Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский
институт нефтяного машиностроения

„ВНИИнефтемаш"

Методика теплового и аэродинамического расчёта аппаратов воздушного охлаждения

Заместитель директора института — Б. Абросимов

Главный конструктор института — Ю. Вихман

Заведующий отделом конструирования и исследования нефтезаводского оборудования — С. Мельников

Заведующий лабораторией конструирования и исследования аппаратов воздушного охлаждения — В. Шмерковичь

1971 г.

gost.e-ecolog.ru

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* и ОСТ 26-02-176-70

б) зигзагообразного типа АВЗ по ГОСТ 13934-68* и отраслевой нормали ОН26-02-36-67

в) малопоточного типа АВМ по ГОСТ 13935-68* 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 материал предоставлен 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 нормалями 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 выпускаться 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
I.	Принятые обозначения	3
2.	Уравнение теплового баланса	4
3.	Уравнение теплопередачи	4
4.	Коэффициент теплопередачи	4
5.	Расчетная температура воздуха	6
6.	Средний температурный напор	7
8.	Средние температуры потоков и поверхности стенок труб	8
8.	Увлажнение воздуха	9
9.	Коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха	I0
I0.	Аэродинамическое сопротивление	I0
II.	Потребляемая мощность	I0
I2.	Расчет годового расхода электроэнергии на привод вентилятора	II
I3.	Данные необходимые для расчета аппаратов воздушного охлаждения	I2
I4.	Порядок расчета	I2
I5.	Аппараты воздушного охлаждения малопоточного типа	I4
I6.	Аппараты воздушного охлаждения горизонтального типа	I8
I7.	Аппараты воздушного охлаждения зигзагообразного типа	24
I8.	Материальное оформление аппаратов воздушного охлаждения	29
I9.	Зависимость температуры подогрева воздуха от теплопроизводительности при различной производительности вентилятора	30
20.	Зависимости скорости воздуха в узком сечении от производительности вентилятора	33
2I.	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.		
23.	Зависимость коэффициента теплопередачи (с учетом загрязнения) от коэффициента теплопередачи (без учета загрязнения) при различных значениях фактора загрязнения	47
24.	Номограмма для определения среднелогарифмического температурного напора	50
25.	График для определения поправочного коэффициента среднелогарифмического температурного напора при однократном перекрестном токе	5I
26.	Зависимость полного аэродинамического напора от скорости воздуха в узком сечении	52
27.	Номограммы и график для определения потребляемой мощности аппаратов воздушного охлаждения	54
28.	Приложения:	
	1. Расчет коэффициента теплоотдачи со стороны продукта	57
	2. Гидродинамический расчет	58
	3. Климатические данные по некоторым пунктам СССР	6I
	4. Физические параметры воздуха и некоторых продуктов	80
	5. Ориентировочные значения сопротивлений загрязнений со стороны различных продуктов	93
	6. Влагосодержание воздуха	95
	7. Некоторые значения тепловой напряженности и коэффициентов теплопередачи в аппаратах воздушного охлаждения	I00
29.	Литература	I02

Принятые обозначения

Q	– количество тепла, переданного 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
$C_р$	– 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,	^oC
$t_1; t_2; t_{ср}$	– температура охлаждаемого воздуха начальная, конечная и средняя,	^oC
Δt_o	– подогрев воздуха, поступающего в вентилятор при нормальных условиях (t =20°C, B=760 мм.рт.ст.)	°C
Δt	– действительный подогрев воздуха,	^oC
K_{at}	– коэффициент, учитывающий изменение температуры воздуха в зависимости от высоты местности над уровнем моря	
$T_{ст.вн.}$	– температура внутренней поверхности стенки трубы,	^oC
$t_{ст.н.}$	– температура наружной поверхности стенки трубы,	^oC
$\theta=\theta_{ср}$	– средний температурный напор	^oC
$\theta_1; \theta_2$	– температурные напоры по концам аппарата,	^oC
ε_{at}	– поправочный коэффициент при однократном перекрестном токе	
V	– расход воздуха,	нм3/час
$W_{уз.}$	– скорость воздуха в узком сечении секций	м/сек
$H_п$	– полный напор, кг/м2 или мм.вод.ст.	
N	– мощность вентилятора, квт	
$\eta_в$	– КПД вентилятора	
$\alpha_{вн}$	– коэффициент теплоотдачи со стороны продукта внутри труб,	ккал/м2час.гр.
$\alpha'_н$	– коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха, отнесенный к гладкой поверхности трубы по диаметру $d_н$ основания ребер)	ккал/м2.час.гр.
$\alpha_н$	– коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха, отнесенный к полной поверхности оребренной трубы,	ккал/м2.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/м2.час.гр.
$K_н$	– коэффициент теплопередачи, отнесенный к гладкой поверхности трубы (по диаметру $d_н$ основания ребер),	ккал/м2.час.гр.
$K_г$	– коэффициент теплопередачи, без учета загрязнения,	ккал/м2.час.гр.
$K_{нп}$	– коэффициент теплопередачи, отнесенный к полной поверхности оребренной трубы, с учетом загрязнений	ккал/м2.час.гр.
B	– давление барометрическое,	мм.рт.ст.
y	– высота над уровнем моря,	м
$F_п$	– полная поверхность оребренной трубы,	м2
$F_{вн}$	– поверхность трубы внутренняя,	м2
$F_{ср}$	– поверхность трубы по среднему диаметру,	м2
$F_н$	– поверхность трубы наружная по диаметру $d_н$ основания ребер,	м2
$\frac{F_п}{F_{вн}}=\psi$	– коэффициент увеличения поверхности	
$\frac{F_п}{F_н}=\varphi$	– коэффициент оребрения	
$r_э$	– эквивалентное тепловое сопротивление материала стенок трубы и контактной поверхности (в биметаллических трубах),	м2.час.гр./ккал
$r_{з.вн}; r_{з.н}$	– тепловые сопротивления загрязнений внутреннего и наружного	м2.час.гр./ккал
D	– наружный диаметр трубы по оребрению,	мм
$d_н; d_{вн}; d_{ср}$	– диаметр трубы: наружный (у основания ребер), внутренний и средний,	мм
h	– высота ребра,	мм
U	шаг ребра,	мм
$\delta_{ср}$	– средняя толщина ребра,	мм
S	– поперечный шаг труб пучка,	мм

I. Уравнение теплового баланса

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

$$Q = Q_{пр} = Q_в \quad ккал/час \qquad (I)$$

$$Q_{пр} = G_{пр} \cdot C_р \cdot (T_1 - T_2) \quad ккал/час \qquad (2)$$

$$Q_в = G_в \cdot C_в \cdot (t_2 - t_1) \quad ккал/час \qquad (3)$$

Здесь: Q – количество тепла, проходящего через поверхность теплообмена, теплопроизводительность, ккал/час

$Q_{пр}$ – количество тепла, отдаваемое охлаждаемым продуктом, ккал/час

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

$Q_в$	– количество тепла, получаемое охлаждающим воздухом,	ккал/час
$G_{пр}$	– расход охлаждаемого продукта (или смеси продуктов),	кг/час
$G_в$	– расход воздуха,	кг/час
T_1	– начальная температура охлаждаемого продукта,	^oC
T_2	– конечная температура охлаждаемого продукта,	^oC
t_1	– начальная температура охлаждающего воздуха,	^oC
t_2	– конечная температура охлаждающего воздуха,	^oC
$C_р$	– средняя теплоемкость охлаждаемого продукта в интервале температур ($T_1 - T_2$),	ккал/кг.гр.
$C_в$	– средняя теплоемкость воздуха в интервале температур ($t_2 - t_1$),	ккал/кг.гр.

2. Уравнение теплопередачи

Необходимая (расчетная) поверхность теплообмена определяется из уравнения теплопередачи

$$Q = K \cdot \theta_{ср} \cdot F \qquad (4)$$

$\theta_{ср}$ – средний температурный напор, ^oC

F – поверхность теплообмена, м2

K – коэффициент теплопередачи, ккал/м2.час.гр.

3. Коэффициент теплопередачи

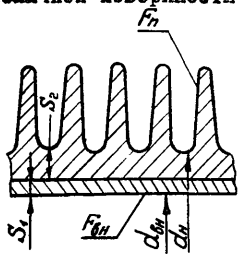
В условиях переноса тепла от продукта, конденсируемого в трубах аппаратов воздушного охлаждения к воздуху, обдувающему эти трубы снаружи, процесс теплообмена определяется совместным действием конвекции (от продукта к стенкам трубы и от стенок трубы к воздуху) и теплопроводности (через стенку трубы и слой загрязнений). Лучеиспусканием 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 – К (ккал/м2.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 (α воздуха = 10–50 ккал/м2.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 $d_н$ у основания ребер), расчетное уравнение для коэффициента теплопередачи имеет следующий вид:

$$K_н = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} \cdot \frac{d_н}{d_{вн}} + \gamma_э \cdot \frac{d_н}{d_c} + \frac{1}{\alpha_н} + \gamma_{звн} \cdot \frac{d_н}{d_{вн}} + \gamma_{зн}} \qquad (5)$$

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

$$K_{нп} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} \frac{F_п}{F_{вн}} + \gamma_э \cdot \frac{F_п}{F_{ср}} + \frac{1}{\alpha_н} + \gamma_{звн} \frac{F_п}{F_{вн}} + \gamma_{зн}} \qquad (6)$$

Здесь: $K_н$ – коэффициент теплопередачи отнесенный к гладкой поверхности (по диаметру основания ребер), ккал/м2.час.°С

$K_{нп}$ – коэффициент теплопередачи, отнесенный к полной поверхности оребренной трубы, $\frac{ккал}{м2.час.^{o}С}$

$\alpha_{вн}$ – коэффициент теплоотдачи со стороны продукта внутри труб, $\frac{ккал}{м2.час.^{o}С}$

$\alpha'_н$ – коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха, отнесенный к поверхности трубы у основания ребер, $\frac{ккал}{м2.час.^{o}С}$

$\alpha_н$ – коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха, отнесенный к полной поверхности оребренной трубы, $\frac{ккал}{м2.час.^{o}С}$

$d_н, d_{вн}, d_c$ – наружный, внутренний и средний диаметр трубы, м

$F_{вн}$ – поверхность трубы внутренняя, м2

$F_п$ – полная поверхность оребренной трубы, м2

$F_{ср}$ – поверхность трубы по среднему диаметру, м2

$\gamma_э$ – эквивалентное тепловое сопротивление материала стенок трубы и контактной поверхности (в биметаллических трубах), $\frac{м2.час.^{o}С}{ккал}$

$\gamma_{звн}$ – тепловое сопротивление загрязнений со стороны продукта, $\frac{м2.час.^{o}С}{ккал}$

$\gamma_{зн}$ – тепловое сопротивление загрязнений со стороны воздуха, $\frac{м2.час.^{o}С}{ккал}$

$\frac{F_п}{F_{вн}} = \psi$ – коэффициент увеличения поверхности

$$\gamma_э \frac{F_п}{F_{ср}} + \frac{1}{\alpha_н} = \frac{1}{\alpha_{нп}} \qquad (7)$$

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

Тогда:

$$K_{нп} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} \psi + \frac{1}{\alpha_{нп}} + \gamma_{звн} \psi + \gamma_{зн}} \qquad (8)$$

В обычных эксплуатационных условиях загрязнения со стороны воздуха отсутствуют, т.е. $\gamma_{зн} = 0$

Тогда:

$$K_{нп} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн}} \psi + \frac{1}{\alpha_{нп}} + \gamma_{звн} \psi} \qquad (9)$$

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.

Расчетная температура воздуха

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

При круглогодичной эксплуатации АВО расчетная температура воздуха должна выбираться из 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

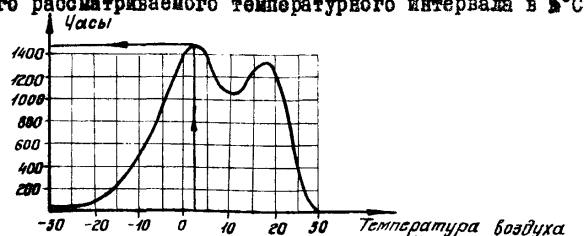
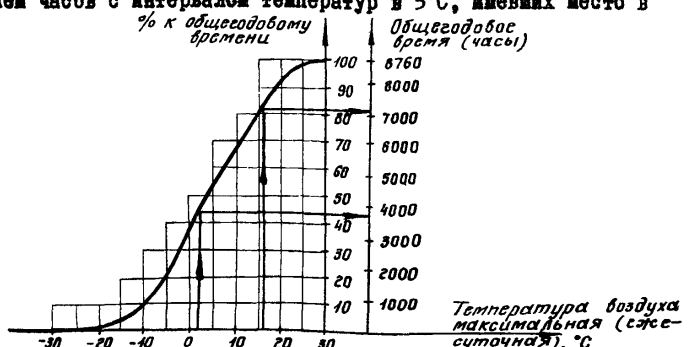


График А характеризует наиболее вероятные температуры для данной местности. Графики Б получены последовательным суммированием часов с интервалом температур в 5°С, имевших место в



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

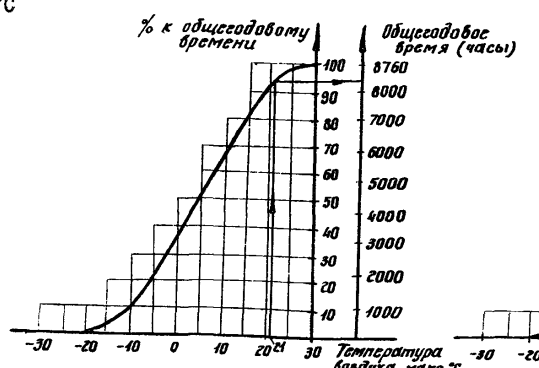
По крайним значениям рассматриваемого интервала температур на оси абсцисс определяются соответствующие значения времени на оси ординат и находят разность этих значений.

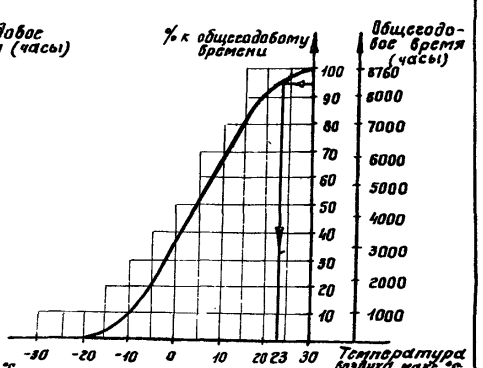
По графикам Б можно определить также количество часов в году (или процент общегодового времени), в течение которого в данной местности не превышается любая, наперед заданная температура.

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

График может быть использован и при решении обратной задачи-нахождении температуры, не превышаемой в течение наперед заданного количества часов в году (или процента общегодового 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 расчете аппаратов воздушного охлаждения, для нахождения теплопередающей поверхности требуется определение среднего температурного напора.

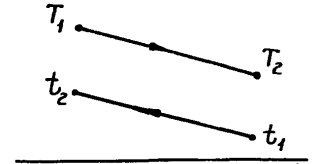
Средний температурный напор, т.е. средняя разность температур теплоносителей по всей поверхности теплообмена зависит от схемы движения теплоносителей.

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

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

Здесь: θ_1 и θ_2 – температурные напоры по концам аппарата.

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



$\theta_1 = T_1 - t_2$ $\theta_2 = T_2 - t_1$

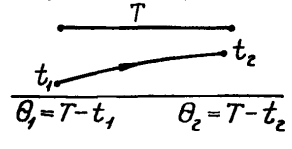
T– температура горячего (охлаждаемого) потока.

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



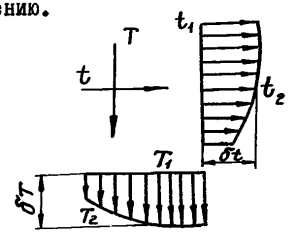
$\theta_1 = T - t_1$ $\theta_2 = T - t_2$

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

Наиболее общим случаем для аппаратов воздушного охлаждения является перекрестный ток теплоносителей, при соблюдении общего противопоточного 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 (одинаковые 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 среднелагорифмический температурный напор+) для противоточного аппарата – θ, затем вычисляются вспомогательные величины

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

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{\delta t}{\Delta t_{расп.}} \qquad (13)$$

Примечание:

+) При отношении $\frac{\theta_1}{\theta_2} < 1{,}7$ (где θ_1 всегда большая, а θ_2 всегда меньшая величина), можно пользоваться выражением среднеарифметического температурного напора $\theta = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$

Погрешность при этом составляет менее 3%.

Здесь: δT – охлаждение первичного (горячего) теплоносителя

δt – нагрев вторичного (холодного) теплоносителя (воздуха)

$\Delta t_{расп.}$ – располагаемый температурный напор

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

$$\theta_{ср} = \varepsilon_{\Delta t} \cdot \theta \qquad (14)$$

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

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

$$\varepsilon_{\Delta t_n} = \varepsilon_{\Delta t_{n-1}} + \frac{1-\varepsilon_{\Delta t_{n-1}}}{4}(n-1) \qquad (15)$$

Здесь: n=2÷4 – число ходов продукта

При большем числе ходов рекомендуется принимать $\varepsilon_{\Delta t}$=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

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

Средняя температура воздуха

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

Температура наружной поверхности стенки трубы

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

Температура внутренней поверхности стенки трубы

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

Увлажнение воздуха

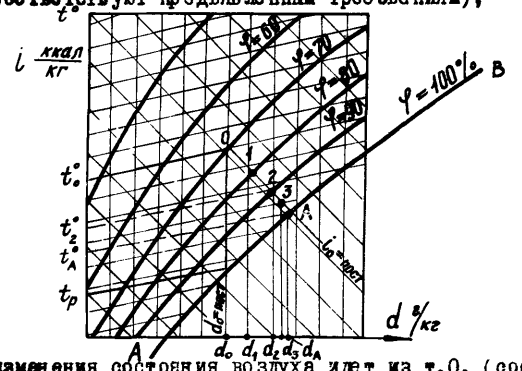
Увлажнение воздуха обычно используется в течение короткого (примерно 5%) периода времени в году, когда температура окружающего воздуха превышает выбранную расчетную температуру по сухому термометру.

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_o, относительной влажностью φ =70% и влагосодержанию d_o) при постоянном теплосодержании i_o =пост, 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 I,2,3 и т.д. на линии i_o = пост. Этим точкам соответствует влагосодержание d_1; d_2; d_3.

При увеличении относительной влажности до φ =100% состояние воздуха характеризуется точкой А, а температура воздуха понизится до $t_A - t_M$, т.е. до температуры мокрого термометра. Влагосодержание воздуха при этом возрастет на $\Delta d = d_A - d_o$ (кг.воды/кг.воздуха).

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

При этом температура воздуха понизится 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_o =пост).

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_o = пост.).

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:

а) $5{,}0 \leq pH \leq 8{,}5$

б) ионов железа не более 0,3 мг/л

в) ионов меди не более 0,3 мг/л

г) щелочных сульфидов не более 500 мг/л

д) общая жесткость 0,5 мг.экв/л

е) 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 $-\alpha_{нп}-$ включает термическое сопротивление материала стенок трубы и поверхности контакта (в биметаллических трубах).

Для каждого типа трубы, отличающегося материальным оформлением или геометрическими параметрами приведены свои графики, в каждом случае соответствующие различным значениям средней температуры потока воздуха (5^0C, 20^0C, 50^0C и 100^0C), 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, отличающегося геометрическими параметрами оребрения приведены свои графики в каждом случае соответствующие различному числу рядов труб в секции (4, 6 и 8) и различным значениям средней температуры потока воздуха (5^0C, 20^0C, 50^0C и 100^0C), являющейся определяющей температурой при проведении исследований.

Потребляемая мощность

Мощность привода аппаратов воздушного охлаждения определяется по следующей формуле:

$$N = \frac{V \cdot H_n}{102 \cdot \eta_в \cdot \eta_р} \qquad (23)$$

Здесь: N – потребляемая мощность, квт

V – расход воздуха, нм3/сек

H_n – полный напор вентилятора, кг/м3 (мм.вод.ст.)

