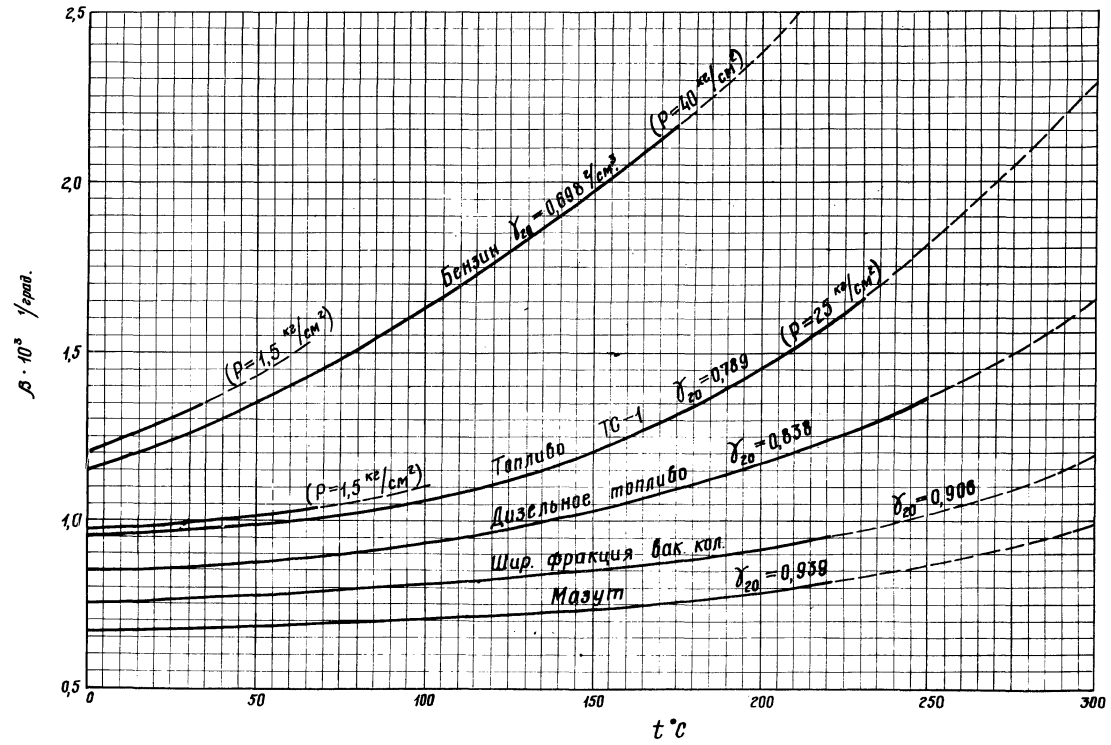
Коэффициент теплопроводности продуктов прямойгонки  
парафинистой сернистой нефти.



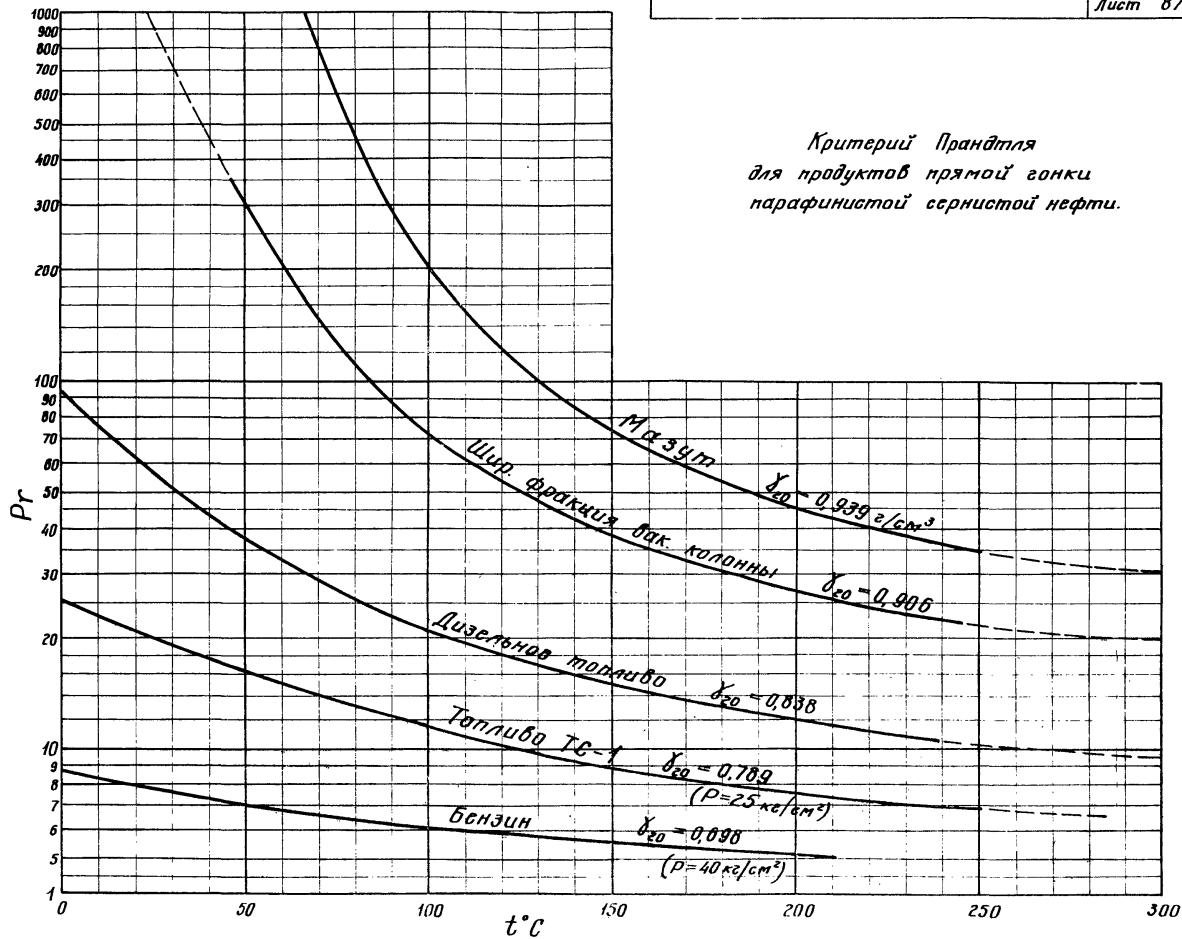
Коэффициент кинематической вязкости  
продуктов прямойгонки парафинистой сер-  
нистой нефти.