$H_n = H_{ст.} + H_g.$

$H_{ст}$ – статический напор вентилятора, кг/м2 (мм.вод.ст.)

H_g – динамический напор вентилятора, кг/м2 (мм.вод.ст.)

$\eta_в$ – КПД вентилятора (определяется по графикам)

$\eta_р$ – 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

$$\gamma = \frac{N_{факт}}{N_{уст.}} \qquad (20)$$

Здесь: N факт.- среднее годовое значение мощности затрачиваемой на привод вентилятора, квт

N уст.- установочная мощность электродвигателя, квт

Как правило $\gamma = 0{,}3 \div 0{,}5$

Годовой расход электроэнергии

$M = N_{факт} \cdot n = N_{уст} \cdot \gamma \cdot n \qquad (21)$

Здесь: M- годовой расход электроэнергии, квт час

n - 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 на выражения

$$M = \Sigma N_{\phi i}\, n_i = N_{\phi_1} \cdot n_1 + N_{\phi_2}\, n_2 + \ldots + N_{\phi_n} n_n \qquad (22)$$

Здесь: $N_{\phi i}$ фактическое значение мощности, затрачиваемой на привод вентилятора в течение времени, n_i, квт.

n_i- время за год соответствующее работе вентилятора при мощности N_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 расчета аппаратов воздушного охлаждения

Для выполнения расчета 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 расчета необходимы следующие данные:

1. Количество (расход) охлаждаемого продукта, G кг/час
2. Температура начала и конца охлаждения продукта T_1 и T_2 °С
3. Количество передаваемого тепла, Q ккал/час
4. Место установки аппарата с указанием высоты расположения над уровнем моря.

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

5. Давление охлаждаемого продукта - Р кГ/см2 и допускаемая потеря напора в трубах ΔP кГ/см2 *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, обусловливаемому 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 свойства охлаждаемого продукта по табл.7 выбирается тип материального оформления, характеризуемый материалом труб и соответствующими материалами трубных решеток и крышек секций.

Порядок расчета аппаратов воздушного охлаждения

Расчет выполняется методом последовательного приближения.

I. Выбирается величина теплонапряженности аппаратов воздушного охлаждения, отнесенная к оребренной поверхности, q ккал/м2.час

Для всех типов аппаратов q =1000-1800 ккал/м2.час. *)

Бо́льшая величина теплонапряженности соответствует бо́льшим значениям $(T_1 - t_1)$ и $(T_2 - t_1)$

2. Определяется необходимая теплопередающая поверхность

$$F = \frac{Q}{q}, \ м^2$$

3. По табл. I-7 в соответствии с полученным значением поверхности подбирается конкретный аппарат воздушного охлаждения. (Тип, материальное оформление, давление, коэффициент оребрения труб-φ, коэффициент увеличения поверхности-Ψ, количество рядов труб в секции, количество ходов по трубам).

4. Задаются объемным расходом воздуха-V нм3/час, нагнетаемого осевым вентилятором. Расчетный режим$(V;H)$ определяется точкой пересечения характеристик осевого вентилятора и сети (секций).

Характеристики вентиляторов приведены на фиг. 2,5,6,8,9. Характеристики соответствуют воздуху при нормальных условиях (20°С, 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 Δt_o (при нормальных условиях t =20°С, В=760 мм.рт.ст.) по графику фиг.I0,II.

6. Определяется поправочный коэффициент к величине Δt в зависимости от высоты местности над уровнем моря (барометрического давления) и температуры окружающего воздуха $K_{\Delta t}$ по графику фиг. I2.

7. Определяется повышение температуры воздуха для данных условий.

$$\Delta t = \Delta t_o \cdot K_{\Delta t}$$

*) При особо низких температурных напорах $(T_2 - t_1 \leq 5°C)$ теплонапряженность может иметь значения $q \leq 200$.

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 (фатом) сечении- $w_y = f(v, t_{cp})$ по графикам. 13, 14, 15

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

13. Коэффициент теплоотдачи со стороны продукта (внутри труб)- $\alpha_{вн}$, $\frac{ккал}{м^2 \cdot час \cdot ^oC}$ 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 $K_2 = f(\alpha_{нп}, \frac{\psi}{\alpha_{вн}})$ по графикам фигг 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 $K = f(K_2, r_{зв} \cdot \psi)$ по графикам фиг. 27, 28, 29

$r_{зв} \cdot \psi$ – 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 θ, расчетом или по номограмме фиг. 30

17. Определяется поправочный коэффициент $\varepsilon_{\Delta t}$ 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

$$\theta_{cp} = \theta \cdot \varepsilon_{\Delta t}$$

19. Определяется расчетная поверхность теплообмена

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

20. Определяется запас поверхности теплообмена

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

где F – поверхность выбранного аппарата воздушного охлаждения

При расхождении F_p и F производится расчет во втором приближении.

При этом можно варьировать 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, 6, 8, 9

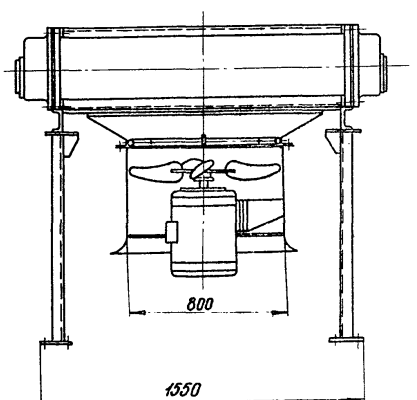
23. Расчет увлажнения воздуха при необходимости производится с помощью диаграммы i-d

Приложения 6

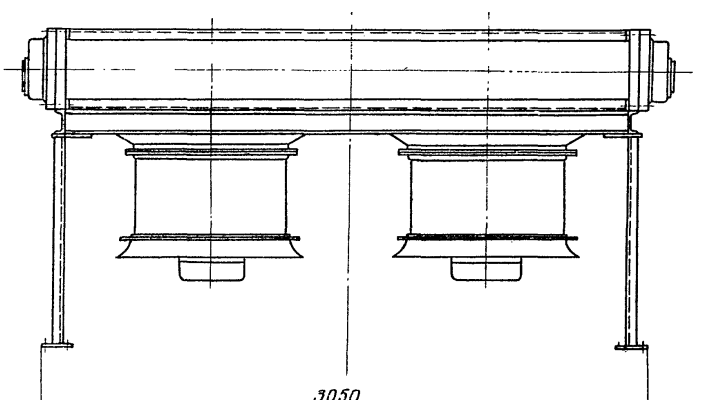
Тепловой расчет аппаратов воздушного охлаждения может быть упрощен при использовании практических значений коэффициентов теплопередачи, величины которых для некоторых сред приведены в Приложении.. 7.

Аппараты воздушного охлаждения малопоточного типа.

с трубами длиной 1,5м



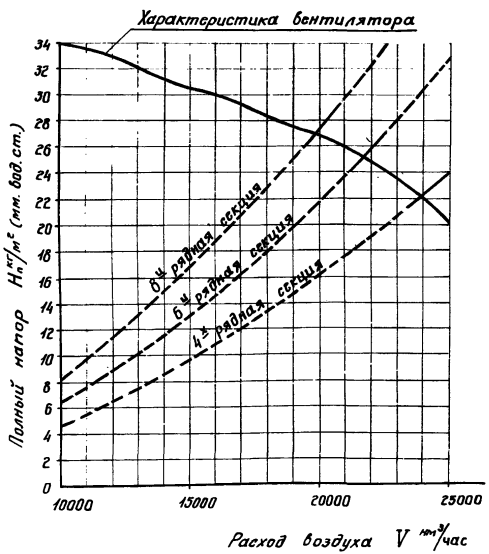
с трубами длиной 3м.



Фиг. 1

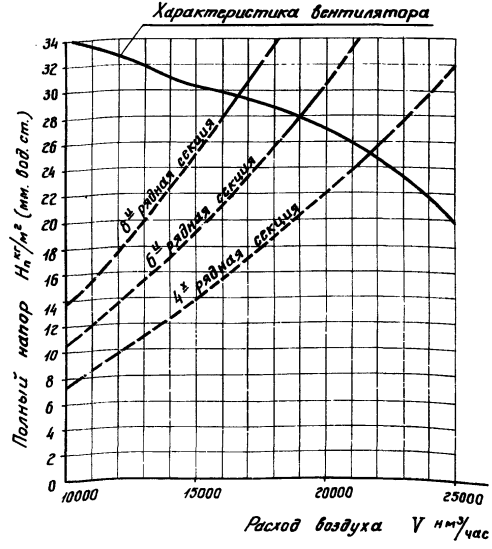
Аэродинамическая характеристика секций и осевого вентилятора

Тип вентилятора 06-320 №8
Диаметр колеса 800 мм
Число лопастей 4 шт.
Скорость вращения 1440 об/мин.



Аппараты с коэффициентом оребрения труб 9.

Фиг. 2



Аппараты с коэффициентом оребрения 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 — Номера ходов								Поверхность теплообмена, м² — Наружная (номинальная) при длине труб, м		Поверхность теплообмена, м² — Внутренняя при длине труб, м		Внутренний диаметр труб, мм	Площадь сечения (f) одного хода (средняя) $10^3 \cdot f$, м²
			1	2	3	4	5	6	7	8	1,5	3	1,5	3,0		
4	1	94	94	—	—	—	—	—	—	—	12 / 105	24 / 220	9 / 10	18 / 19	21	32,6
															22	35,7
	2		47	47	—	—	—	—	—	—					21	16,3
															22	17,9
	4		24	23	24	23	—	—	—	—					21	8,1
															22	8,9
6	1	141	141	—	—	—	—	—	—	—	18 / 160	36 / 325	14 / 15	28 / 29	21	48,8
															22	53,6
	2		71	70	—	—	—	—	—	—					21	24,3
															22	26,8
	3		47	47	47	—	—	—	—	—					21	16,3
															22	17,9
	6		24	23	24	23	24	23	—	—					21	8,1
															22	8,9
8	1	188	188	—	—	—	—	—	—	—	24 / 210	48 / 440	19 / 20	37 / 38	21	65,1
															22	71,5
	2		94	94	—	—	—	—	—	—					21	32,6
															22	35,7
	4		47	47	47	47	—	—	—	—					21	16,3
															22	17,9
	8		24	23	24	23	24	23	24	23					21	8,1
															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 оребрённой 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).

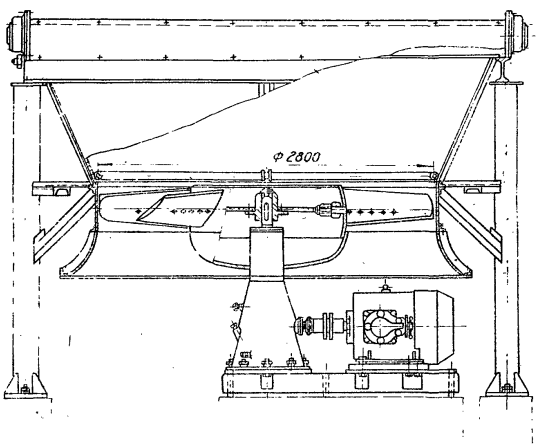
Таблица 2

Число рядов труб	Число ходов по трубам	Общее количество труб	Количество труб на один ход — Номера ходов 1	2	3	4	5	6	7	8	Поверхность теплообмена, м² — Наружная (номинальная) при длине труб, м 1,5	3	Внутренняя при длине труб, м 1,5	3	Внутренний диаметр труб, мм	Площадь сечения (f) одного хода /средняя/ $10^3 \cdot f$, м²
4	1	82	82	—	—	—	—	—	—	—	10 / 150	21 / 310	8 / 8,5	16 / 16,5	21	28,4
															22	31,2
	2		41	41	—	—	—	—	—	—					21	14,2
															22	15,6
	4		21	20	21	20	—	—	—	—					21	7,1
															22	7,8
6	1	123	123	—	—	—	—	—	—	—	16 / 225	32 / 465	12 / 13	24 / 24,5	21	42,6
															22	46,8
	2		62	61	—	—	—	—	—	—					21	21,3
															22	23,4
	3		41	41	41	—	—	—	—	—					21	14,2
															22	15,6
	6		21	20	21	20	21	20	—	—					21	7,1
															22	7,8
8	1	164	164	—	—	—	—	—	—	—	21 / 300	42 / 600	16 / 17	32,5 / 33	21	56,8
															22	62,3
	2		82	82	—	—	—	—	—	—					21	28,4
															22	31,2
	4		41	41	41	41	—	—	—	—					21	14,2
															22	15,6
	8		21	20	21	20	21	20	21	20					21	7,1
															22	7,8

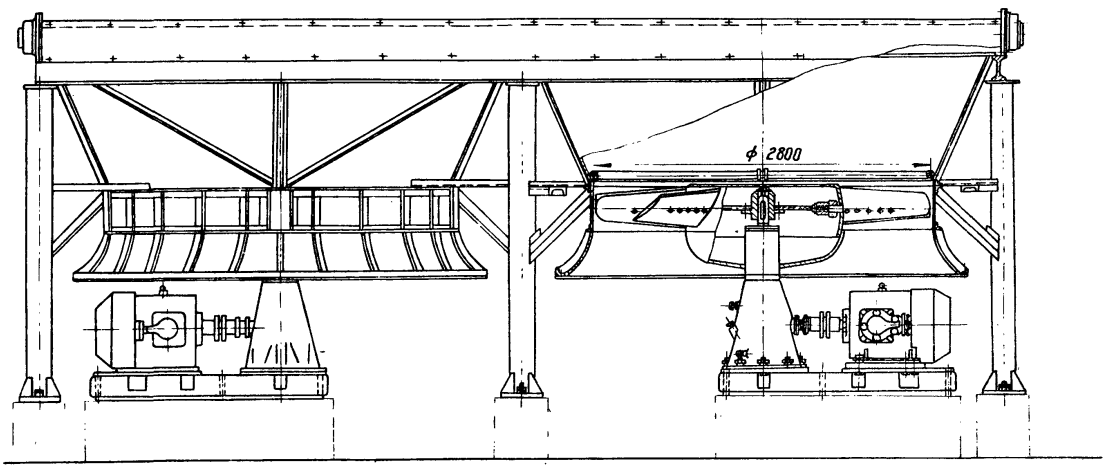
Примечания: 1. Действительная наружная поверхность теплообмена аппарата может отличаться от номинальной на ±5%.

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

Аппарат воздушного охлаждения горизонтального типа с трубами длиной 4м.



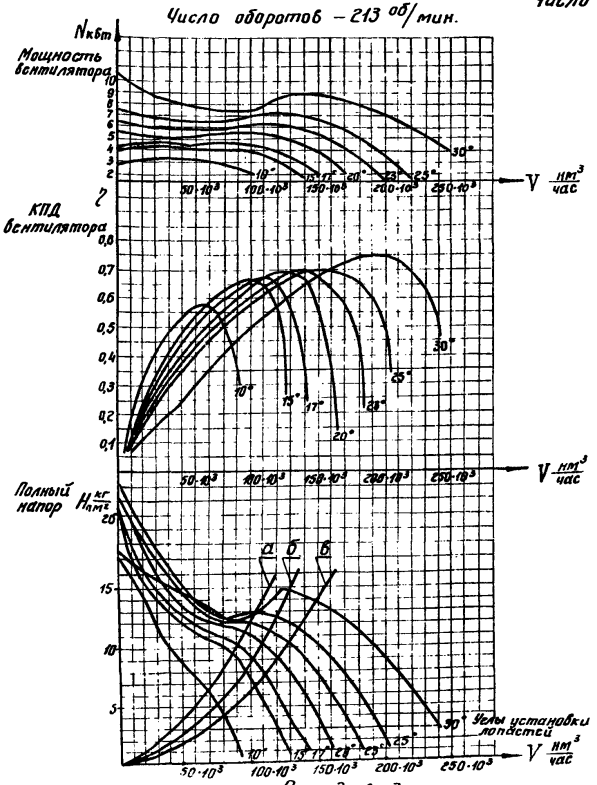
Аппарат воздушного охлаждения горизонтального типа с трубами длиной 8 м.

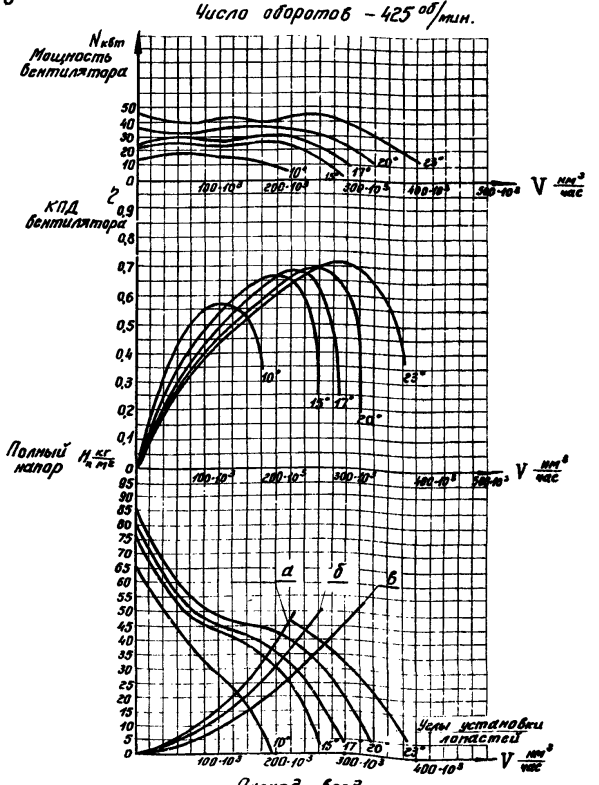


Фиг. 4

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



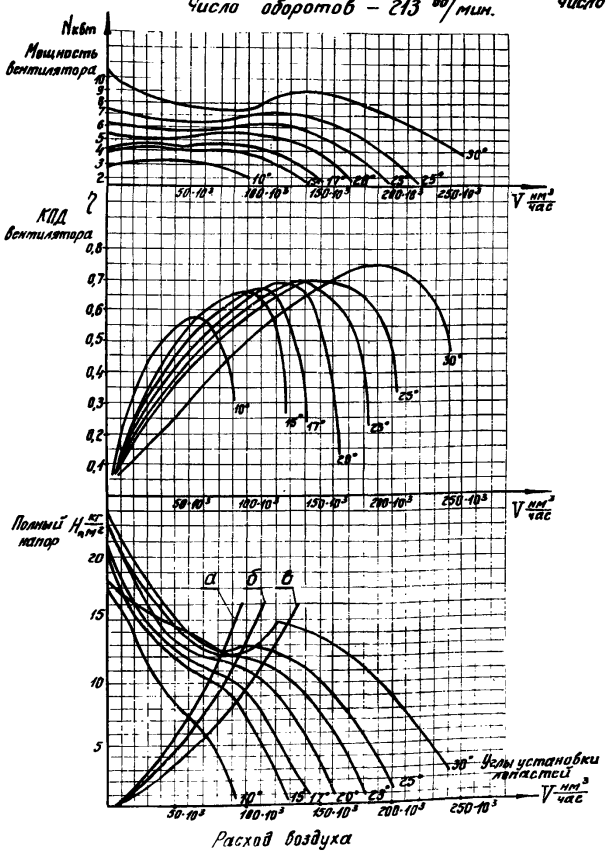


Фиг. 5

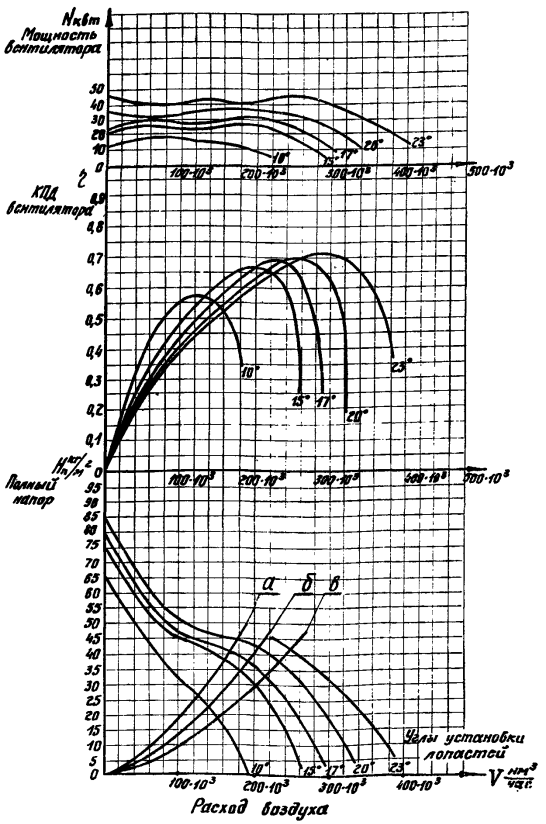
Аэродинамическая характеристика вентилятора и секций с трубами Ψ = 14,6 аппаратов воздушного охлаждения горизонтального типа.

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

Число оборотов – 213 об/мин.



Число оборотов – 425 об/мин.



а – для 6-рядной секции
б – для 6-рядной секции
в – для 4-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: в секции	Общее количество труб: в аппарате	Количество труб на один ход: в секции: Номера ходов 1	2	3	4	5	6	7	8	Количество труб на один ход: в аппарате: Номера ходов 1	2	3	4	5	6	7	8	Поверхность теплообмена, м²: при длине труб 4000 мм: наружная (номинальная): в секции	в аппарате	внутренняя: в секции	в аппарате	при длине труб 8000 мм: наружная (номинальная): в секции	в аппарате	внутренняя: в секции	в аппарате	Внутренний диаметр труб, мм	Площадь сечения (f) одного хода (средняя) $10^3 \cdot f$, м²: в секции	в аппарате
4	1	94	282	94	—	—	—	—	—	—	—	282	—	—	—	—	—	—	—	32	97	25	75	86	197	50	150	21	32,6	97,8
																												22	35,7	107,1
	2			47	47	—	—	—	—	—	—	141	141	—	—	—	—	—	—	290	875	26	78	590	1770	52	156	21	16,3	48,9
																												22	17,9	53,7
	4			24	23	24	23	—	—	—	—	72	69	72	69	—	—	—	—									21	8,1	24,3
																												22	8,9	26,7
6	1	141	423	141	—	—	—	—	—	—	—	423	—	—	—	—	—	—	—	49	147	37	111	98	285	74	222	21	46,8	146,4
																												22	53,6	160,8
	2			71	70	—	—	—	—	—	—	213	210	—	—	—	—	—	—									21	24,3	72,9
																												22	26,8	80,4
	3			47	47	47	—	—	—	—	—	141	141	141	141	—	—	—	—	440	1320	39	117	880	2650	78	234	21	16,3	48,9
																												22	17,9	53,7
	6			24	23	24	23	24	23	—	—	72	69	72	69	72	69	—	—									21	8,1	24,3
																												22	8,9	26,7
8	1	188	564	188	—	—	—	—	—	—	—	564	—	—	—	—	—	—	—									21	65,1	195,3
																												22	71,5	214,3
	2			94	94	—	—	—	—	—	—	282	282	—	—	—	—	—	—	65	194	50	150	130	390	100	300	21	32,6	97,8
																												22	35,7	107,1
	4			47	47	47	47	—	—	—	—	141	141	141	141	—	—	—	—	580	1740	52	156	1165	3500	104	312	21	16,3	48,9
																												22	17,9	53,7
	8			24	23	24	23	24	23	24	23	72	69	72	69	72	69	72	69									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 оребрённой. Внутренняя поверхность теплообмена для биметаллических труб указана в верхней строке, для биметаллических — в нижней.

Аппараты воздушного охлаждения горизонтального типа

Количество труб, площадь сечения и поверхность теплообмена. (Коэффициент оребрения труб 14,6).

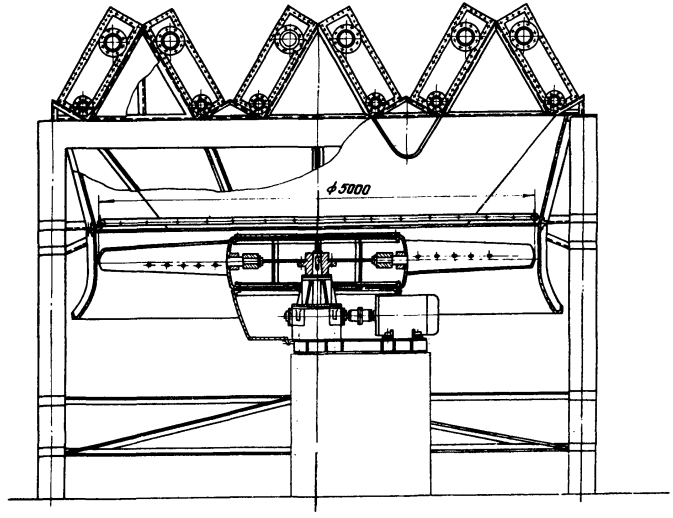
Таблица 4

Число рядов труб	Число ходов по трубам	Общее количество труб		Количество труб на один ход																Поверхность теплообмена, м²								Внутренний диаметр труб, мм	Площадь сечения (f) одного хода (средняя) $10^3 \cdot f$, м²	
				в секции								в аппарате								при длине труб 4000 мм				при длине труб 8000 мм						
				Номера ходов																Наружная (номинальная)		Внутренняя		Наружная (номинальная)		Внутренняя				
		в секции	в аппарате	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8	секции	аппарата	секции	аппарата	секции	аппарата	секции	аппарата		секции	аппарата
4	1	82	246	82	—	—	—	—	—	—	—	246	—	—	—	—	—	—	—									21	28,4	85,2
																												22	31,2	93,6
	2			41	41	—	—	—	—	—	—	123	123	—	—	—	—	—	—	28	85	22	66	57	170	43	130	21	14,2	42,6
																				415	1250	23	70	830	2500	45	135	22	15,6	46,8
	4			21	20	21	20	—	—	—	—	63	60	63	60	—	—	—	—									21	7,1	21,3
																												22	7,8	23,4
6	1	123	369	123	—	—	—	—	—	—	—	369	—	—	—	—	—	—	—									21	42,6	127,8
																												22	46,7	140,1
	2			62	61	—	—	—	—	—	—	186	183	—	—	—	—	—	—	43	129	32	96	85	255	65	195	21	21,5	64,5
																												22	23,6	70,8
	3			41	41	41	—	—	—	—	—	123	123	123	—	—	—	—	—	620	1870	34	102	1265	3800	67	202	21	14,2	42,6
																												22	15,6	46,8
	6			21	20	21	20	21	20	—	—	63	60	63	60	63	60	—	—									21	7,1	21,3
																												22	7,8	23,4
8	1	164	492	164	—	—	—	—	—	—	—	492	—	—	—	—	—	—	—									21	56,8	170,4
																												22	62,3	186,4
	2			82	82	—	—	—	—	—	—	246	246	—	—	—	—	—	—	57	170	43	129	114	342	87	260	21	28,4	85,2
																												22	31,2	93,6
	4			41	41	41	41	—	—	—	—	123	123	123	123	—	—	—	—	830	2500	45	135	1700	5100	89	268	21	14,2	42,6
																												22	15,6	46,8
	8			21	20	21	20	21	20	21	20	63	60	63	60	63	60	63	60									21	7,1	21,3
																												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 рёбер, в нижней – по оребрённой. Внутренняя поверхность теплообмена для биметаллических труб указана в верхней строке, для монометаллических – в нижней.

Аппарат воздушного охлаждения зигзагообразного типа.



Фиг. 7

Аэродинамическая характеристика вентилятора и секций с трубами Ф=9 аппаратов воздушного охлаждения зигзагообразного типа.

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

Фиг. 8

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

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

Фиг. 9

Аппараты воздушного охлаждения зигзагообразного типа.

Количество труб, площадь сечения и поверхность теплообмена.

(Коэффициент оребрения труб 9)

Таблица 5

Число рядов труб	Число ходов по трубам	Общее количество труб: в секции	Общее количество труб: в аппарате	Количество труб на один ход: в секции: Номера ходов 1	2	3	4	5	6	7	8	Количество труб на один ход: в аппарате: Номера ходов 1	2	3	4	5	6	7	8	Поверхность теплообмена, м²: Наружная (номинальная): секции	аппарата	Внутренняя: секции	аппарата	Внутренний диаметр труб, мм	Площадь сечения (f) одного хода (средняя), 10³·f, м²: секции	аппарата
4	1	94	564	94	—	—	—	—	—	—	—	564	—	—	—	—	—	—	—	50 / 440	300 / 2650	37 / 36	220 / 230	21	32,6	196,6
																								22	35,7	214,2
	2			48	46	—	—	—	—	—	—	288	276	—	—	—	—	—	—					21	16,3	97,8
																								22	17,9	107,4
	4			24	24	24	22	—	—	—	—	144	144	144	132	—	—	—	—					21	8,1	48,6
																								22	8,9	53,4
	8			12	12	12	12	12	12	12	10	72	72	72	73	72	72	72	60					21	4,2	25,2
																								22	4,6	27,6
6	1	141	846	141	—	—	—	—	—	—	—	846	—	—	—	—	—	—	—	73 / 665	440 / 4000	55 / 56	330 / 350	21	48,8	292,6
																								22	53,6	321,6
	2			75	66	—	—	—	—	—	—	450	396	—	—	—	—	—	—					21	24,4	146,4
																								22	26,8	160,8
	4			36	36	36	33	—	—	—	—	216	216	216	198	—	—	—	—					21	12,2	73,2
																								22	13,4	80,4
	8			18	18	18	18	18	18	18	15	108	108	108	108	108	108	108	90					21	6,2	37,2
																								22	6,8	40,8
8	1	188	1128	188	—	—	—	—	—	—	—	1128	—	—	—	—	—	—	—	98 / 885	590 / 5300	73 / 76,5	440 / 460	21	65,1	390,6
																								22	71,5	429,0
	2			96	92	—	—	—	—	—	—	576	552	—	—	—	—	—	—					21	32,6	195,6
																								22	35,7	214,2
	4			48	48	48	44	—	—	—	—	288	288	288	264	—	—	—	—					21	16,2	97,8
																								22	17,8	106,8
	8			24	24	24	24	24	24	24	20	144	144	144	144	144	144	144	120					21	8,3	49,8
																								22	9,1	54,6

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 оребрённой поверхности. Внутренняя поверхность теплообмена для биметаллических труб указана в верхней строке, для монометаллических – 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 ходов по трубам	Общее количество труб: в секции	Общее количество труб: в аппарате	Количество труб на один ход: в секции, номера ходов 1	2	3	4	5	6	7	8	Количество труб на один ход: в аппарате, номера ходов 1	2	3	4	5	6	7	8	Поверхность теплообмена, м²: Наружная (номинальная): секции	аппарата	Внутренняя: секции	аппарата	Внутренний диаметр труб, мм	Площадь сечения (f) одного хода (средняя) $10^3 \cdot f$, м²: секции	аппарата
4	1	82	492	82	—	—	—	—	—	—	—	492	—	—	—	—	—	—	—	43 / 625	260 / 3750	32 / 34	195 / 205	21	28,4	170,4
																								22	31,2	187,2
	2			44	38	—	—	—	—	—	—	264	228	—	—	—	—	—	—					21	14,2	85,2
																								22	15,6	93,6
	4			24	20	20	18	—	—	—	—	144	120	120	108	—	—	—	—					21	7,1	42,6
																								22	7,8	46,8
	8			12	12	12	12	8	8	8	10	72	72	72	72	48	48	48	60					21	3,5	21,0
																								22	3,8	22,8
6	1	123	738	123	—	—	—	—	—	—	—	738	—	—	—	—	—	—	—	65 / 940	390 / 5650	48 / 52	290 / 310	21	42,6	255,6
																								22	46,8	280,8
	2			63	60	—	—	—	—	—	—	378	360	—	—	—	—	—	—					21	21,3	127,8
																								22	23,4	140,4
	4			33	30	30	30	—	—	—	—	198	180	180	180	—	—	—	—					21	10,6	63,6
																								22	11,7	70,2
	8			21	18	18	18	12	12	12	12	126	108	108	108	72	72	72	72					21	5,3	31,8
																								22	5,8	34,8
8	1	164	984	164	—	—	—	—	—	—	—	984	—	—	—	—	—	—	—	85 / 1250	510 / 7500	65 / 88	390 / 410	21	56,8	340,8
																								22	62,3	373,8
	2			88	76	—	—	—	—	—	—	528	456	—	—	—	—	—	—					21	28,4	170,4
																								22	31,2	187,2
	4			48	40	40	36	—	—	—	—	288	240	240	216	—	—	—	—					21	14,2	85,2
																								22	15,6	93,6
	8			24	24	24	24	16	16	16	20	144	144	144	144	96	96	96	120					21	7,1	42,6
																								22	7,8	46,8

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 оребрённой поверхности. Внутренняя поверхность теплообмена для биметаллических труб указана в верхней строке, для монометаллических – в нижней.

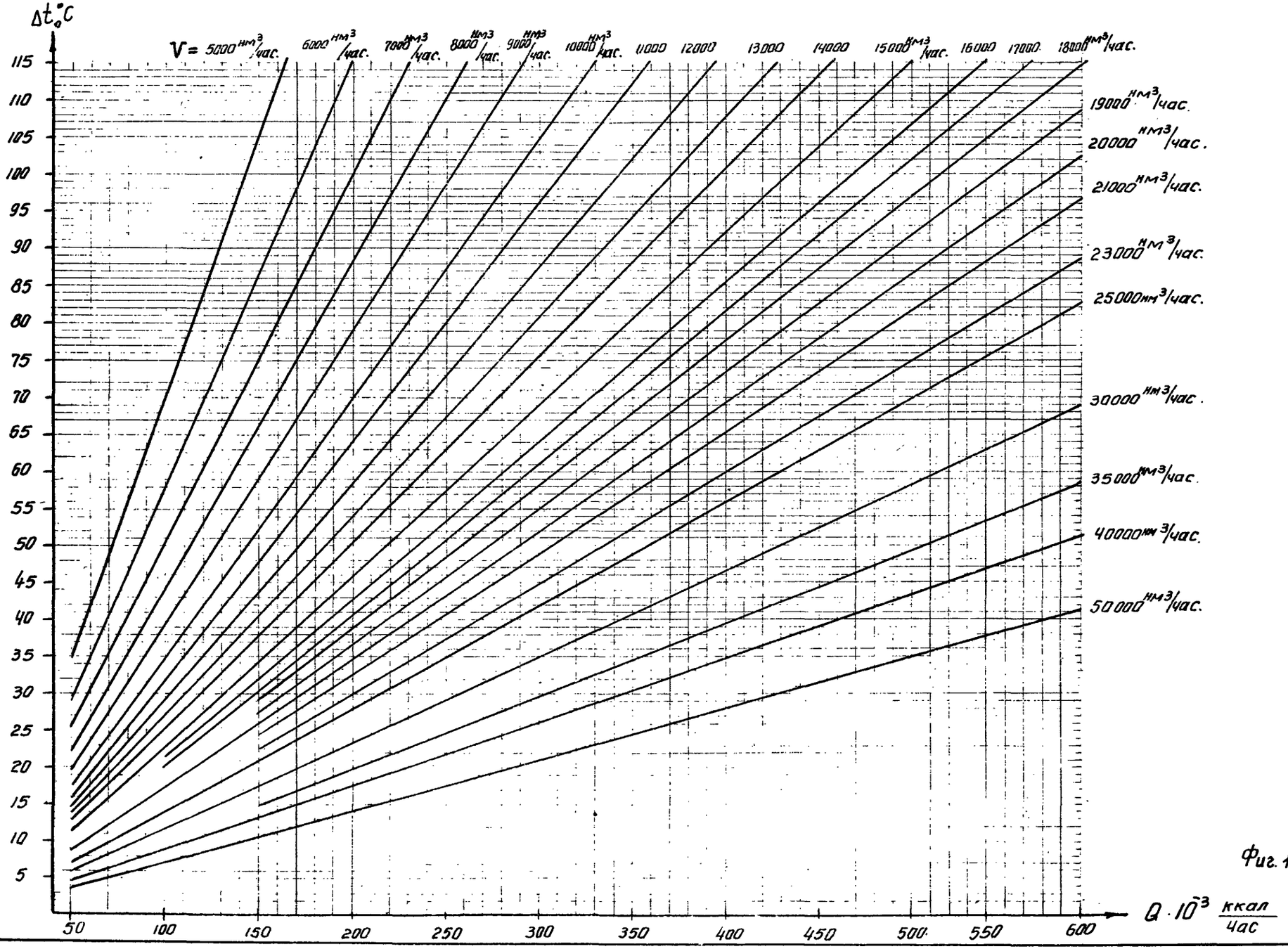
Материальное исполнение аппаратов воздушного охлаждения

Таблица 7

Исполнение аппаратов по материалу	Давление условное в аппарате кгс/см²	Рабочая температура в аппарате	Материал				
			Трубы		Решётки трубные	Крышки	Прокладки асбометаллические
			Внутренние	Наружные			
Б1	6 10 16 25 40 64	от −40 °С до +450 °С	Сталь 10 и 20 ГОСТ 8734-58**	Сплав АД1 ГОСТ 11535-65	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 13722-68*
Б2		от −40 °С до +475 °С	Сталь Х5М ГОСТ 550-58 Сталь 0Х13 ГОСТ 9941-62 Сталь Х8		Сталь Х5М ГОСТ 7350-66 группа А	Сталь 20Х5МЛ Сталь 20Х5ТЛ ГОСТ 2176-67	Картон асбестовый ГОСТ 2850-58 в оболочке из стали 0Х13-м ГОСТ 4986-54*
Б3		от −40 °С до +300 °С	Сталь 0Х22Н5Т Сталь 0Х21Н6М2Т 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 °С до +475 °С	Сталь Х18Н10Т ГОСТ 9941-62				
		от −60 °С до +475 °С			Сталь 09Г2С + Сталь Х18Н10Т ГОСТ 10885-64*		
Б4		от −40 °С до +475 °С	Сталь Х17Н13М2Т Сталь 0Х17Н16М3Т ГОСТ 9941-62		Сталь 16ГС + Сталь Х17Н13М2Т Сталь 16ГС + Сталь 0Х17Н16М3Т ГОСТ 10885-64*		
		от −60 °С до +475 °С			Сталь 09Г2С + Сталь Х17Н13М2Т Сталь 09Г2С + Сталь 0Х17Н16М3Т ГОСТ 10885-64*		
Б5		от −40 °С до +250 °С	Латунь Л0Мш 70-1-0,06 Латунь ЛАМш 77-2-0,06 ГОСТ 494-69		Сталь 16ГС ГОСТ 5520-69 с наплавкой из латуни Л062-1 шш А-03 ГОСТ 1019-47**	Сталь 20Л-II Сталь 20Л-III ГОСТ 977-65	Картон асбестовый ГОСТ 2850-58* в оболочке из сплава Л62 ГОСТ 931-70
М1У	6 10 16	от −40 °С до +150 °С	Сплав АМг2 и АД1 ГОСТ 11535-65		Сталь 16ГС ГОСТ 5520-69		Картон асбестовый ГОСТ 2850-58* в оболочке из сплава АД ГОСТ 13722-68*
М1А					Сплавы АМг5 и АМг6 ГОСТ 4784-65*		