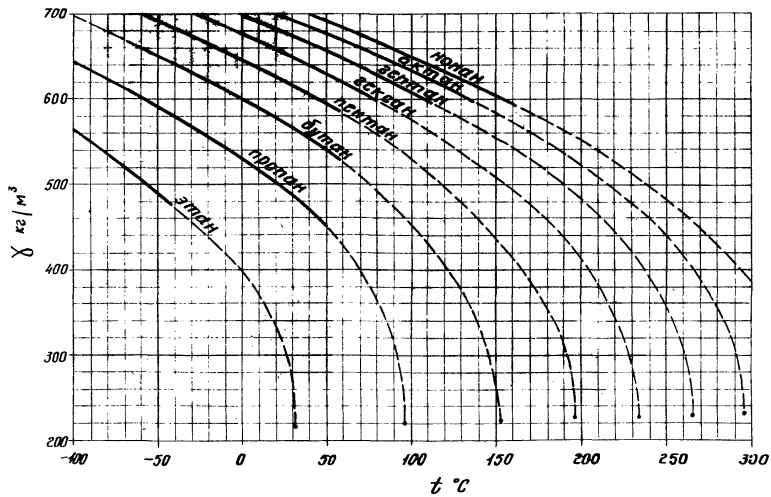
Коэффициент расширения продуктов прямой гонки  
парафинистой сернистой нефти.



Критерий Прандтля  
для продуктов прямой гонки  
парафинистой сернистой нефти.

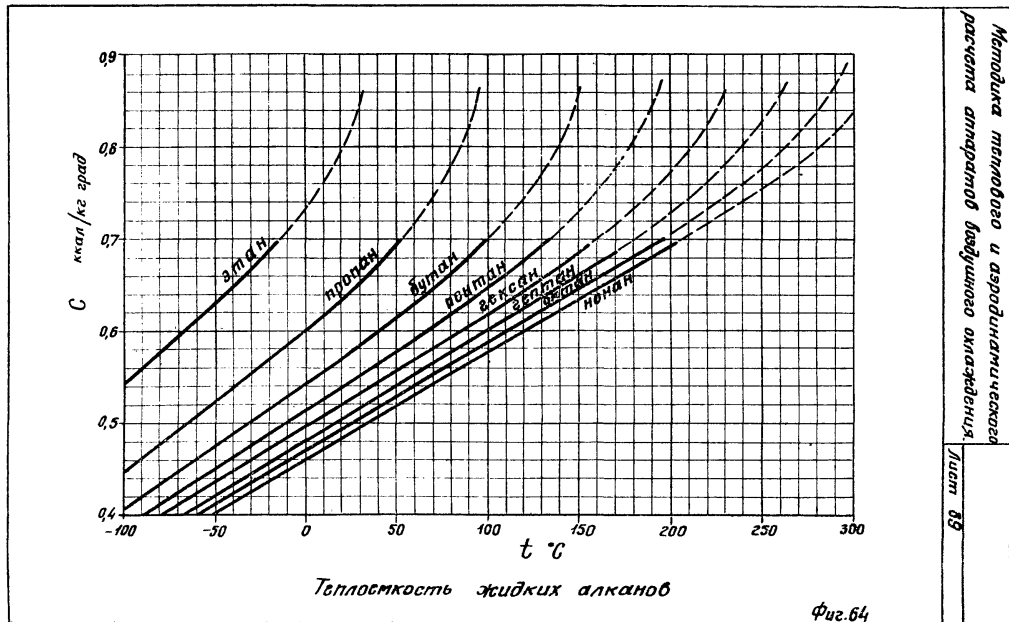






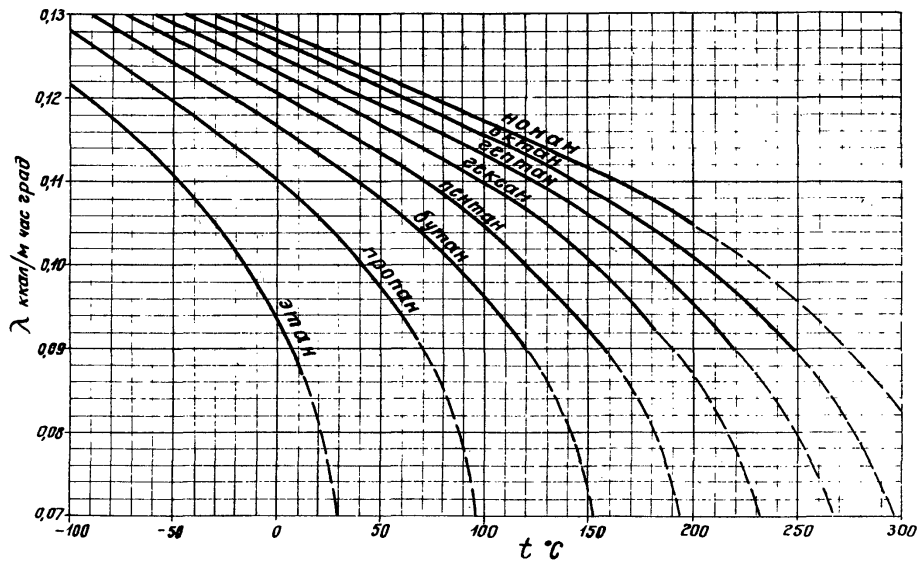
Плотность жидких алканов.

Фиг. 63

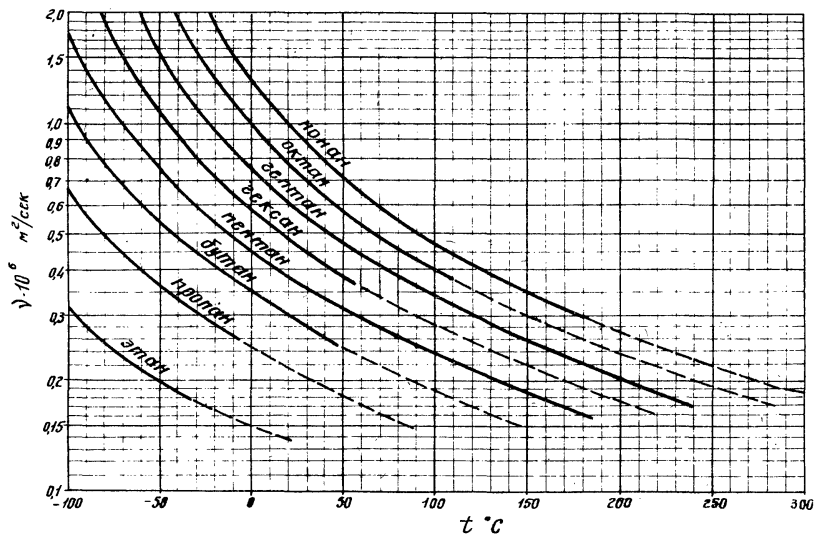


Методика тепловое и аэродинамического  
расчета аппаратов воздушного охлаждения

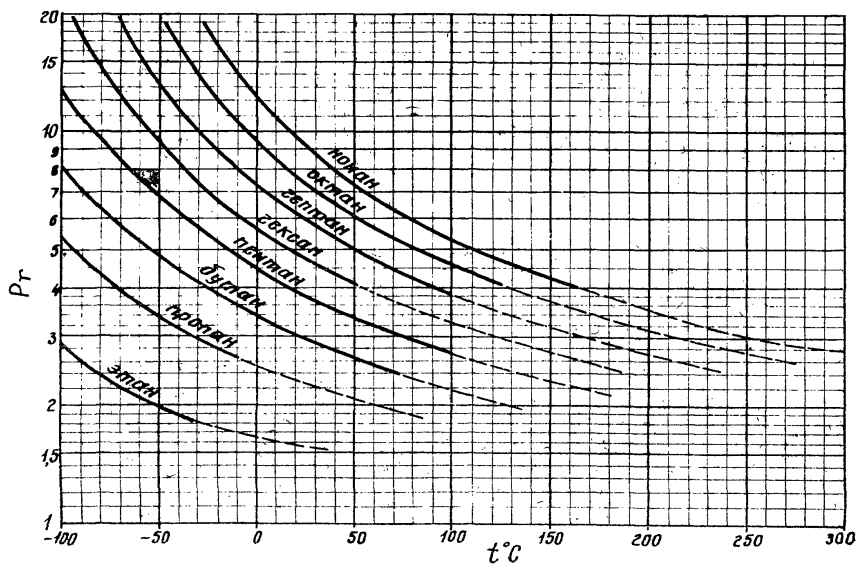
Лист 90



Коэффициент теплопроводности жидких алканов.



Коэффициент кинематической вязкости жидких алканов



Критерий Прандтля для жидких алканов.

фиг. 67

Ориентировочные значения соприкослений загрязнений (М2.чте.гр./квал) со стороны различных продуктов (2,6и)\*

**1. Масла технические**

Тепловые масла	0,001
Чистые циркулирующие масла	0,0002
Масла и трансформаторные масла	0,0002
Квадратное масло	0,0008
Растворительное масло	0,0008

**2. Газы и пары технические**

Газ негорючих жидкостей и другие фабричные газы	0,002
Выхлопные газы дизелей	0,002
Пары органических веществ	0,0001
Пары спирта	0
Водяной пар (не замасленный)	0
Водяной пар (замасленный) отработанный, из поршневых машин)	0,0002
Холодильные пары (замасленные из поршневого компрессора)	0,0004
Воздух	0,0004

**3. Жидкости технические**

Органические	0,0002
Холодильные жидкости, греющие, охлаждающие и испаряющие	0,0002
Расоли (охлаждающий)	0,0002

x) Из рекомендаций ТЕМА при регулярной чистке трубного пространства

**4. Вода**

Температура воды, °C	$t < 52$		$t > 52$	
	$W < 0,9$	$W > 0,9$	$W < 0,9$	$W > 0,9$
Морская вода	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002
Оборотная вода				
Подготовленная	0,0002	0,0002	0,0004	0,0004
Не подготовленная	0,0006	0,0006	0,001	0,0008
Речная вода				
Чистая	0,0004	0,0002	0,0006	0,0004
Средняя	0,0006	0,0004	0,0008	0,0006
Сильно загрязненная	0,0016	0,0012	0,002	0,0016
Холодная	0,0006	0,0006	0,001	0,001
Дистиллированная	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Питательная (для котлов)	0,0002	0,0001	0,0002	0,0002

**5. Вода**

Показатель нефти	Температура, °C	Скорость, м/сек		
		$W < 0,6$	$0,6 < W < 1,2$	$W > 1,2$
Обеззоленная (обессоленная)	$-17 < t < 93$	0,0006	0,0004	0,0004
	$93 < t < 149$	0,0006	0,0004	0,0004
	$149 < t < 260$	0,0008	0,0006	0,0004
	$t \geq 260$	0,001	0,0008	0,0006
Обеззольная (не обессоленная)	$-17 < t < 93$	0,0006	0,0004	0,0004
	$93 < t < 149$	0,001	0,0008	0,0008
	$149 < t < 260$	0,0012	0,001	0,0008
	$t \geq 260$	0,0014	0,0012	0,001

6. Атмосферные установки

Пары верхней фракции (головка)	0,0003
не подвергавшиеся обработке	0,0003
подвергавшиеся обработке	0,0006
Боковые фракции	0,0003

7. Вакуумные установки

Сырьевой поток (см.п.5)	
Пары верхней фракции (в холодильниках-конденсаторах) из ректификационной колонны	0,0002
из фляшинг колонны	0,0008
Боковые фракции в холодильниках	0,0004
Остаток (Гудрон) $d_4^{20} > 0,93$	0,0001
Дистиллятный остаток $d_4^{20} < 0,93$	0,0004

8. Крекинг-установки

Сырье - нефть (см.п.5)	
Сырье - газойль до 238°C	0,0004
238°C и выше	0,0006
Сырье - лигроин до 238°C	0,0004
238°C и выше	0,0008
Пары из сепаратора, фляшинга и испарителя	0,0012
Пары из ректификационной колонны	0,0004
Остаток	0,0002

9. Абсорбционные установки  
(газобензиновые заводы)

ГАЗ	0,0004
Жирное масло	0,0002
Тощее масло	0,0004
Пары верхней фракции	0,0001
Бензин	0,0001

10. Установки стабилизации бензина

Сырье - нестабильный бензин	0,0001
Пары верхней фракции	0,0001
Продукт холодильников и теплообменников	0,0001
Продукт рибойлеров	0,0002

11. Установки газофракционирующие и алкилирующие

Сырье	0,0002
Пары верхней фракции	0,0002
Продукт холодильников	0,0002
Продукт рибойлеров	0,0004
Загрузка реактора	0,0004

12. Масло - очистные установки

Сырье-смесь масла с растворителем	0,0004
Пары верхней фракции	0,0002
Очищенное масло	0,0002
Теплообменные аппараты очищенного масла, охлаждаемые водой <sup>х)</sup>	0,0006
С м о л н в теплообменниках и парогенераторах	0,0001
в холодильниках	0,0006
Растворитель	0,0002

13. Установки деасфальтизации

Сырье - масло	0,0004
Растворитель	0,0002
Асфальт и смолы в теплообменниках и парогенераторах	0,0001
в холодильниках	0,0006
Пары растворителя	0,0002
Очищенное масло	0,0002
Очищенное масло, охлаждаемое водой	0,0006