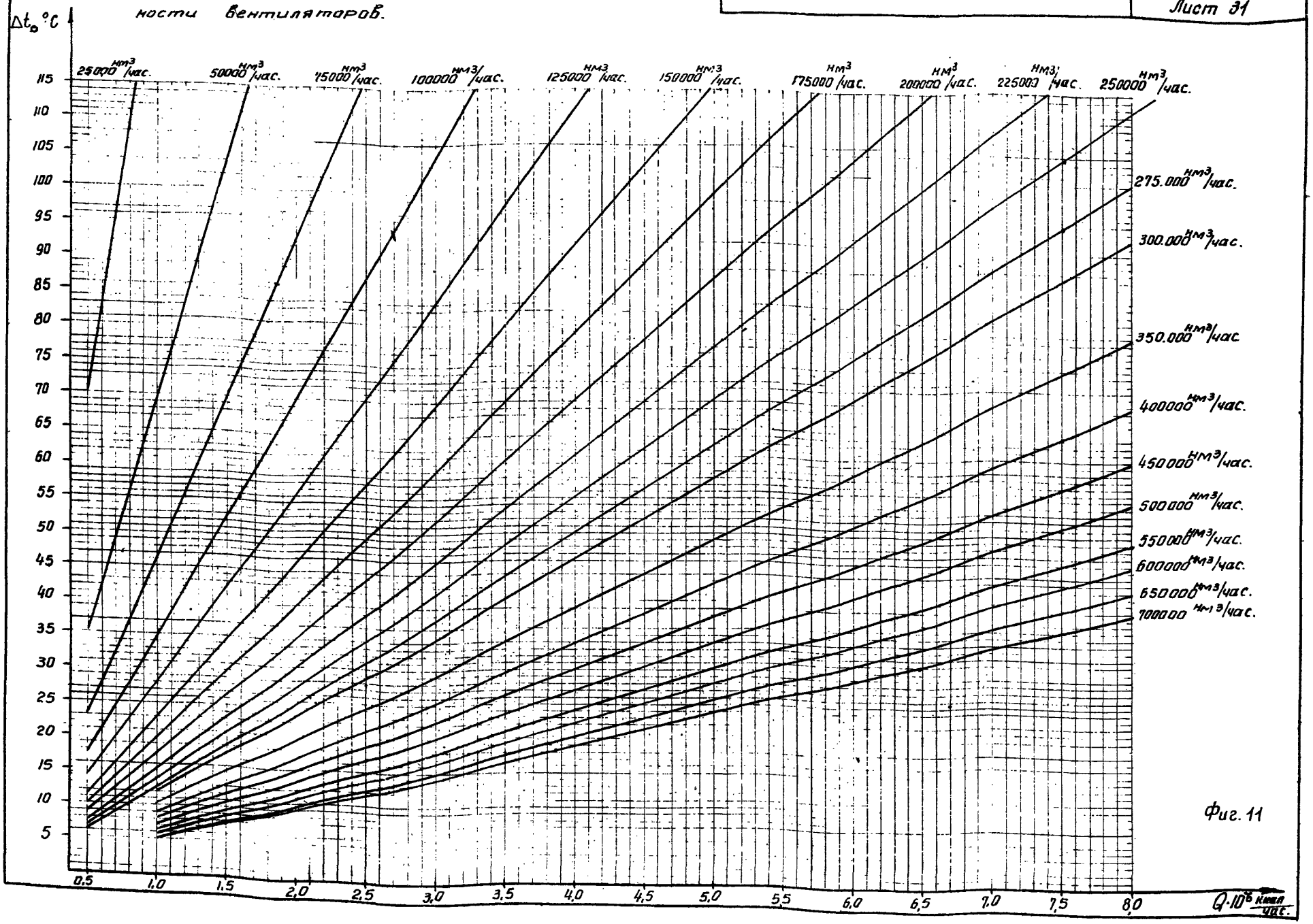
Примечания:
1. Сталь марки 20Х5ТЛ применяется при рабочих температурах до 425 °С.
2. Сталь марки 0Х13 применяется при рабочих температурах от 0 °С до 300 °С.
3. Секции аппаратов всех материальных исполнений, в которых используются стали 20Л-II, 20Л-III, 20Х5ТЛ и 16ГС могут применяться при температурах окружающего воздуха до −60 °С 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 Ру 6, 16, 25 и 64 кгс/см².

Зависимость температуры подогрева воздуха от теплопроизводительности при различной производительности вентилятора.



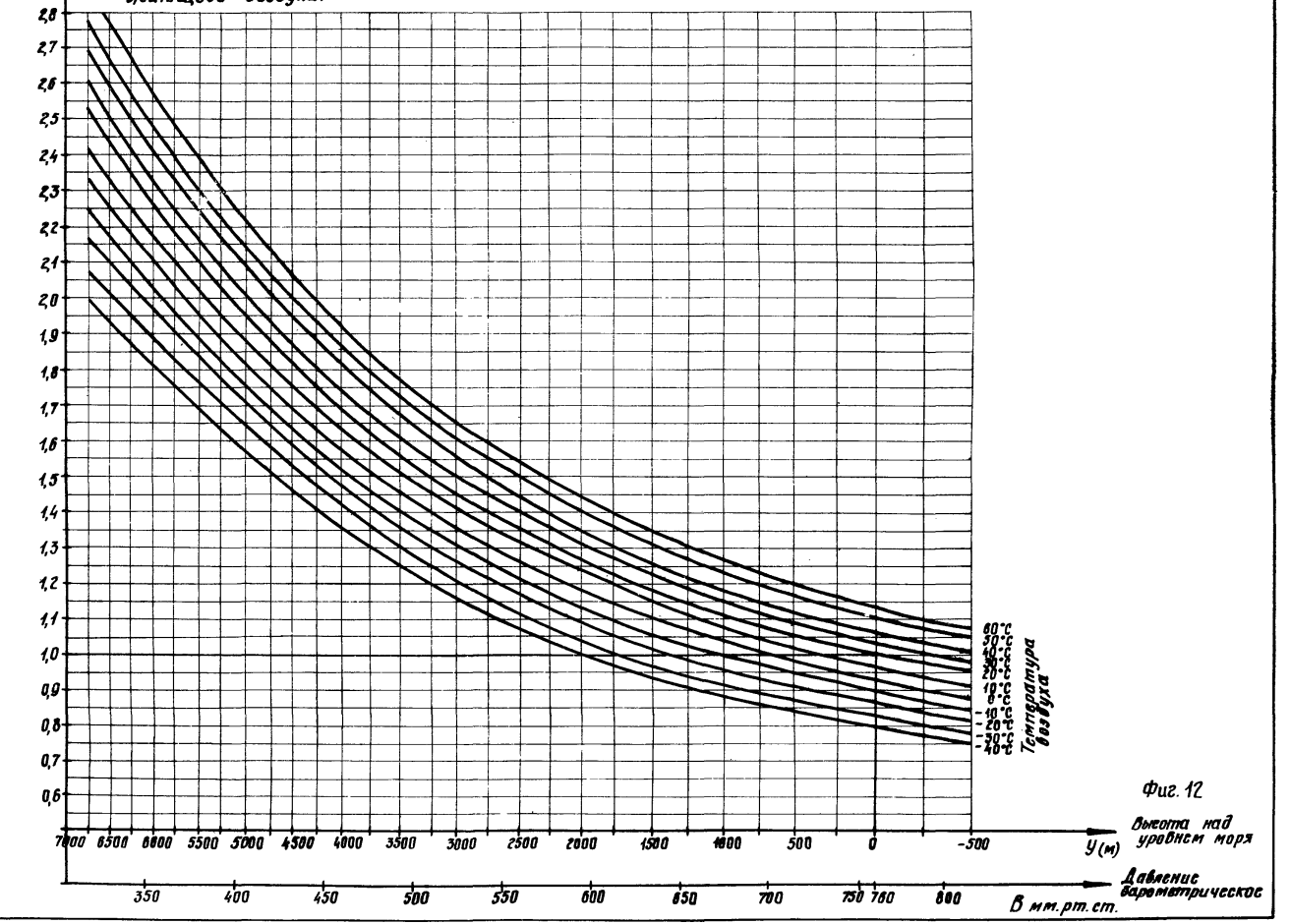
Фиг. 10

Зависимость температуры подогрева воздуха от теплопроизводительности при различной производительности вентиляторов.



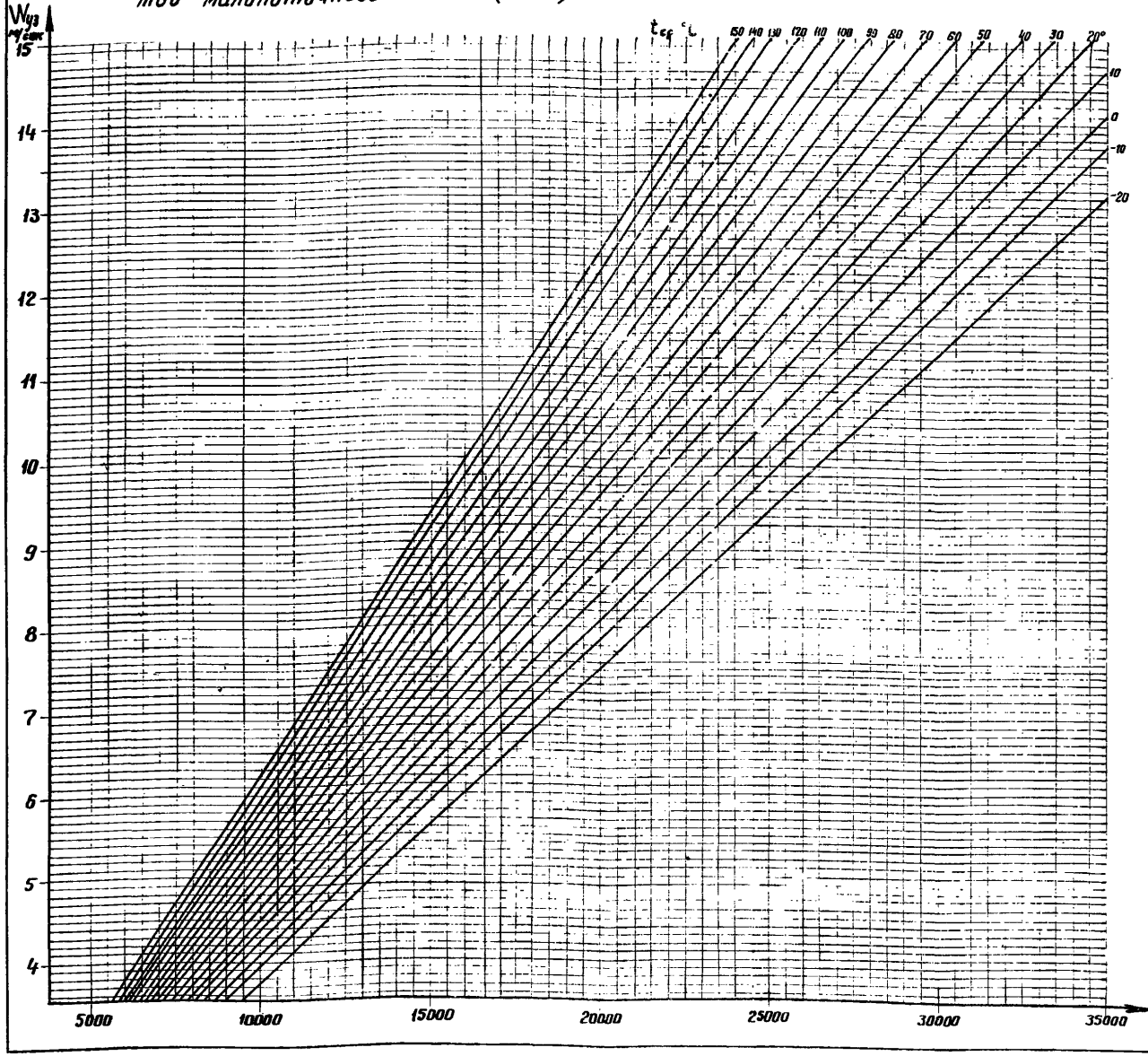
Фиг. 11

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



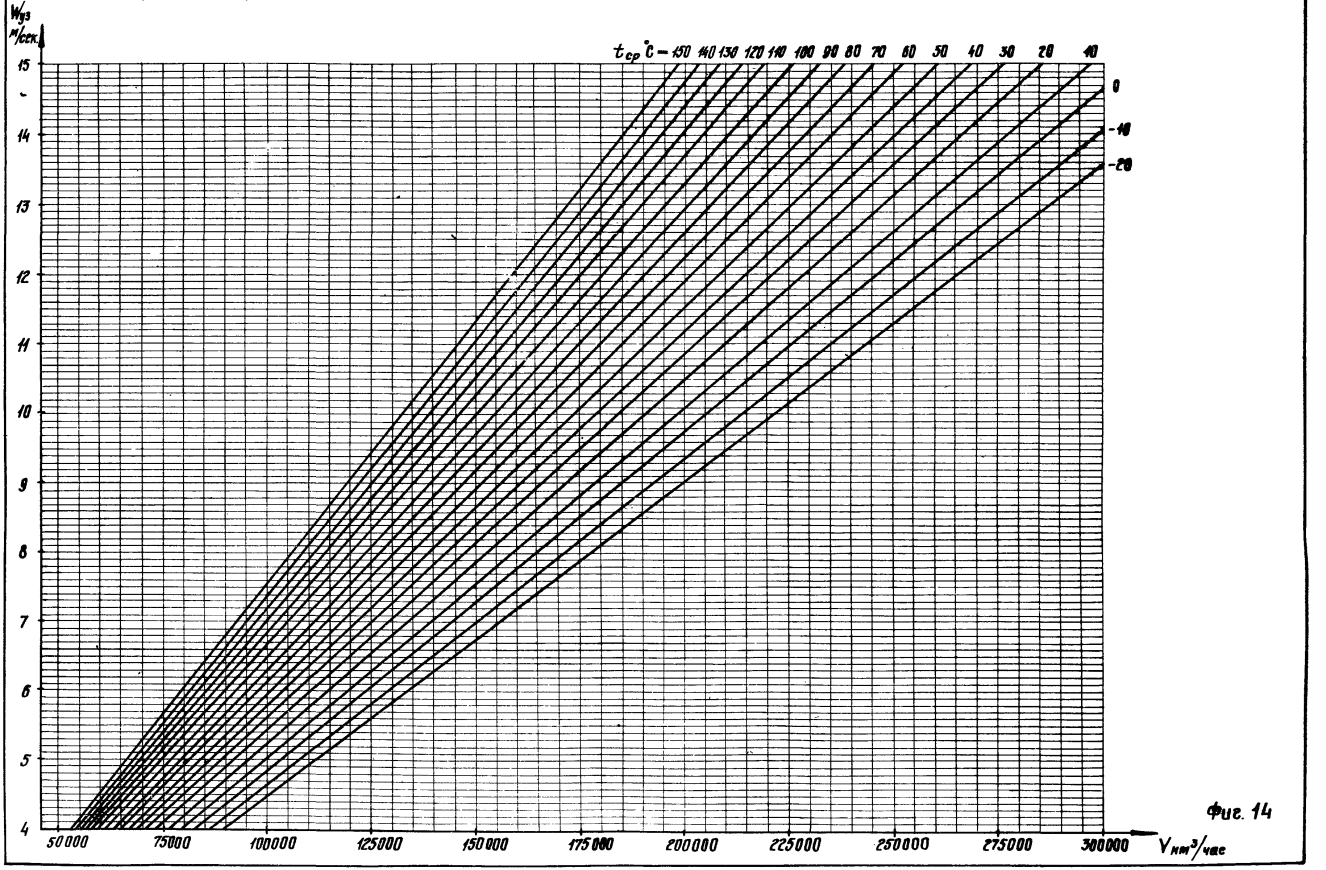
Фиг. 12

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



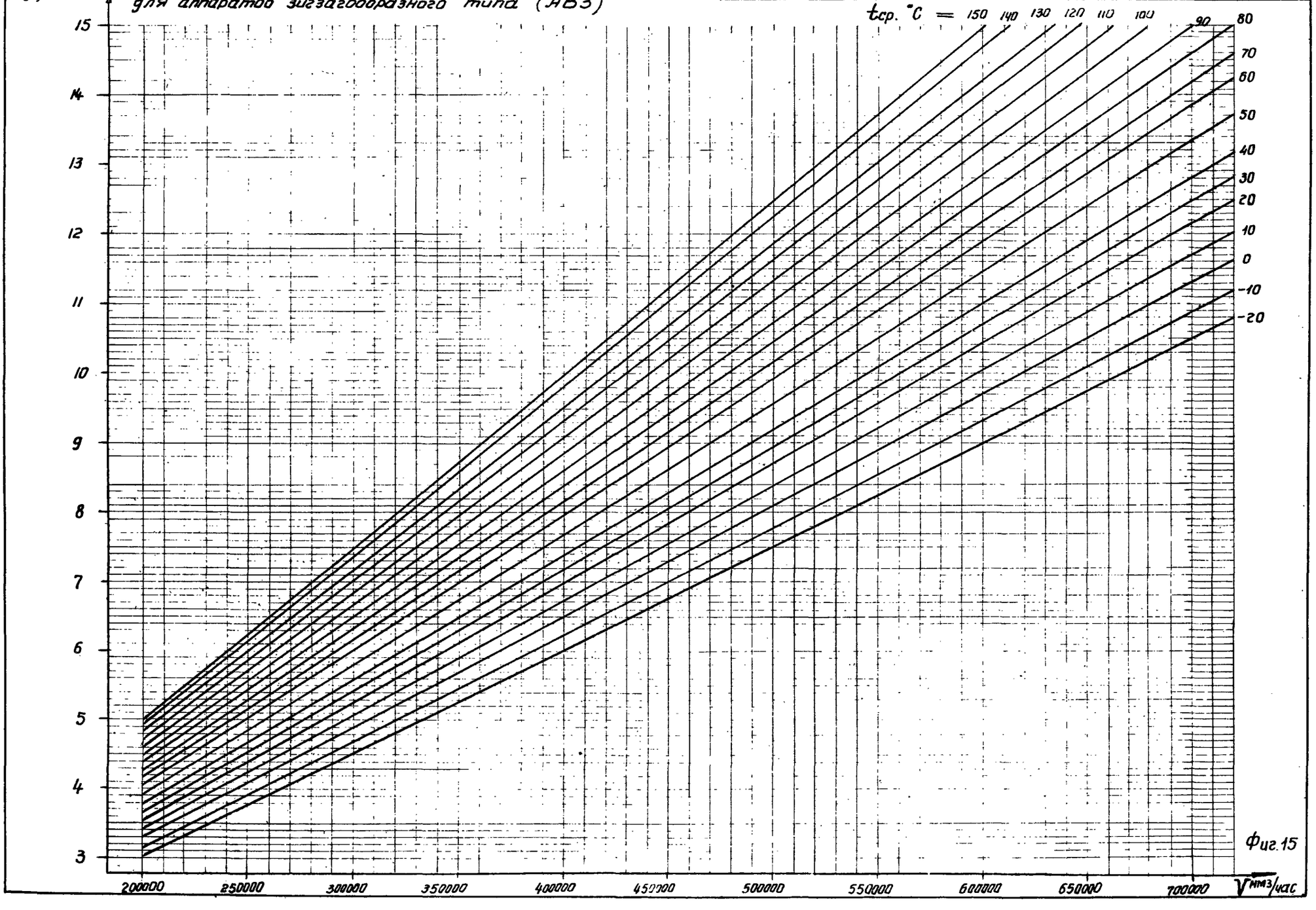
фиг. 13

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)