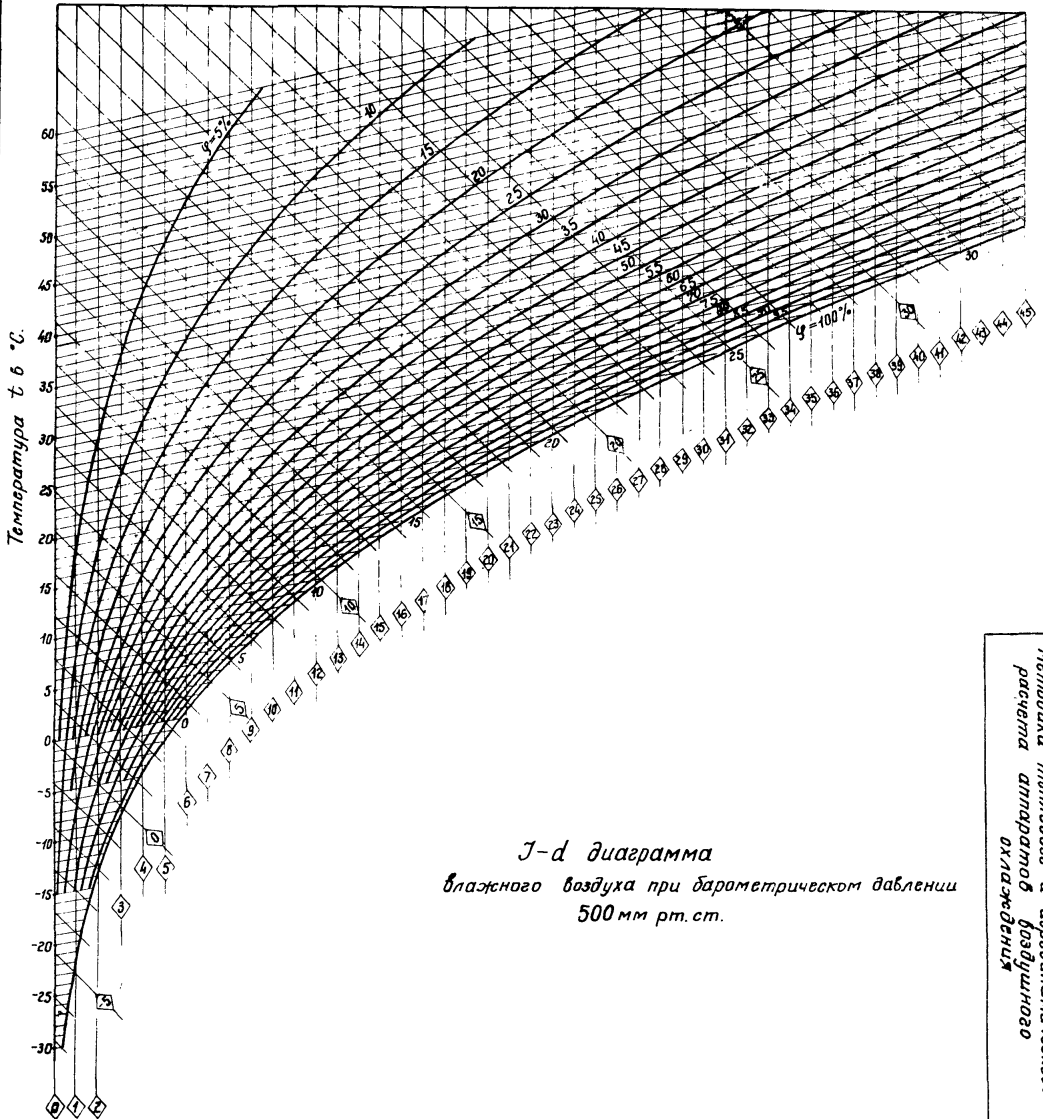
14. Установки депарафинизации

Смазочное масло	0,0002
Растворитель	0,0002
Смесь масла с парафином нагреваемая	0,0002
Смесь масла с парафином охлаждаемая <sup>х)</sup>	0,0006

15. Обессеривающие установки.

Пары верхней фракции	0,0002
Теплообменники - холодильники: раствора рибойлера	0,0003 0,0003

х) должны быть предусмотрены меры против охлаждения парафина



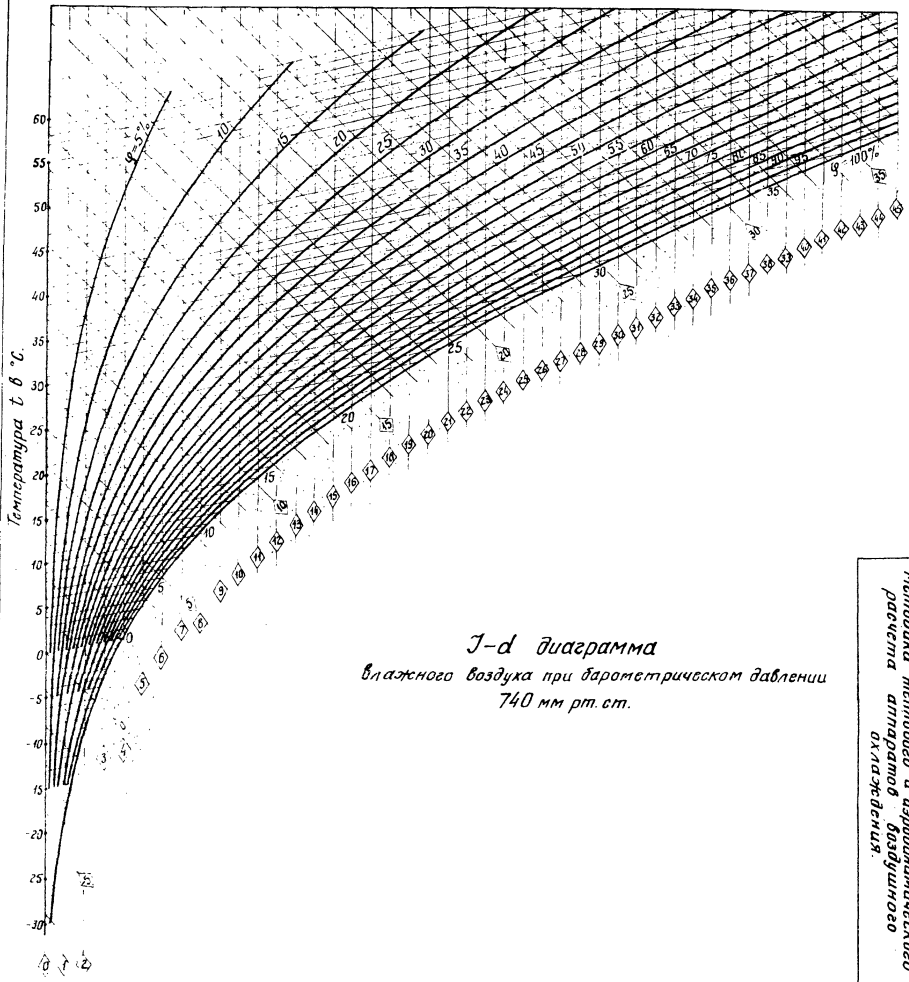
*t-d* диаграмма  
 влажного воздуха при барометрическом давлении  
 500 мм рт. ст.

Влажностное содержание воздуха  $d \frac{г}{кг \text{ сухого воздуха}}$

Фиг. 68

Методика теплового и аэродинамического  
 расчета аппаратов воздушного  
 охлаждения



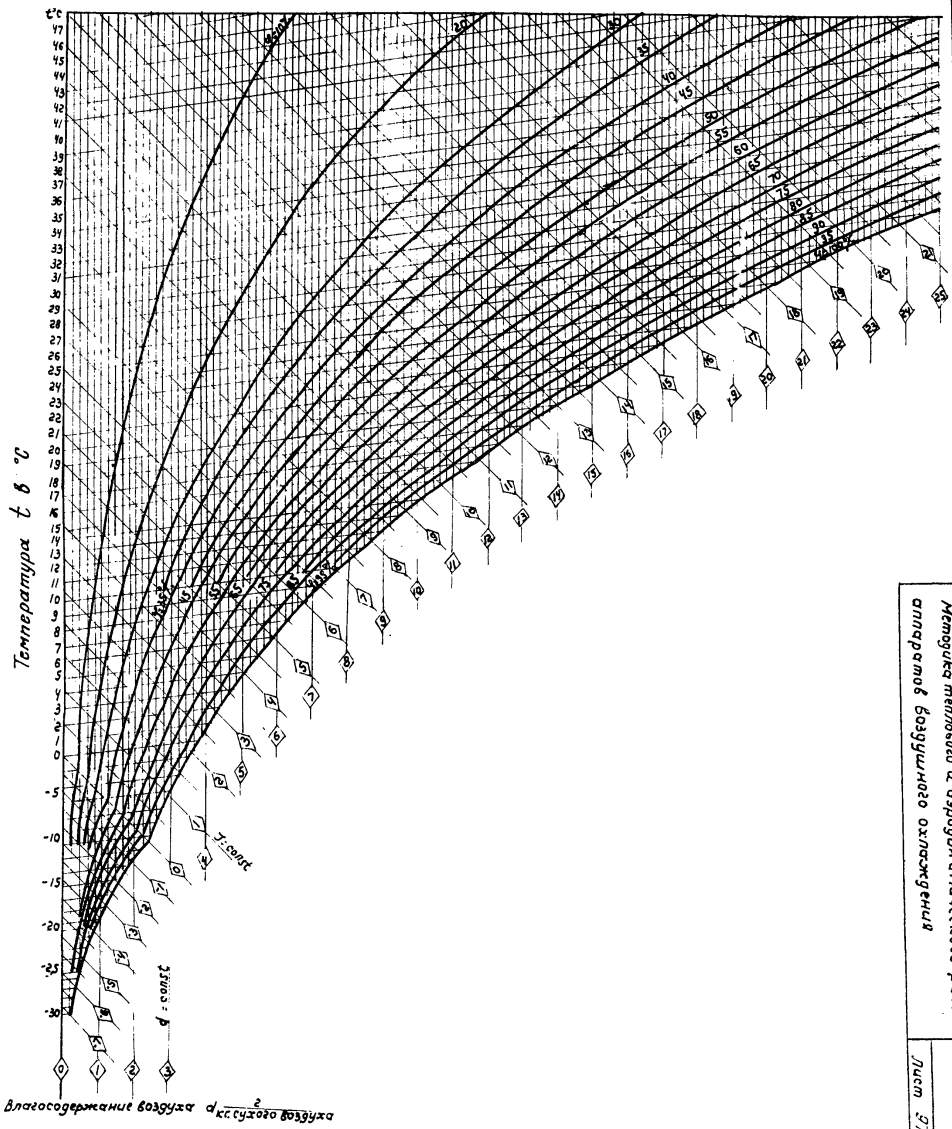


*t-d диаграмма  
влажного воздуха при барометрическом давлении  
740 мм рт.ст.*

Влажностное содержание воздуха  $d$   $\frac{г}{кг \text{ сухого воздуха}}$

Методика применения и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения.