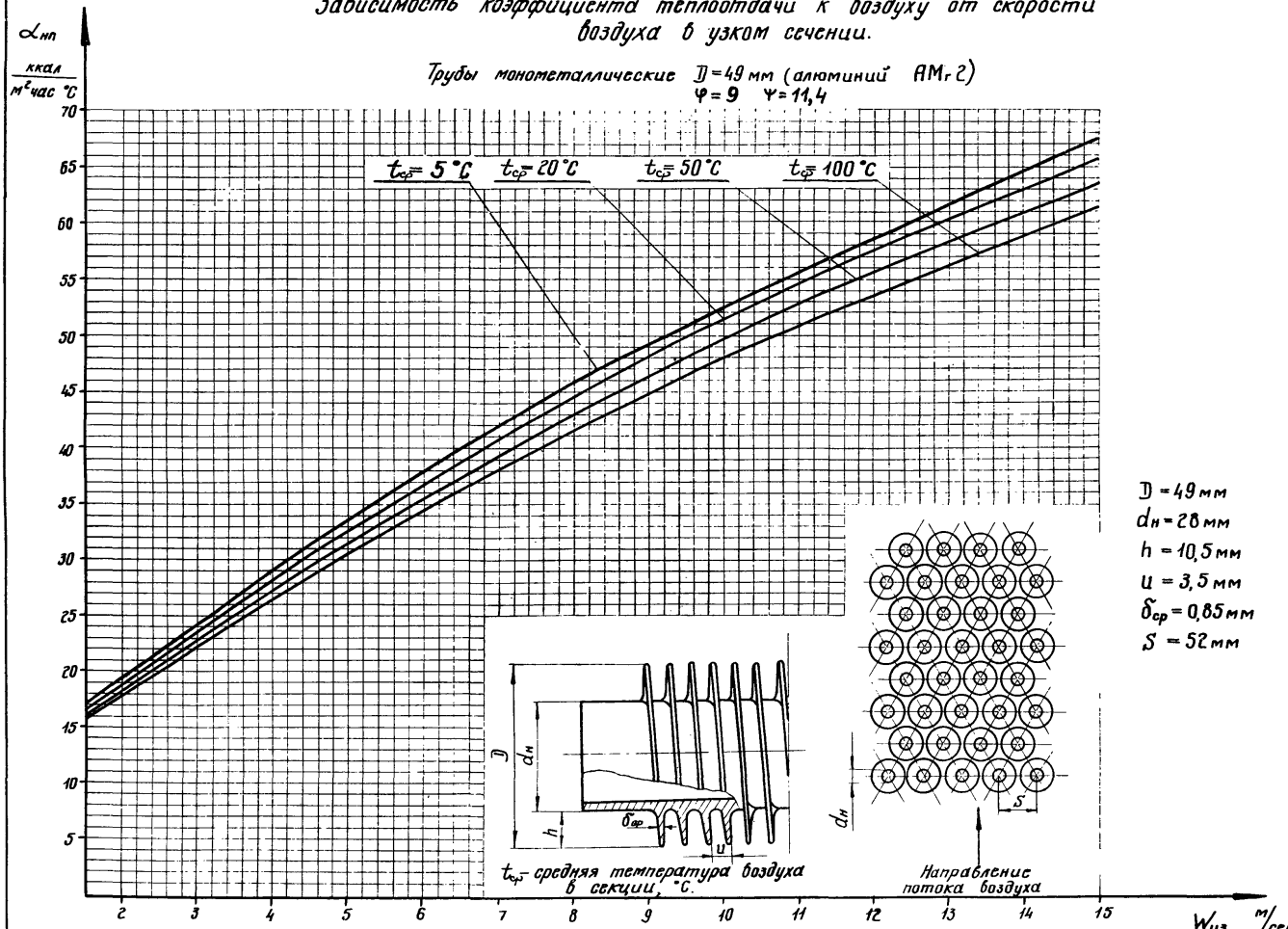


Фиг. 15

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

Трубы монометаллические $D = 49$ мм (алюминий АМг2)

$\varphi = 9$ $\Psi = 11{,}4$



$D = 49$ мм

$d_н = 28$ мм

$h = 10{,}5$ мм

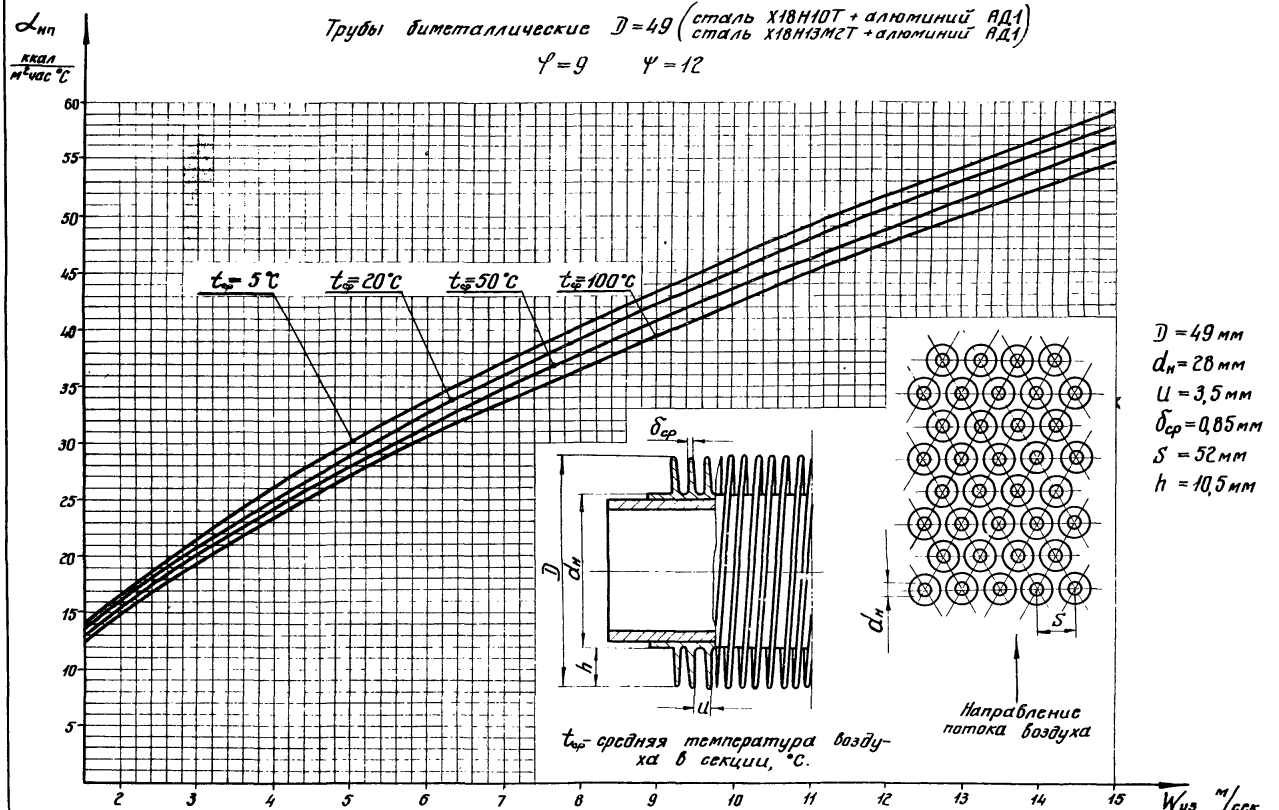
$u = 3{,}5$ мм

$\delta_{ор} = 0{,}85$ мм

$S = 52$ мм

Фиг. 16

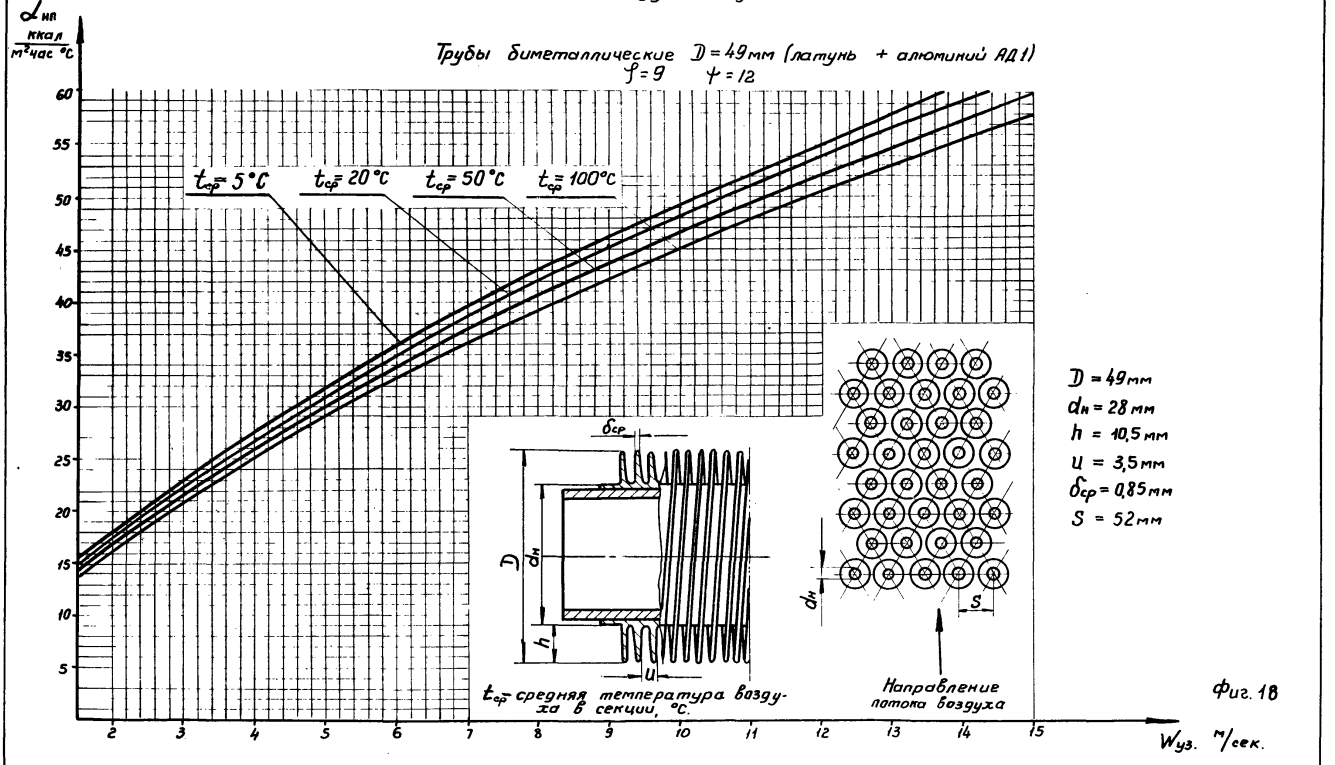
Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении.



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

Фиг. 17

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

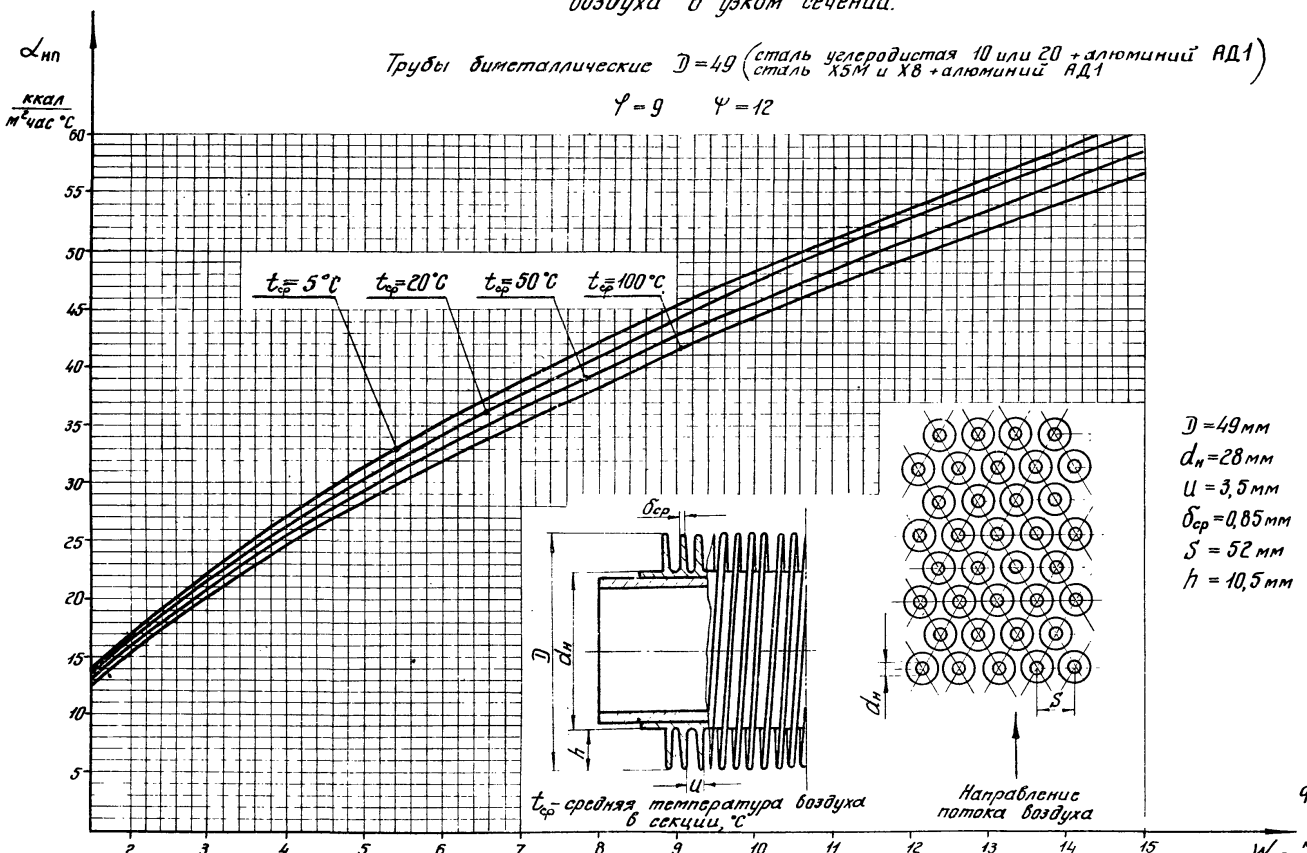


Фиг. 18

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

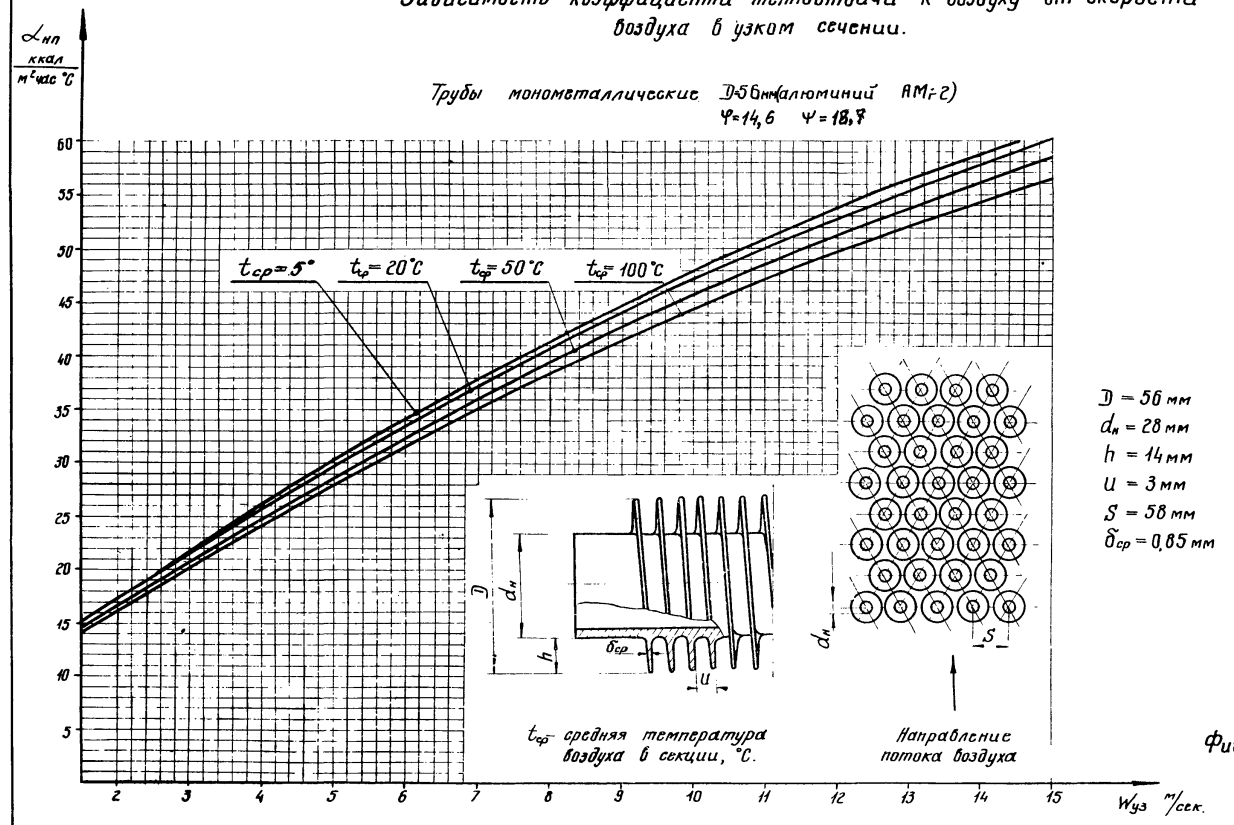
Трубы биметаллические $D = 49$ (сталь углеродистая 10 или 20 + алюминий АД1; сталь Х5М и Х8 + алюминий АД1)

$\varphi = 9$ $\psi = 12$



Фиг. 19

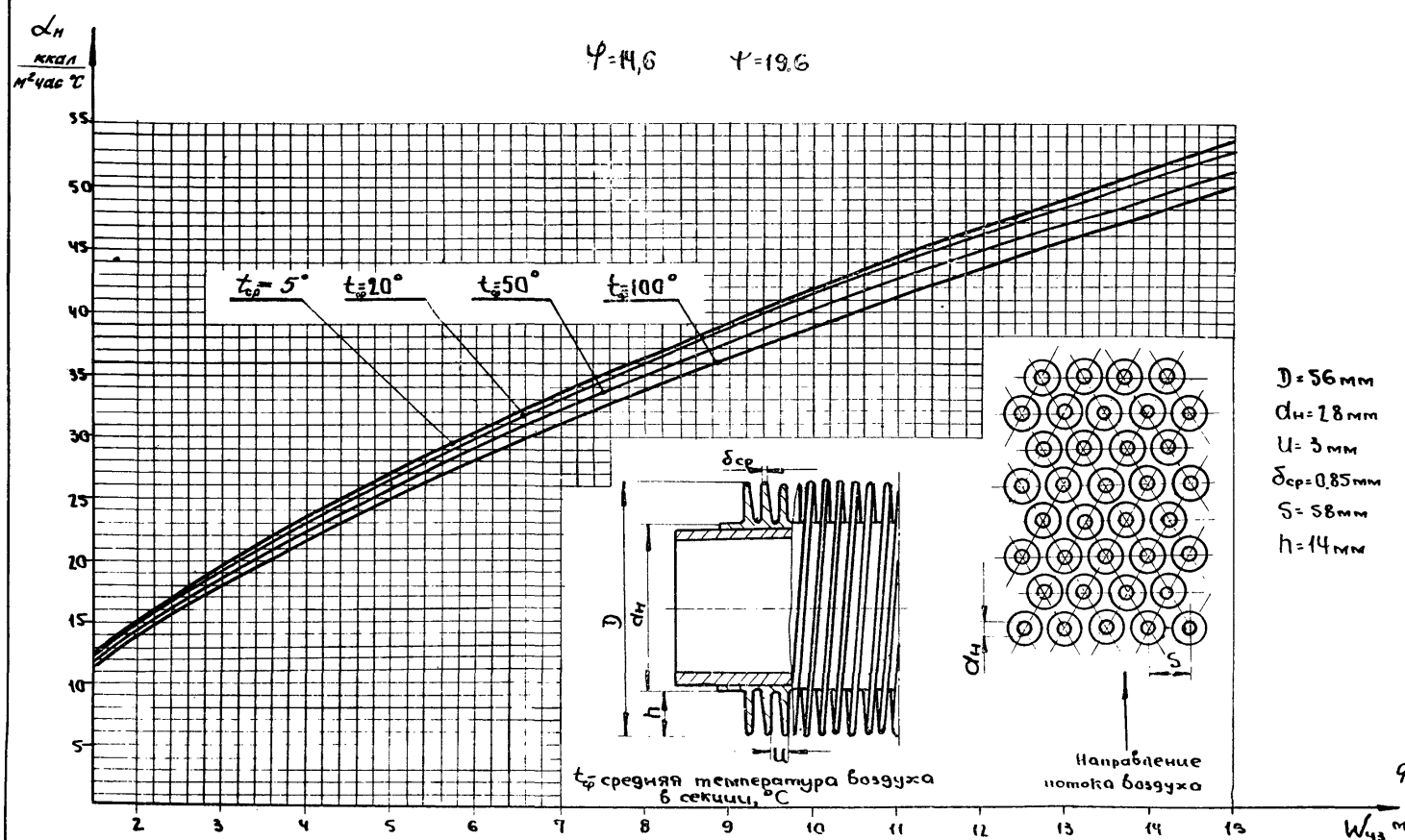
Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении.