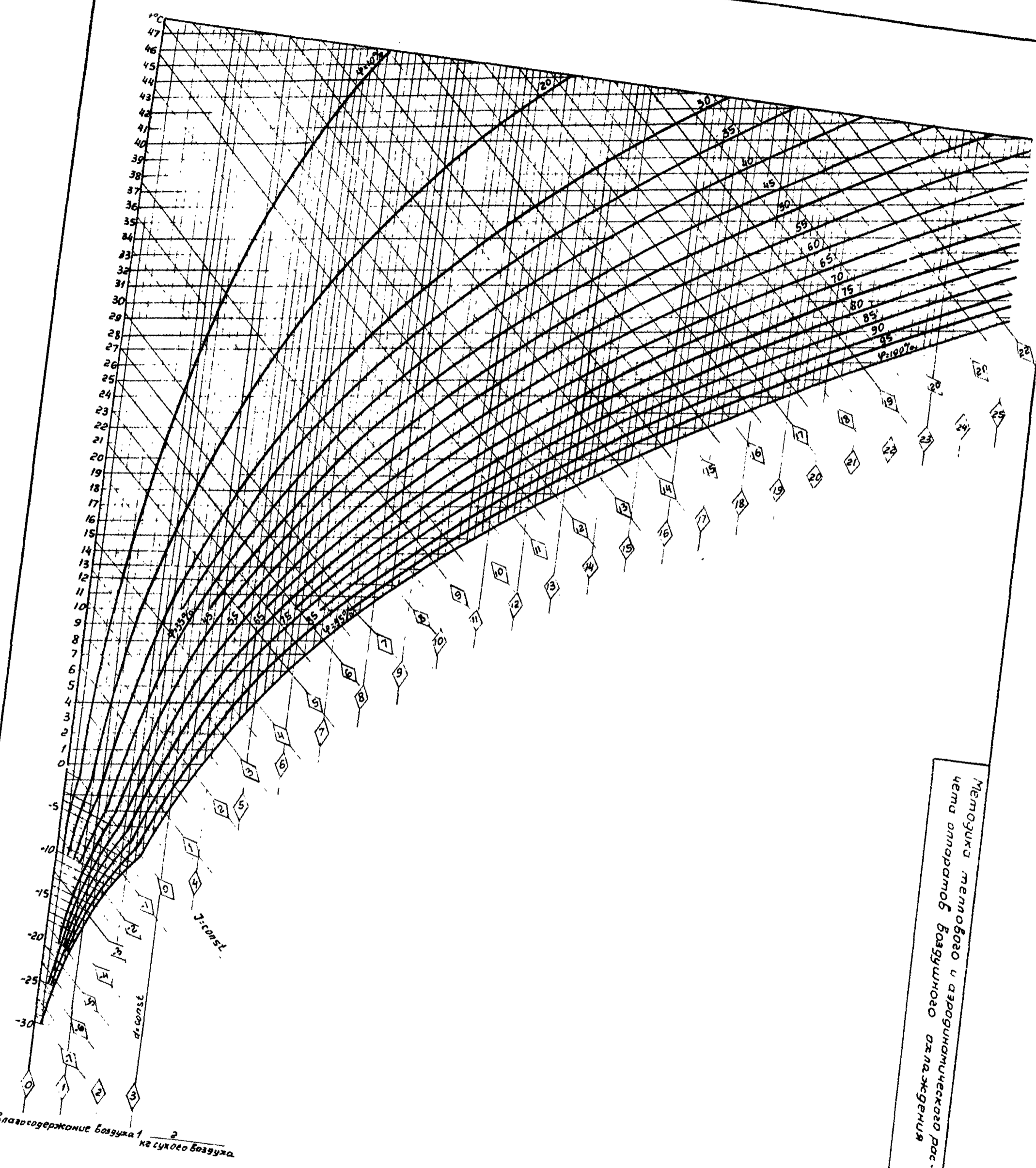
Лист 36



Методика теплового и аэродинамического расчета  
опытных воздушного охлаждения

Лист 97

Фиг. 70



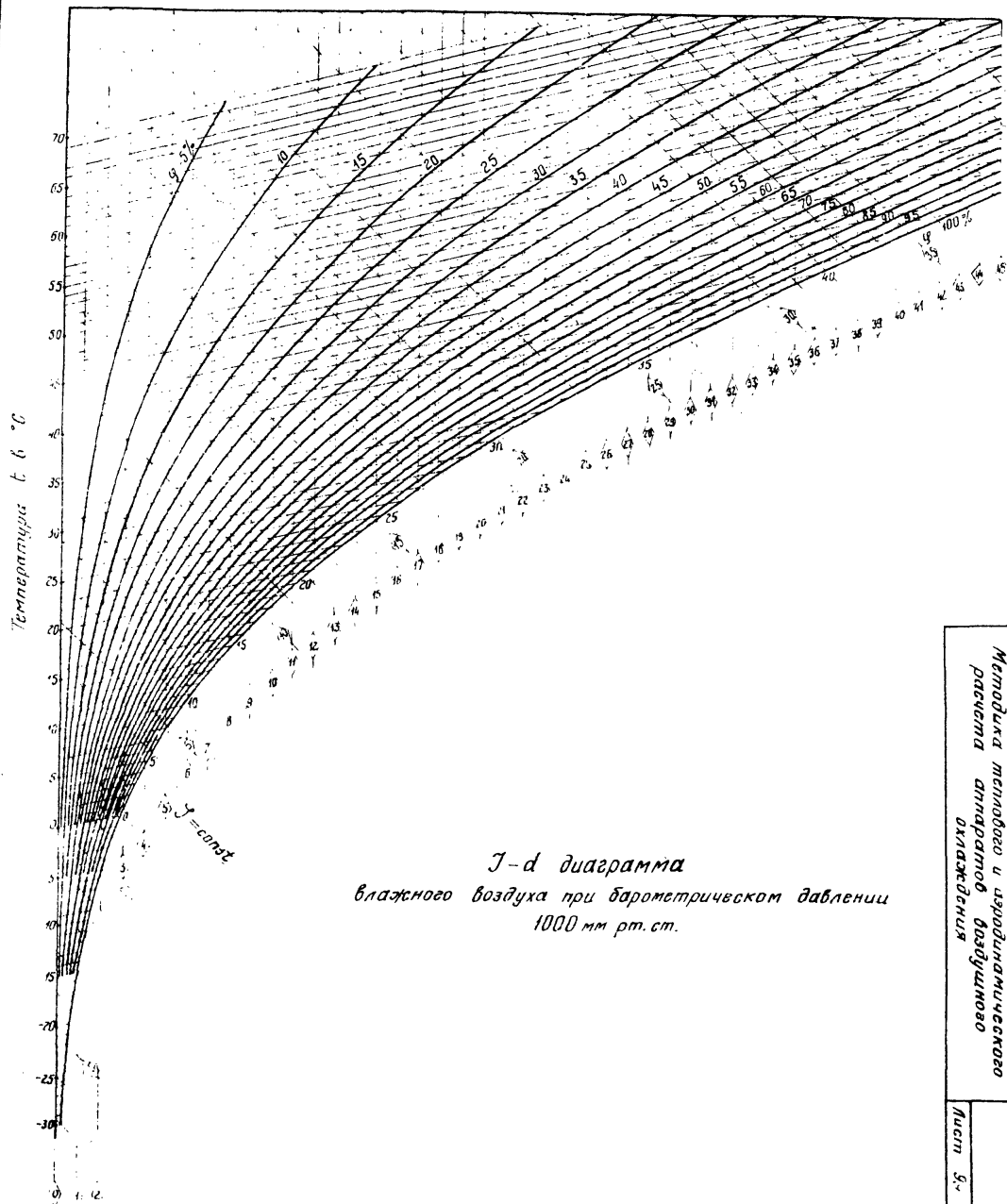
влажность воздуха 1 2  
кг сухого воздуха

1-d-диаграмма влажного воздуха при барометрическом давлении 760 мм.рт.ст

Фиг. 71

Методика теплового и аэродинамического рас-  
чета оправаемой воздушного охлаждения

Лист 98



*t-d* диаграмма  
 влажного воздуха при барометрическом давлении  
 1000 мм рт.ст.

Влажностное содержание воздуха  $d = \frac{z}{\text{кг сухого воздуха}}$

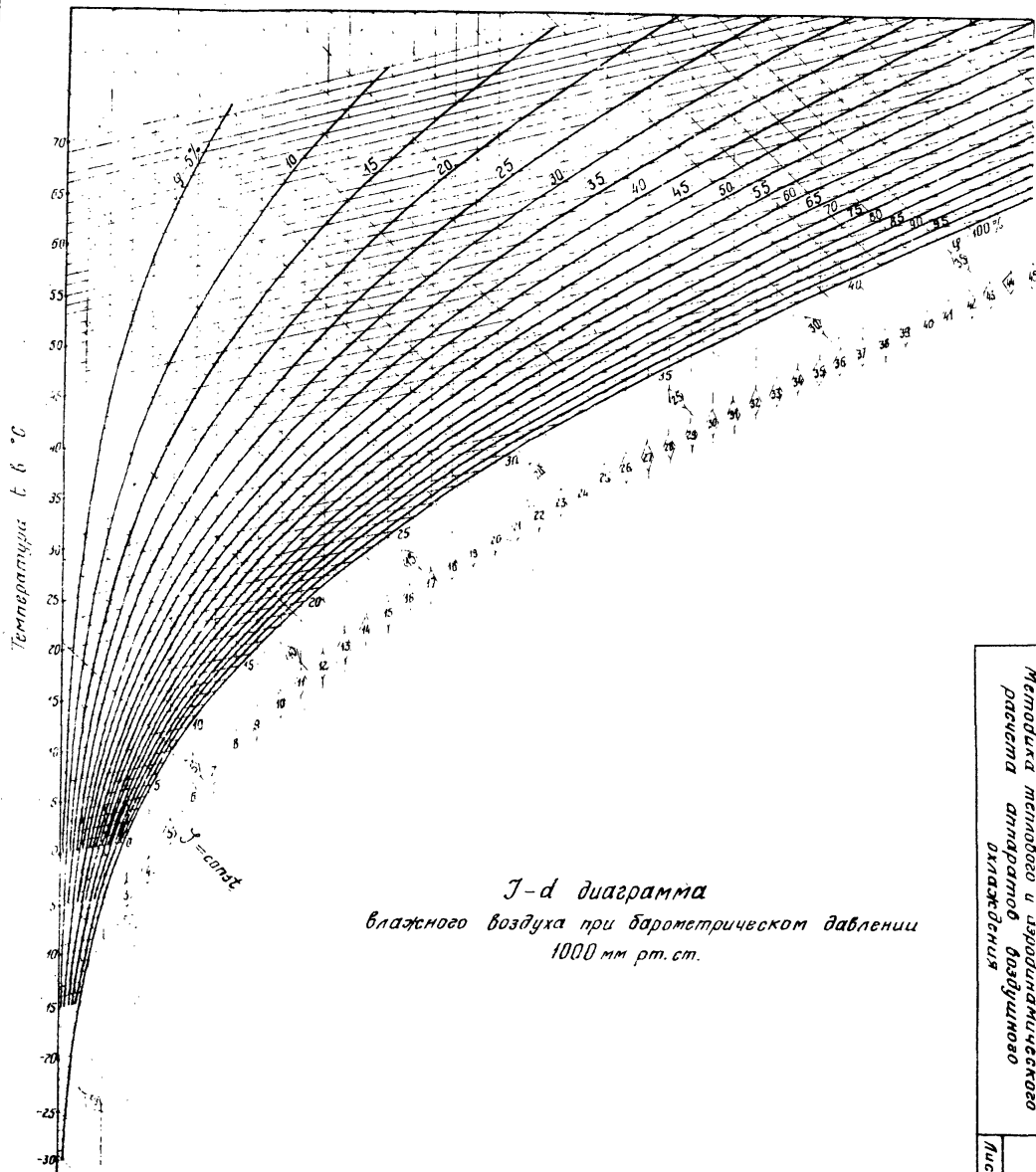
Методика методов и изродинамического  
 расчета аппаратов воздушного  
 охлаждения

Приложение 7.

Некоторые значения тепловой напряженности и коэффициентов теплопередачи в аппаратах воздушного охлаждения

№ п/п	Наиболее типичные процессы	Тепловая напряженность $q, \text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$	Коэффициент теплопередачи $K, \text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$	Источник
I.	1. Конденсация и охлаждение фракции н.к. 140°C, газа и водяных паров	1400	36	Гипронефтемаши Расчет АВО для установки АВТ-I Омского НПЗ
	2. Конденсация и охлаждение фракции 140-180°C и водяного пара	1100	20	"
	3. Холодильник дизельного топлива	1150	20	"
	4. Конденсация и охлаждение паров коксола	1600	19	Гипронефтемаши Расчет АВО для установки 35-15/5
	5. Конденсация и охлаждение паров коксола	2040	25	"
	6. Конденсация и охлаждение фракции 180°C и водяного пара	1650	30	"
	7. Конденсация и охлаждение фракции н.к. 105°C, газа C <sub>4</sub>	1700	24,6	"
	8. Конденсация и охлаждение фракции 105-140°C	2200	21,0	"
	9. Конденсация и охлаждение фракции н.к. 62°C	1200	25,2	"
II.	10. Охлаждение фракции 180-220°C	1150	21,4	"
	11. Охлаждение этилбензола	1500	21,9	"

1	2	3	4	5
12.	Конденсация и охлаждение коксола, водяного пара	1900	25	Гипронефтемаши Расчет АВО для установки 35-15/5
13.	Конденсация и охлаждение толуола	1600	15	"
14.	Охлаждение ароматических углеводородов	2100	20	"
15.	Охлаждение газопредуктовой смеси	1040	24,3	Гипронефтемаши Расчет АВО для установки гидроочистки А24-Б00
16.	Охлаждение паровой смеси	1330	21,7	"
17.	Охлаждение парогазовой смеси	1780	40,2	"
18.	Конденсация и охлаждение паров бензина, газа C <sub>4</sub> и водяного пара	1720	27,2	Гипронефтемаши Расчет АВО для установки ЭЛОУ-АВТ Красноводского НПЗ
19.	Охлаждение дизельного топлива	1050	22,2	"
20.	Охлаждение керосина	1260	22,0	"
21.	Конденсация и охлаждение растворителя	1330	41	Данные промышленной эксплуатации фракции АВО на Ферганском НПЗ
22.	Конденсация и охлаждение растворителя	1450	48,5	"
23.	Конденсация и охлаждение растворителя колонны	1170	34,5	"
24.	Конденсация и охлаждение растворителя колонны	1110	32,2	"
25.	Конденсация и охлаждение бензина	1270	35,2	"
26.	Конденсация и охлаждение бензина	1320	36,7	"
27.	Охлаждение бензина	1570	40	Данные промышленной эксплуатации АВО на Ново-Куйбышевском НПЗ



*t-d диаграмма  
влажного воздуха при барометрическом давлении  
1000 мм рт.ст.*

*Влажность воздуха  $d = \frac{z}{\text{кг. сухого воздуха}}$*

*Фиг. 72*

*Методика монтажа и гидравлического  
расчета аппаратов воздушного  
охлаждения*

*Лист 5.*

Приложение 7

Некоторые значения тепловой напряженности и коэффициентов теплопередачи в аппаратах воздушного охлаждения