Фиг. 20

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

Трубы биметаллические Д=56 (сталь 1Х18Н10Т+алюминий АД1
сталь Х18Н13М2Т+алюминий АД1)

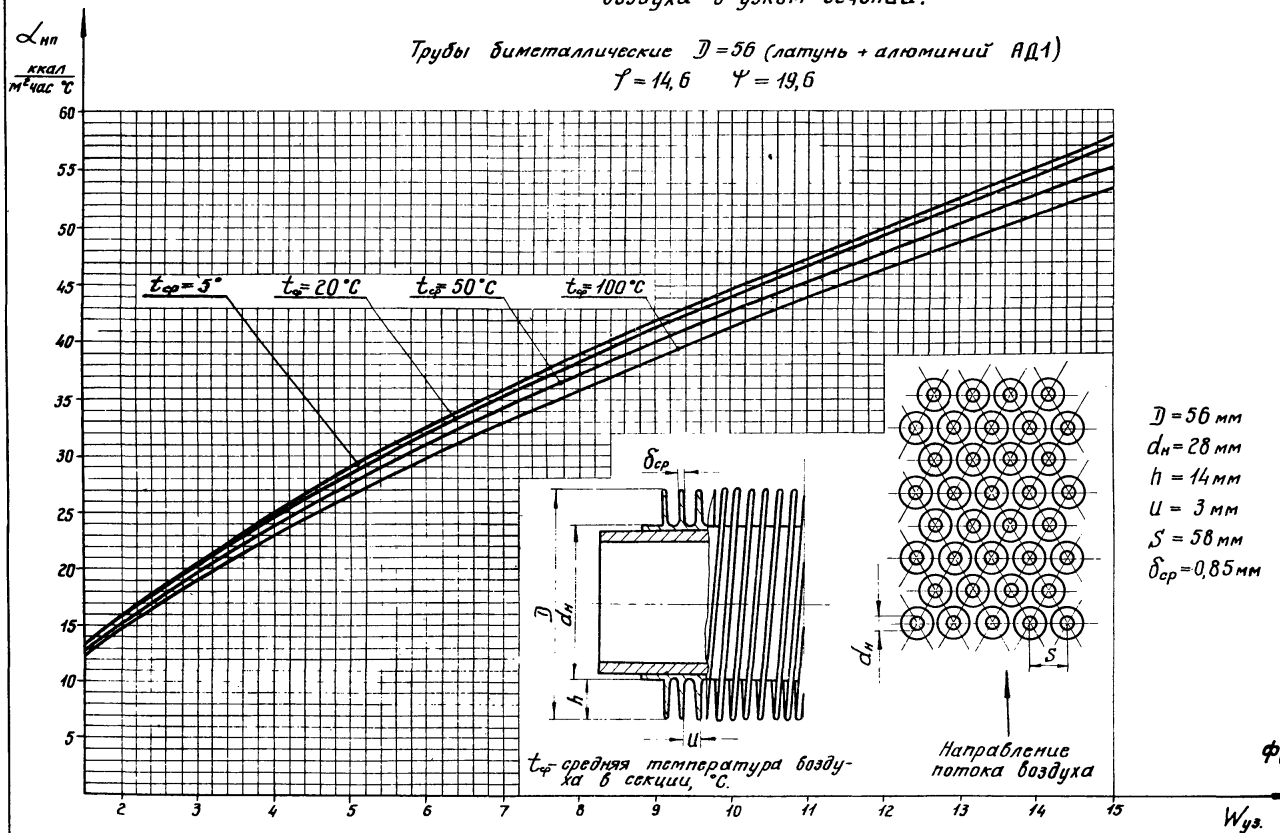


Фиг. 21

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

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

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

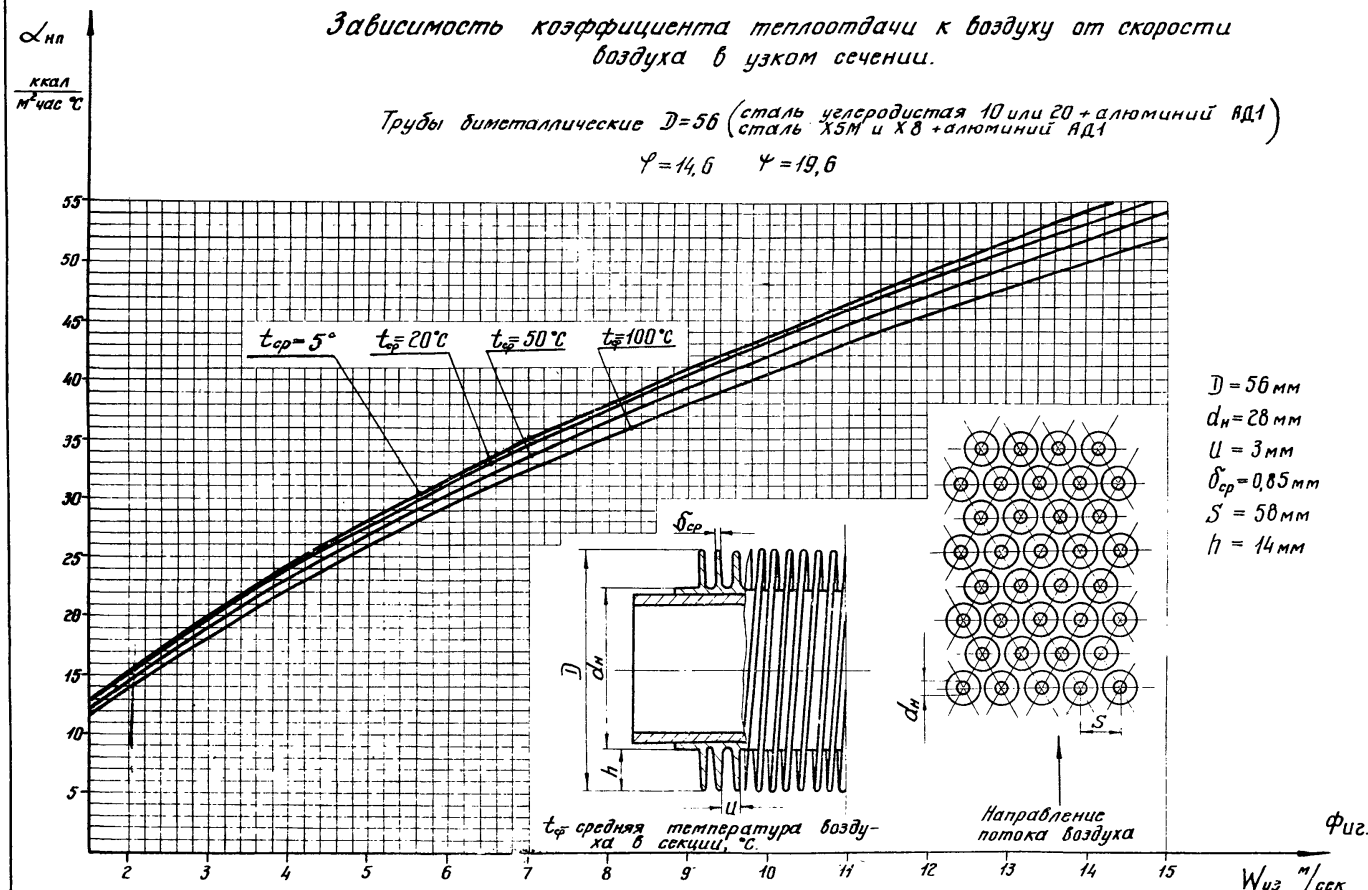


Фиг. 22

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

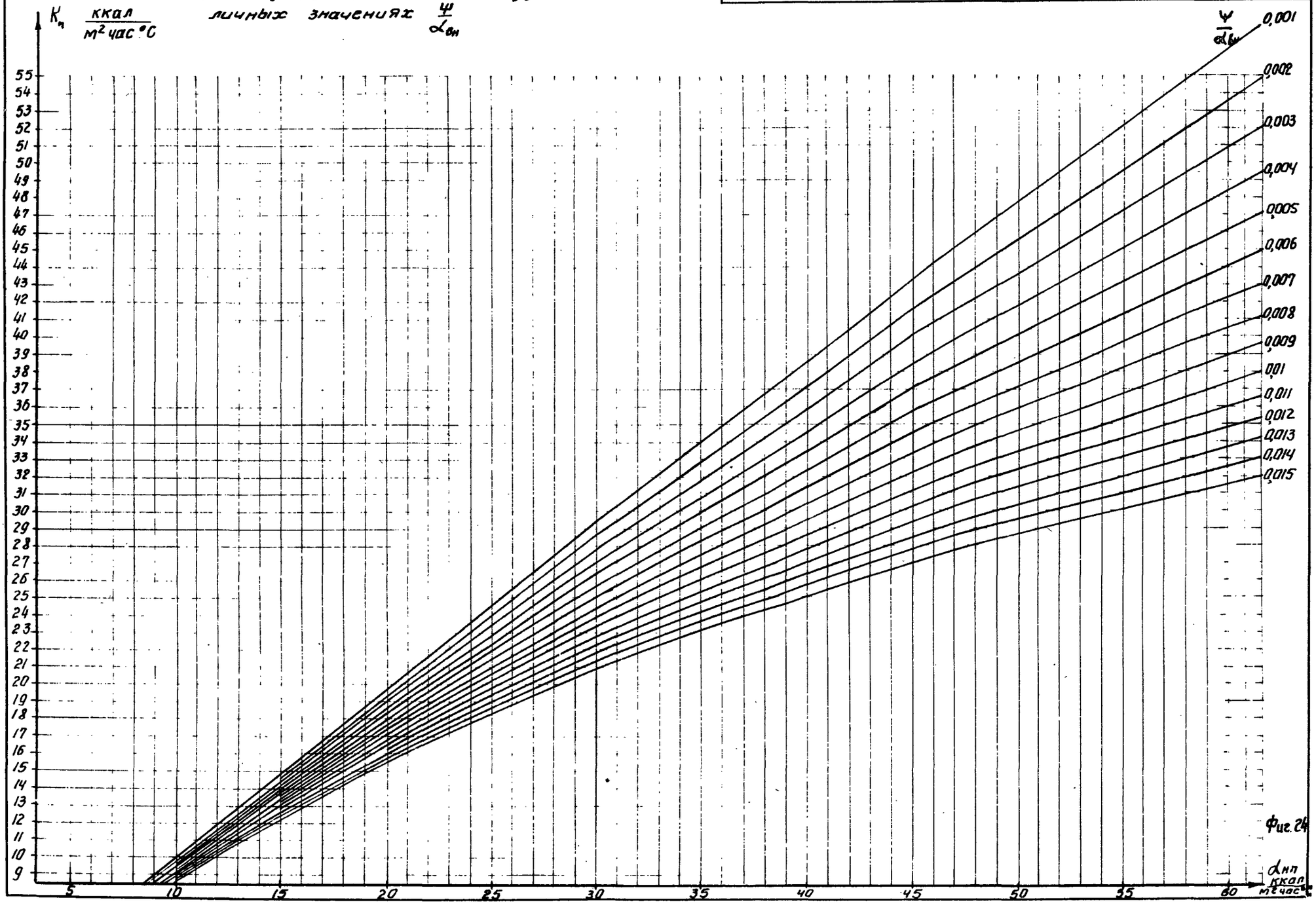
Трубы биметаллические D=56 (сталь углеродистая 10 или 20 + алюминий АД1 / сталь Х5М и Х8 + алюминий АД1)