№	Наиболее типичные процессы	Тепловая напряженность $q$ , кВт/м <sup>2</sup>	Коэффициент теплопередачи $K$ , кВт/м <sup>2</sup> ·°С	Источник	1	2	3	4	5
I.	1. Конденсация и охлаждение фракции н.к. 140 °С, газа и водяных паров	1400	36	Гипронефтемаши Расчет АВО для установки АВТ-1 Омского НПЗ	12.	Конденсация и охлаждение котлола, водяного пара	1900	25	Гипронефтемаши Расчет АВО для установки 35-15/5
	2. Конденсация и охлаждение фракции 140-180 °С и водяного пара	1100	20	"	13.	Конденсация и охлаждение толуола	1600	15	"
	3. Холодильник дизельного топлива	1150	20	"	14.	Охлаждение ароматических углеводородов	2100	20	"
	4. Конденсация и охлаждение паров котлола	1600	19	Гипронефтемаши Расчет АВО для установки 35-15/5	15.	Охлаждение газопредужетовой смеси	1040	24,3	Гипронефтемаши Расчет АВО для установки гидроочистки 124-500
	5. Конденсация и охлаждение паров котлола	2040	25	"	16.	Охлаждение паровой смеси	1330	21,7	"
	6. Конденсация и охлаждение фракции 180 °С и водяного пара	1650	30	"	17.	Охлаждение парогазовой смеси	1780	40,2	"
	7. Конденсация и охлаждение фракции н.к. 105 °С, газа С <sub>4</sub>	1700	24,6	"	18.	Конденсация и охлаждение паров бензина, газа С <sub>4</sub> и водяного пара	1720	37,2	Гипронефтемаши Расчет АВО для установки ЭЛОУ-АВТ Красноярского НПЗ
	8. Конденсация и охлаждение фракции 105-140 °С	2200	21,0	"	19.	Охлаждение дизельного топлива	1050	22,2	"
	9. Конденсация и охлаждение фракции н.к. 62 °С	1200	25,2	"	20.	Охлаждение керосина	1260	22,0	"
II.	10. Охлаждение фракции 180-220 °С	1150	21,4	"	21.	Конденсация и охлаждение растворителя	1330	41	Данные промышленной эксплуатации АВО на Ферганском НПЗ
	11. Охлаждение этилбензола	1500	21,9	"	22.	Конденсация и охлаждение растворителя	1450	48,5	"
					23.	Конденсация и охлаждение растворителя колонны	1170	34,5	"
					24.	Конденсация и охлаждение растворителя колонны	1110	32,2	"
					25.	Конденсация и охлаждение бензина	1270	35,2	"
					26.	Конденсация и охлаждение бензина	1320	36,7	"
					27.	Охлаждение бензина	1570	40	Данные промышленной эксплуатации АВО на Ново-Куйбышевском НПЗ

1	2	3	4	5
28. Конденсация и охлаждение бензина	1630	33	Данные промышленной эксплуатации АВО на Ново-Куйбышевском НПЗ	
29. Конденсация и охлаждение водяного пара	1550	47	—	
30. Охлаждение средней фракции установки азеотропной перегонки	1100	31	Данные промышленной эксплуатации АВО на Омском НПЗ	
31. Конденсация и охлаждение азеотропной смеси	1920	59	—	
32. Конденсация и охлаждение метанола	2000	57	Данные промышленной эксплуатации АВО на Омском НПЗ	
33. Конденсация и охлаждение бензино-дигроинновой фракции	1400	27	Данные промышленной эксплуатации АВО на Ново-Уфимском НПЗ	

1	2	3	4	5
34. Конденсация и охлаждение ацетоно-толуольной смеси	1150	33	Данные промышленной эксплуатации АВО на Ново-Уфимском НПЗ	
35. Конденсация и охлаждение керосина	1850	33	Данные промышленной эксплуатации АВО на Красно-водском НПЗ	
36. Конденсация и охлаждение керосина	2300	45	—	
37. Конденсация и охлаждение бензина	1920	36	Данные промышленной эксплуатации АВО на Одесском НПЗ	
38. Конденсация и охлаждение бензина	1920	28	Данные промышленной эксплуатации АВО на Краснокамском НПЗ	
39. Конденсация и охлаждение бензина	1770	33	Данные промышленной эксплуатации АВО на Ново-Уфимском НПЗ	



1. ГОСТ 12854-67\* Аппараты воздушного охлаждения горизонтальные. Основные параметры и размеры
2. МН5886-67\*  
МН5894-67 Аппараты воздушного охлаждения горизонтального типа. Узлы и детали. Конструкция, основные параметры и размеры. Нормаль машиностроения. Стандартгиз, Москва, 1967г.
3. ОСТ 26-02-176-70 Аппараты воздушного охлаждения горизонтального типа. Конструкция и основные размеры. Отраслевой стандарт, ВНИИнефтемаш, 1970г.
4. ГОСТ 13934-68\* Аппараты воздушного охлаждения зигзагообразные. Основные параметры и размеры. Москва, 1968г.
5. ОН26-02-36-67 Аппараты воздушного охлаждения зигзагообразного типа. Конструкция и основные размеры. Гипронефтемаш, 1967г.
6. ГОСТ 13935-68\* Аппараты воздушного охлаждения малопоточные. Основные параметры и размеры. Москва, 1968г.
7. ОН26-02-34-67 Аппараты воздушного охлаждения малопоточного типа. Конструкция и основные размеры. Гипронефтемаш, 1967г.
8. Шмеркович В.М. "Аппараты воздушного охлаждения для технологических установок нефтеперерабатывающих и химических заводов". Конструирование, исследование и опыт эксплуатации. ЦНТИхимнефтемаш, Москва, 1967г.
9. "Методика теплового и аэродинамического расчета конденсаторов-холодильников воздушного охлаждения", Гипронефтемаш, 1962г.
10. "Методика теплового и гидравлического расчета типовых кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с вынужденным движением нефтепродуктов". Гипронефтемаш, 1963г.
11. Шмеркович В.М. "Аппараты воздушного охлаждения для укрупненных и комбинированных технологических установок", ВНИИОЭНГ, г.Москва, 1966г.
12. Шмеркович В.М. "Применение аппаратов воздушного охлаждения при проектировании нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов". ЦНИИТЭнефтехим, Москва, 1971г.
13. Михеев М.А. Основы теплопередачи. Госэнергоиздат, 1956г.
14. Антуфьев В.М.  
Белецкий Г.С. Теплопередача и аэродинамическое сопротивление трубчатых поверхностей в поперечном потоке. Москва, 1948г.
15. Рамм В.М. Теплообменные аппараты. Госхимиздат, 1948г.
16. Рабинович Г.Г. Расчет нефтеперегонной аппаратуры. Справочник. Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы. Москва, 1941г., Ленинград
17. Кутателадзе С.С.  
Бориславский В.М. Справочник по теплопередаче. Госэнергоиздат, 1959г.
18. Берман С.С. Теплообменные аппараты и конденсационные устройства турбоустановок, Машигиз, Москва, 1959г.
19. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов. Физматиздат, 1959г.
20. Лоблер Г. Теплопередача и теплообменники. Госхимиздат, 1961г.
21. Бошнякович Ф. Техническая термодинамика. Москва, 1955г.
22. Рысин С.А. Вентиляционные установки машиностроительных заводов. Справочник. Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. Москва, 1956г.
23. Смирнов С.С. Технология углеводородных газов. Госстоптехиздат, Москва, 1946г., Ленинград
24. Научно-технические отчеты Гипронефтемаша по теме 71-64
25. "Аппараты воздушного охлаждения для технологических установок нефтеперерабатывающей и химической промышленности". Материалы Всесоюзного научно-технического семинара, проведенного в Москве 24-28 октября 1966г. ЦНИИхимнефтемаш, Москва, 1967г.
26. Справочники по климату СССР, ч. I-IV Гидрометеозиздат, Ленинград, 1966г.

Отпечатано на ротаринте в ВНИИНЕФТЕМАШе  
Зак. № 3017, тир. 500 экз. 26/IV-1971 г.  
Цена 1руб.50 коп.