$\varphi = 14,6$ $\varphi = 19,6$



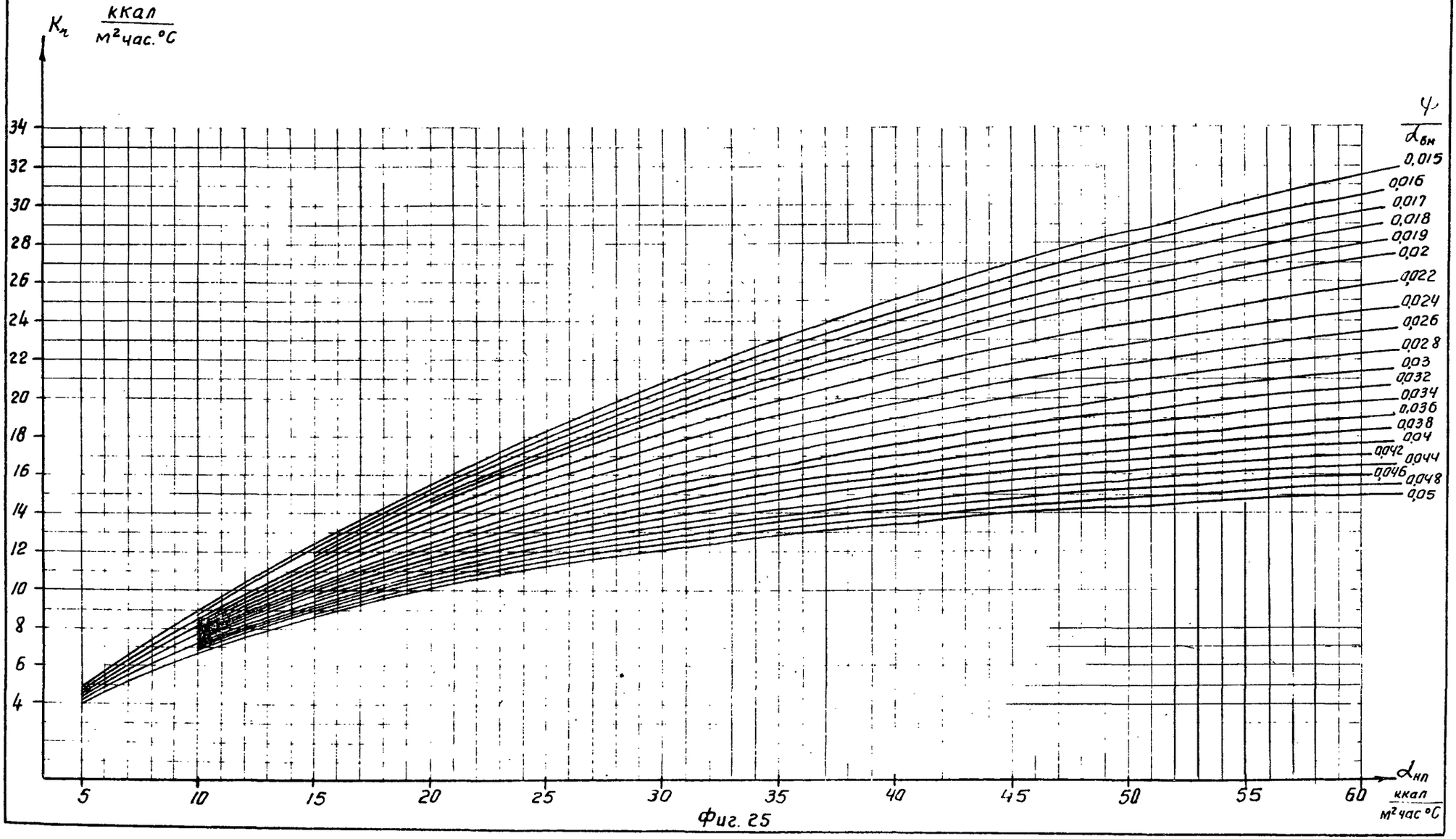
Фиг. 23

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



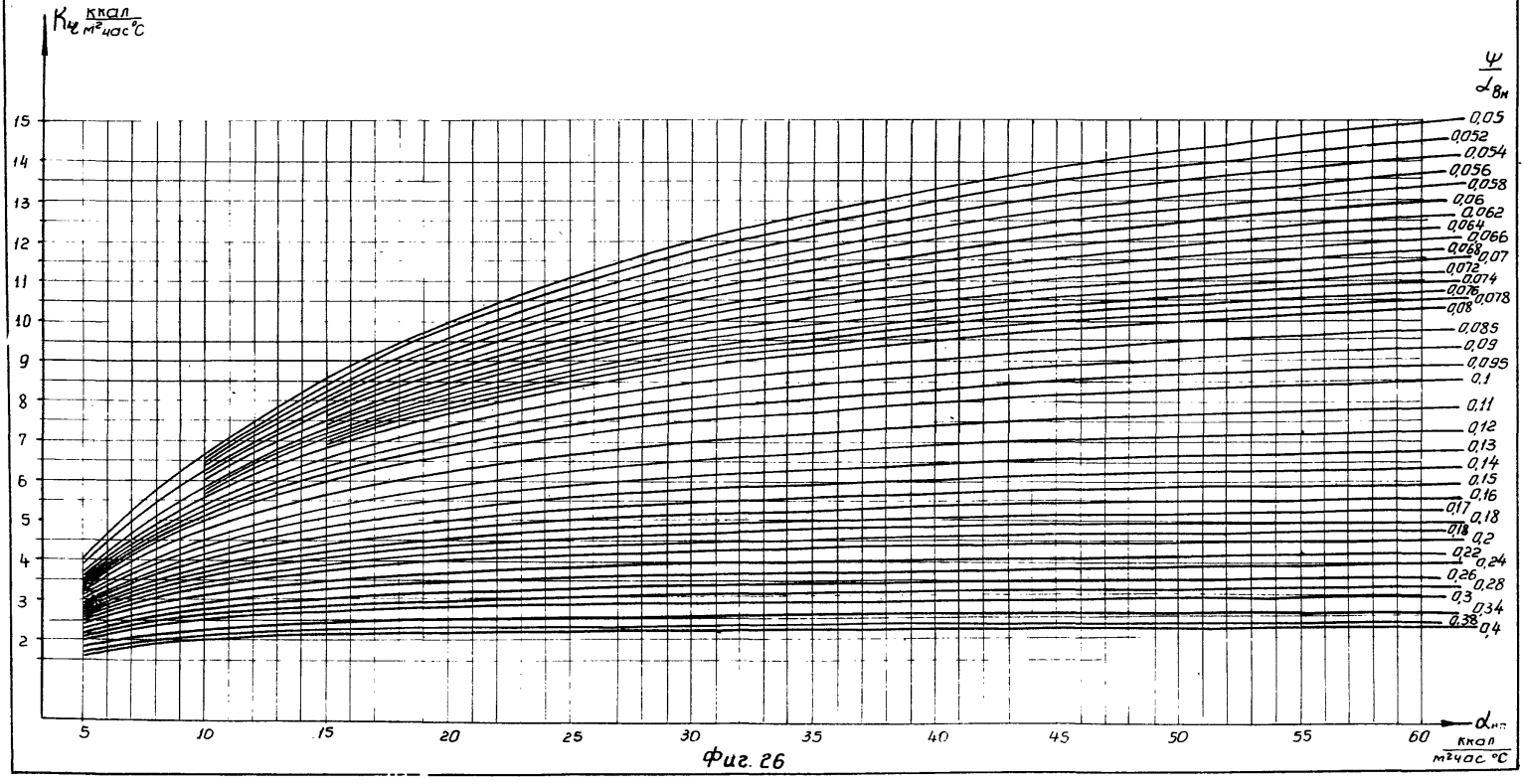
Фиг. 24

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

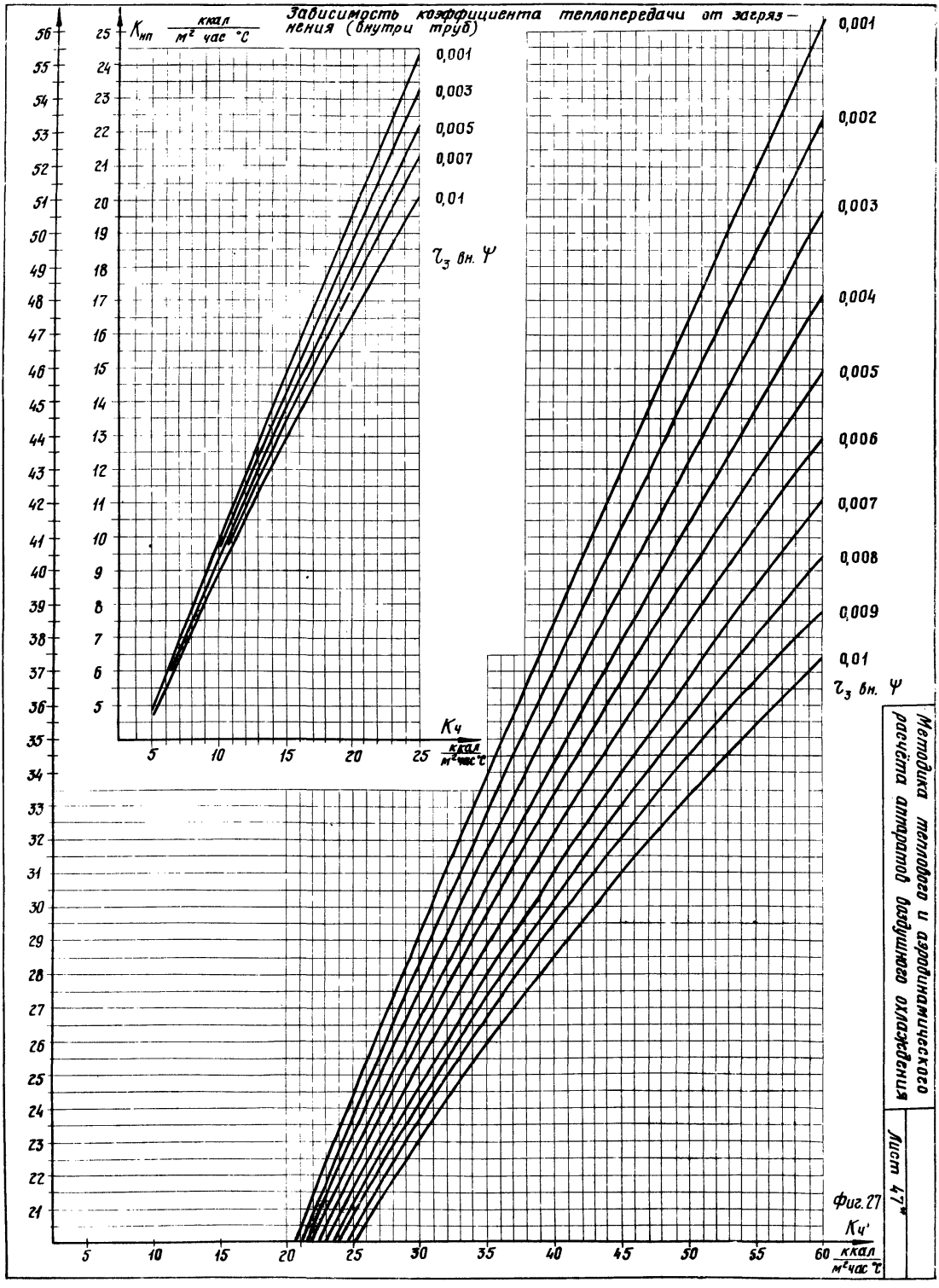


Фиг. 25

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



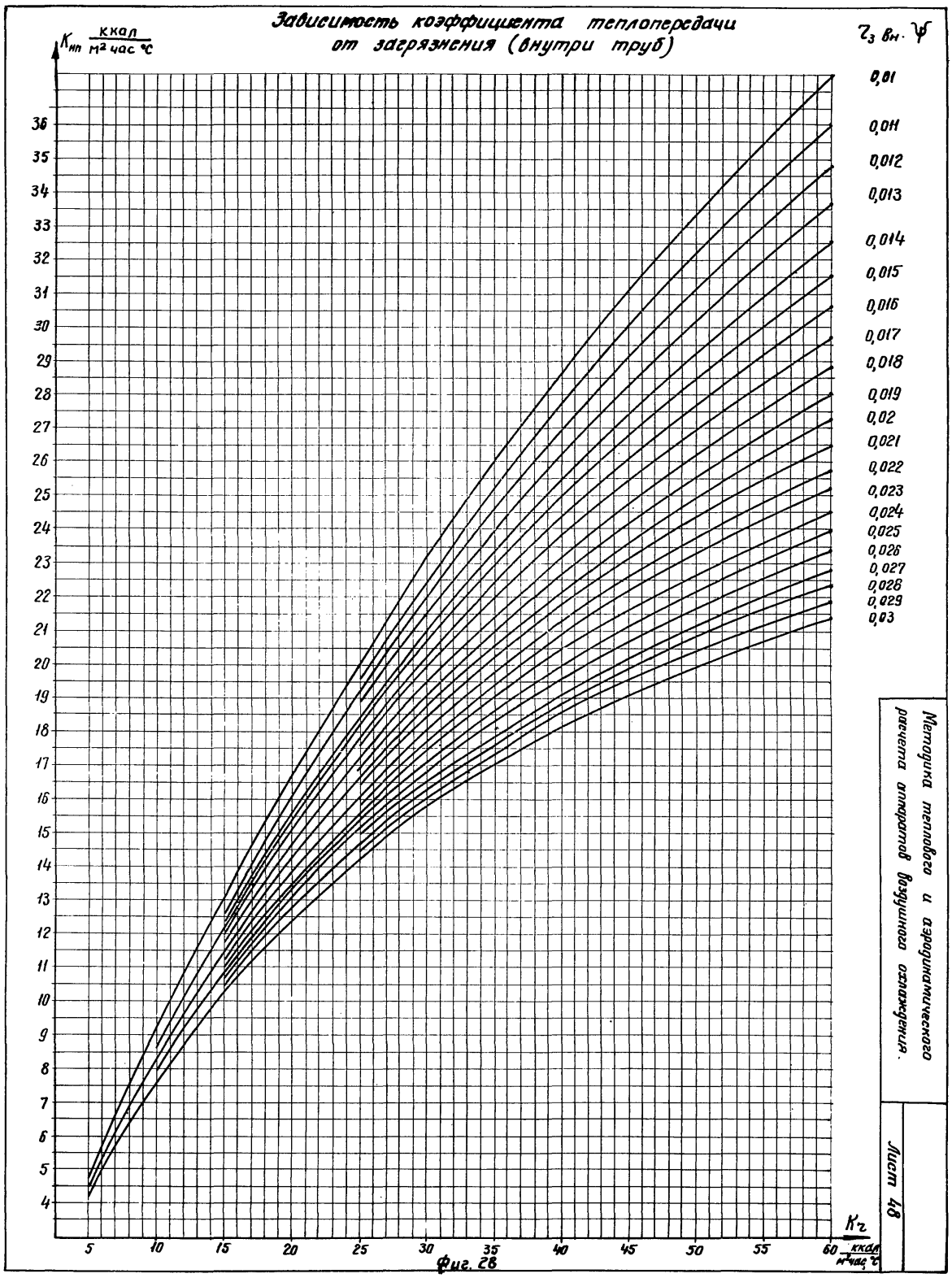
Фиг. 26



Фиг. 27

Методика теплового и аэродинамического расчёта аппаратов воздушного охлаждения

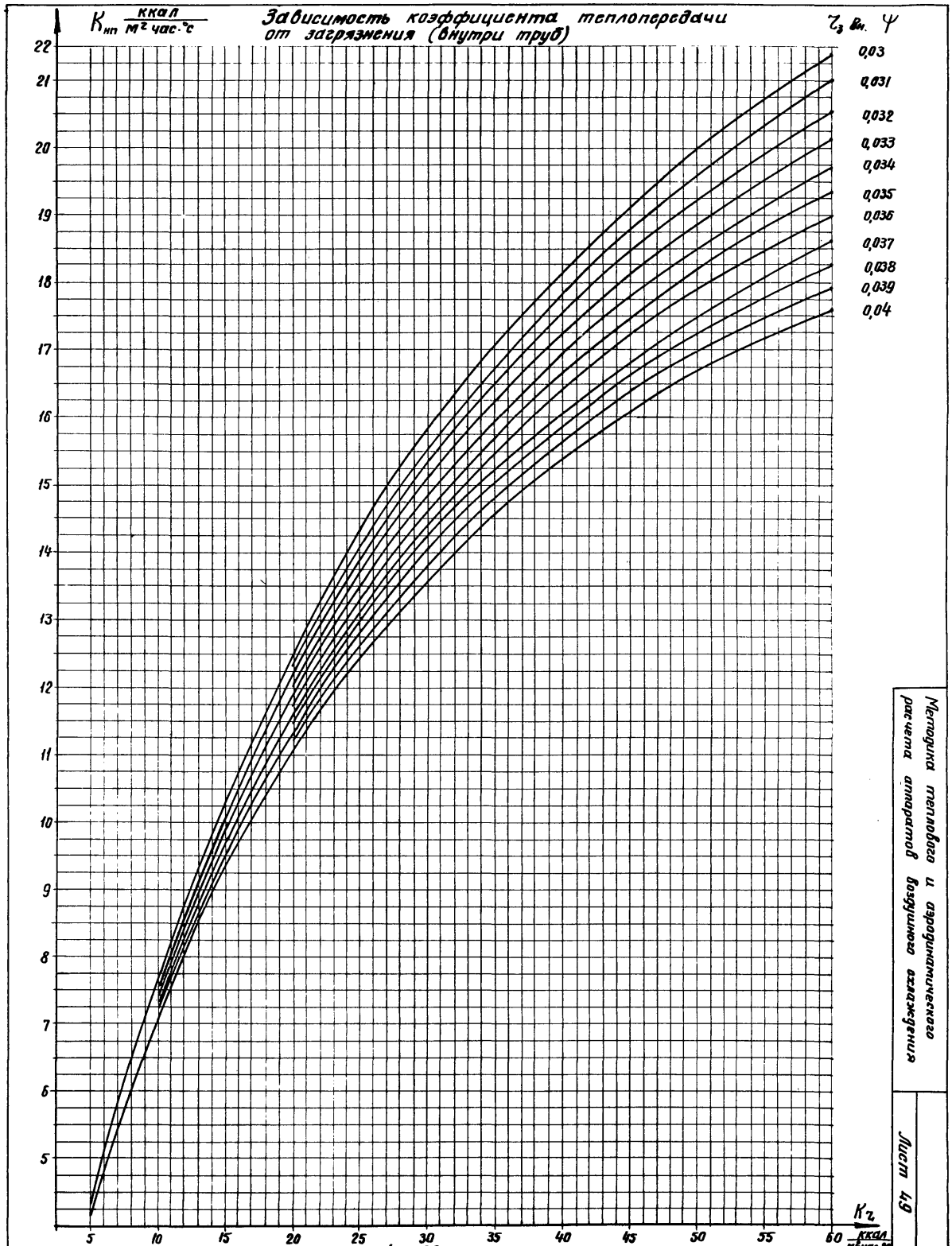
Лист 47



Фиг. 28

Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения.

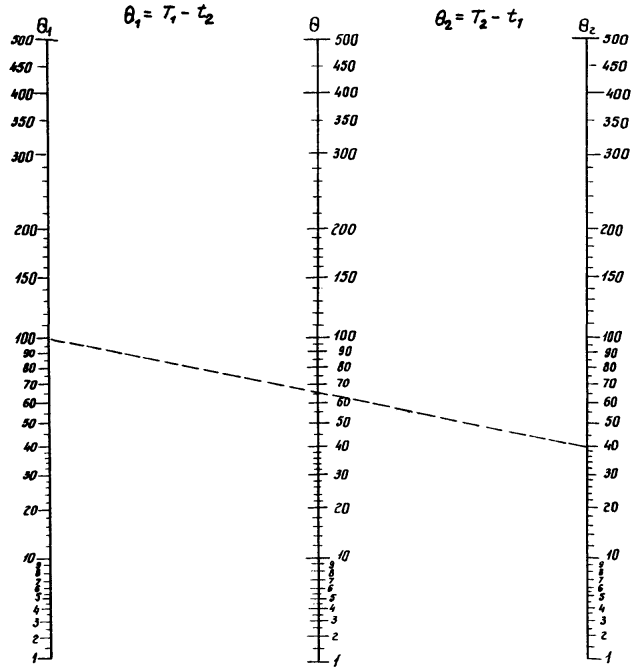
Лист 48



Фиг. 29

Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения

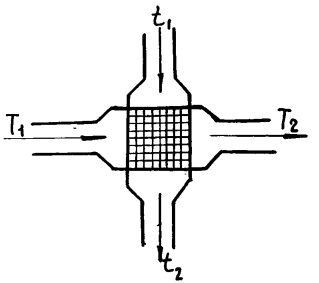
Лист 49

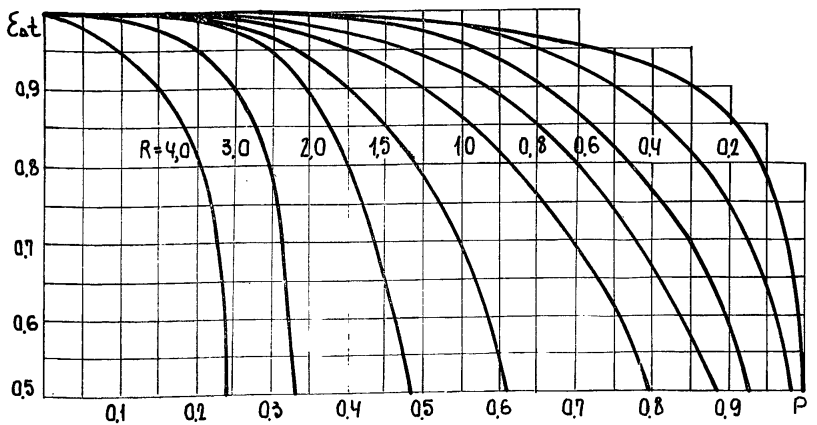


Среднелогарифмический температурный напор.

фиг. 30

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





Примечание:

Оба теплоносителя не перемешиваются.

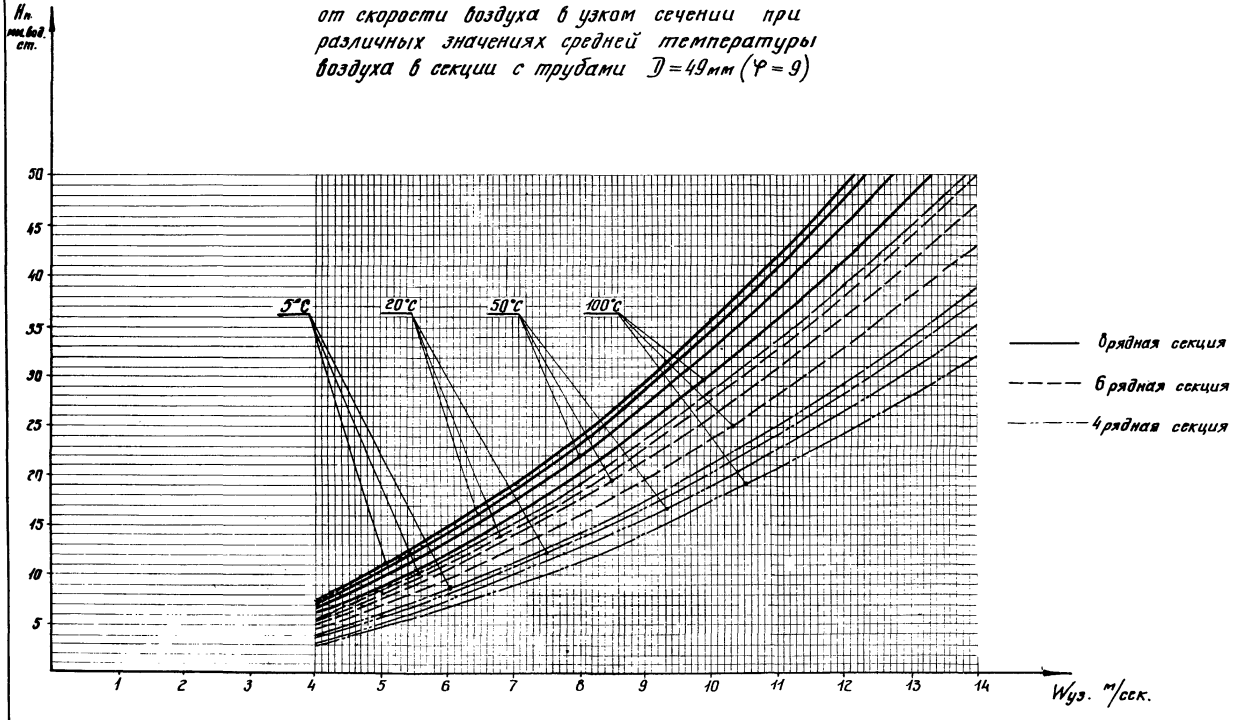
Фиг. 31

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

$$\varepsilon_{\Delta t_n} = \varepsilon_{\Delta t_{n=1}} + \frac{1 - \varepsilon_{\Delta t\, n=1}}{4} \quad (n-1)$$

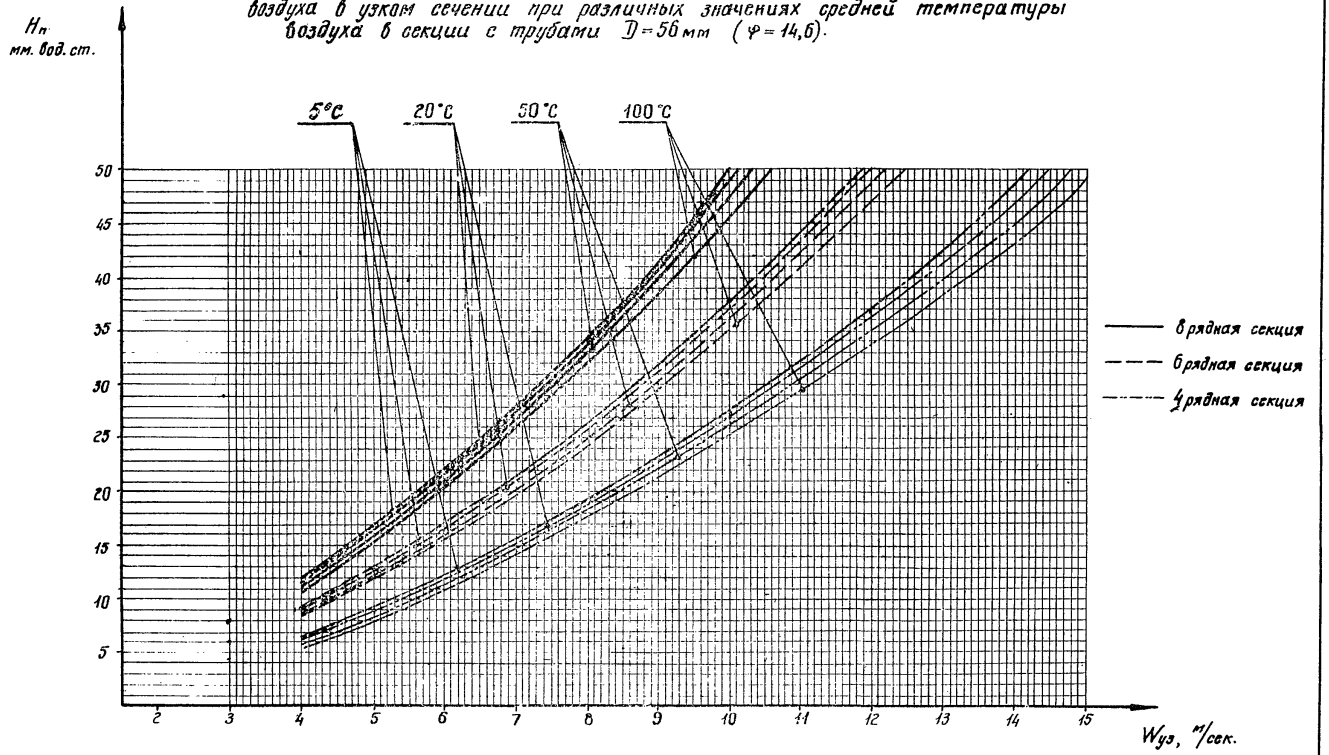
где: $n = 2 \div 4$ – число ходов продукта
При $n > 4$, $\varepsilon_{\Delta t} = 1$

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



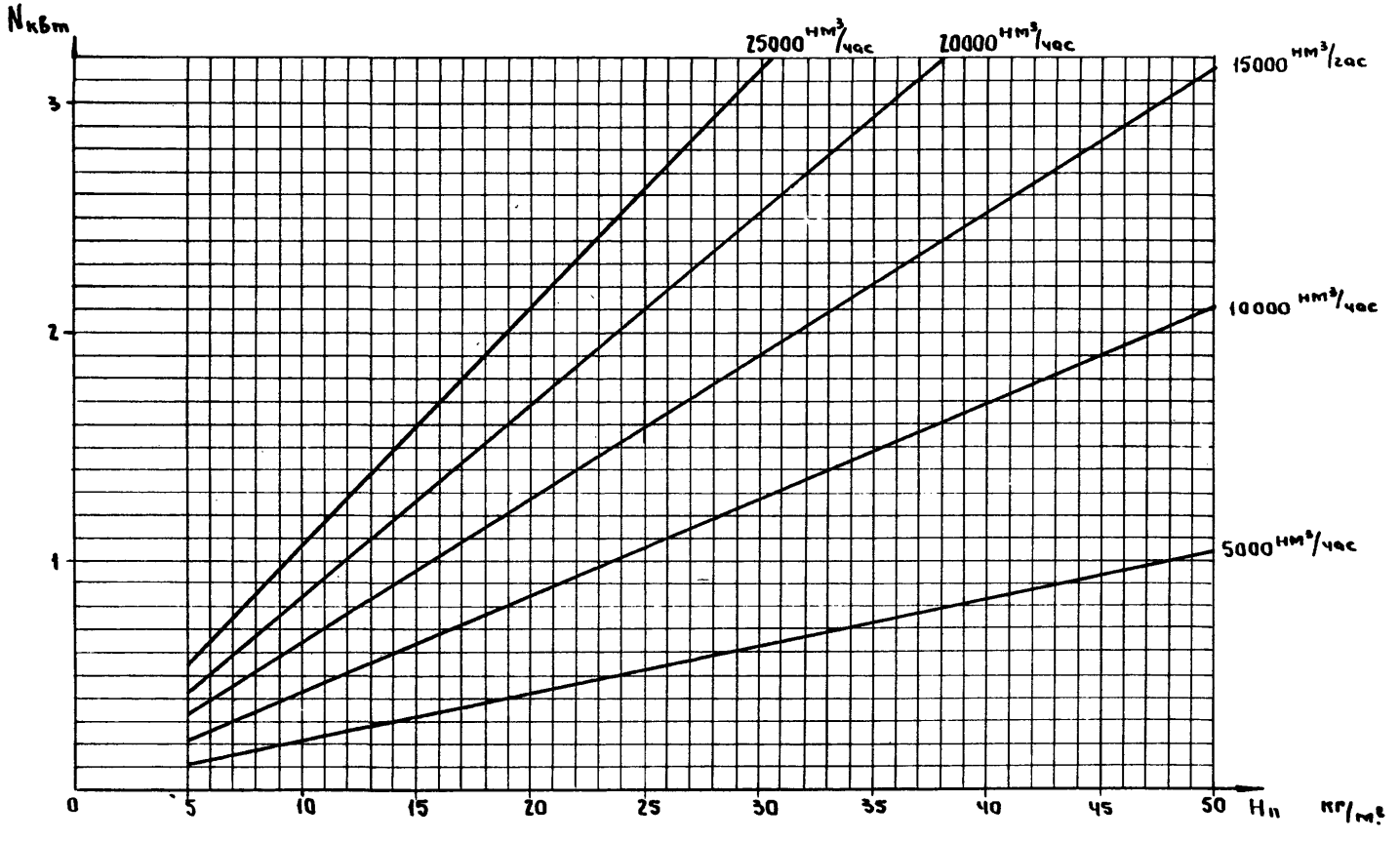
Фиг. 32

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



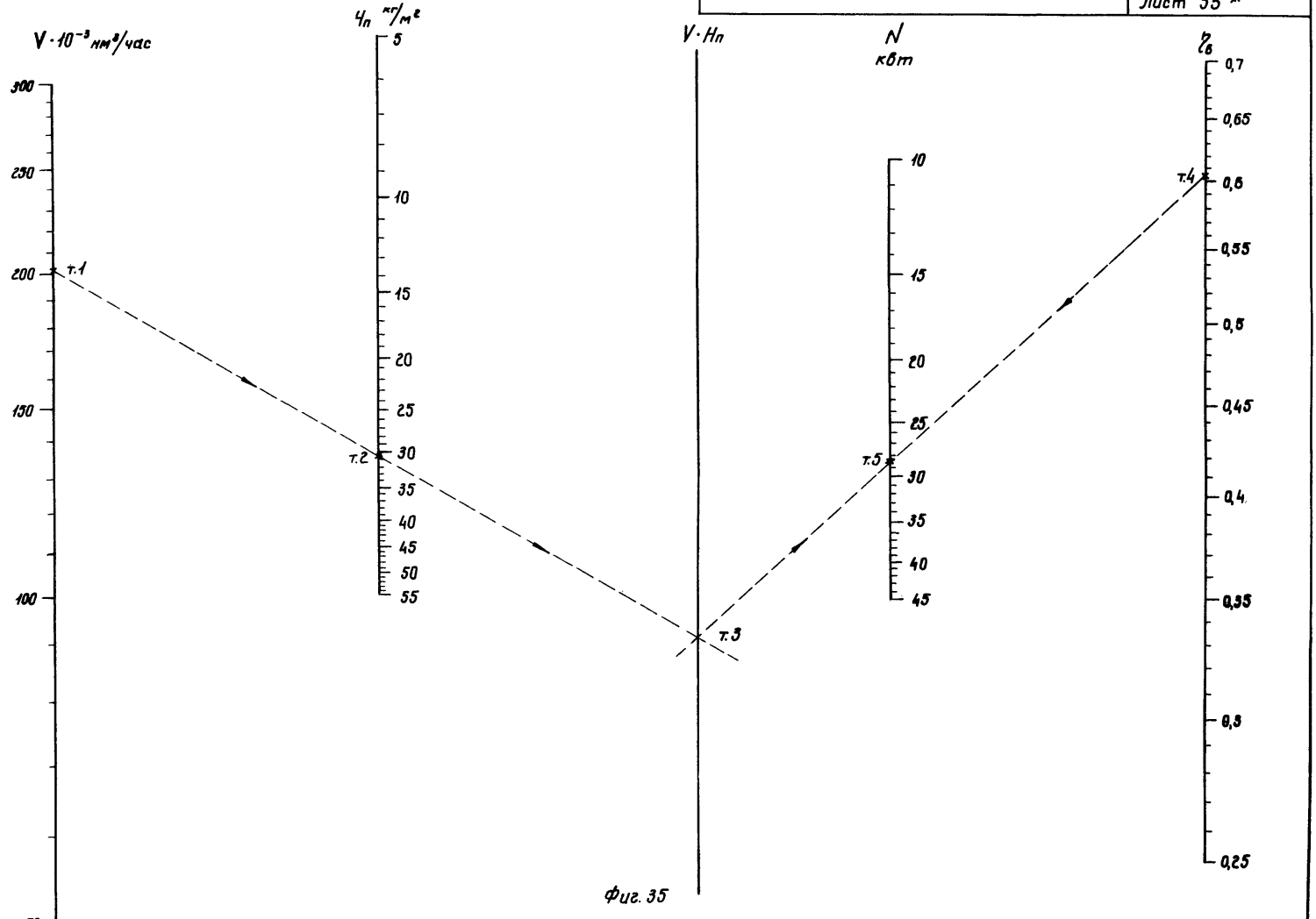
Фиг. 33

Потребляемая мощность аппаратов воздушного охлаждения малопаточного типа АВМ.



Фиг. 34

Определение потребляемой мощности аппарата воздушного охлаждения горизонтального типа АВГ.

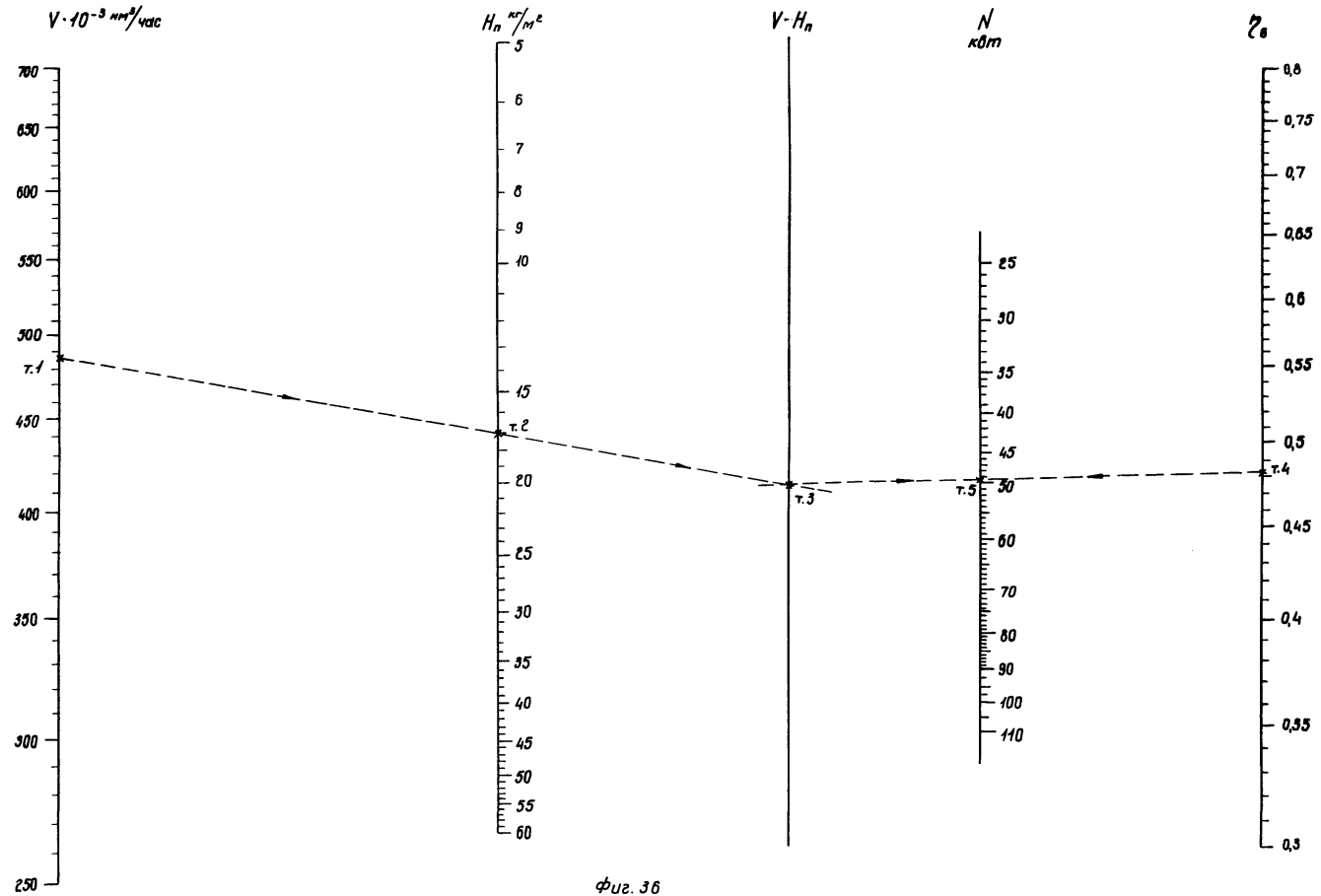


Фиг. 35

Определение потребляемой мощности аппарата воздушного охлаждения зигзагообразного типа АВЗ.

Методика теплового и аэродинамического расчёта аппаратов воздушного охлаждения

Лист 56



Фиг. 36

Приложение I

Р А С Ч Е Т

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.I3) для $\alpha_к$ на наружной поверхности труб с введением поправочного коэффициента

$$\alpha_к = K_L \cdot C \sqrt[4]{\frac{\gamma^2 \cdot \lambda^3 \cdot 3600}{\mu}} \cdot \frac{\sqrt[4]{r}}{\sqrt[4]{\ell\,(t_s - t_w)}}$$

Здесь: $\alpha_к$ – коэффициент теплоотдачи, ккал/м2.час.гр.

K_L – поправочный коэффициент, учитывающий особенности процесса конденсации внутри горизонтальных труб определяется по графику 37. При конденсации в вертикальных трубах К=I

C = I,I5 для вертикальных труб

C = 0,72 для горизонтальных труб

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

γ – удельный вес, кг/м3

λ – коэффициент теплопроводности, ккал/м.час.гр.

μ – динамический коэффициент вязкости, кг.сек./м2

$\sqrt[4]{\frac{\gamma^2\lambda^3}{\mu}}$ – берется при средней температуре пленки t_m

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

t_s – температура насыщения (конденсации), ^{0}C

t_w – температура стенки, ^{0}C

r – теплота парообразования, ккал/кг

$\sqrt[4]{r}$ – берется по температуре насыщения t_s.

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

$$\alpha_{в.п.} = (3400 + 100 \cdot W) \cdot \sqrt[3]{\frac{1,21}{\ell}} \qquad (Л.15)$$

Здесь: $\alpha_{вп}$ – коэффициент теплоотдачи со стороны водяного пара, ккал/м2.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.I5):

$$\alpha_п = \frac{\lambda_п}{\lambda_{в.п.}} \cdot \frac{\sqrt[3]{\frac{\gamma_п^2}{\gamma_п}}}{\sqrt[3]{\frac{\gamma_{в.п.}^2}{\gamma_{в.п}}}} \cdot \alpha_{в.п.}$$

Физические параметры λ, γ и η принимаются соответственно для рассчитываемых паров и водяного пара, при температуре пленки t_m.

Наличие неконденсирующихся газов в составе конденсирующихся паров может учитываться в соответствии с рекомендациями (Л.I3).

3. Коэффициент теплоотдачи при охлаждении продукта

При турбулентном режиме движения продукта внутри труб коэффициент теплоотдачи определяется по следующей формуле (Л.I8):

$$\alpha_{охл} = 0,021 \frac{\lambda}{d_{вн}} \cdot Re_f^{0,8} \cdot Pr_f^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0,25}$$

При развитом турбулентном режиме коэффициент теплоотдачи может быть определен по более простой формуле (Л.I8)

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

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

При ламинарном режиме ($Re < 2200$), коэффициент теплоотдачи определяется по формуле (Л.I8):

$$\alpha_{охл.} = 0,17 \frac{\lambda}{d_{вн}} \cdot Re_f^{0,33} \cdot Pr_f^{0,43} \cdot Gr_f^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr_f}{Pr_w}\right)^{0,25}$$

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

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

$Gr = \frac{\beta \cdot g \cdot d_{вн}^3 \cdot \gamma^2}{\nu^2} \cdot \Delta t$ – критерий Грасгофа

β – коэффициент объемного расширения, I/^{0}C

Δt – разность температур продукта и стенки, ^{0}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:

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

где: $\alpha_1, \alpha_2 \ldots \alpha_n$ – коэффициенты теплоотдачи отдельных компонентов (фракций), ккал/м2.час.гр.

$G_1, G_2 \ldots G_n$ – весовой расход отдельных компонентов, кг/час

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

Коэффициенты теплоотдачи при охлаждении продуктов можно рассчитывать также по формулам, приведенным в (Л.I0).

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.I8)

$$\Delta P_{вн} = \Sigma \varepsilon \frac{l}{d_{вн}} \frac{W_{вн}^2 \gamma}{2g} + \Sigma \zeta \frac{W_{вн}^2 \gamma}{2g}$$

Здесь: $\Delta P_{вн}$ – суммарные гидравлические потери, кГ/м2 или мм.вод.ст.

l – длина труб, м

$W_{вн}$ – скорость (средняя) продукта в трубах, м/сек

g – ускорение силы тяжести, g =9,8I м/сек2

γ – удельный вес продукта при $t_{ср}$, кг/м3

ε – коэффициент сопротивления трения

При ламинарном режиме движения жидкости

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

$$Re = \frac{W_{вн} \cdot d_{вн}}{\nu}$$

ν – кинематическая вязкость при $t_{ср}$, м2/сек

При турбулентном режиме движения жидкости для $3000 < Re < I00000$

$$\varepsilon = \frac{0,3I64}{Re^{0,25}}$$ (для гладких труб)

$$\varepsilon = \frac{1}{\left(1,74 + 2\lg \frac{r}{\delta}\right)^2}$$ (для шероховатых труб)

Здесь: r – радиус внутренний, мм

δ – абсолютная шероховатость (средняя высота отдельных выступов на поверхности трубы), мм, определяется в зависимости от вида труб

Виды труб	δ, мм
Латунные и нержавеющие	0,I
Стальные, с некорродирующими газами и парами (водяной пар, воздух)	0,I
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 ($NaCl, CaCl_2$) и газами	0,8

ζ – коэффициент местных сопротивлений

Рекомендуемые значения ζ, отнесенные к средним скоростям продукта в трубах:

I. Входная или выходная камера (удар и поворот)

$\zeta_1 = I,5$

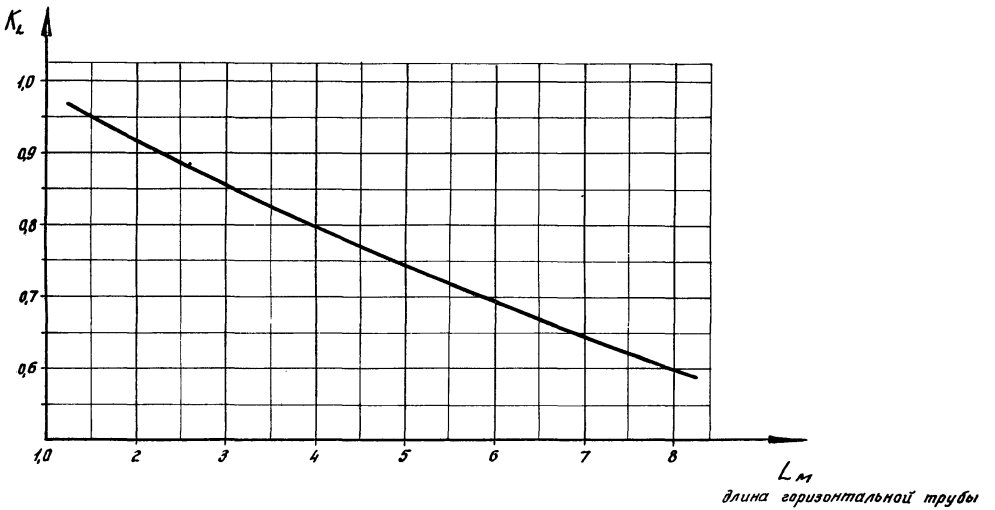
2. Поворот на I80° между ходами и секциями

$\zeta_2 = 2,5$

3. Вход в трубы или выход из них

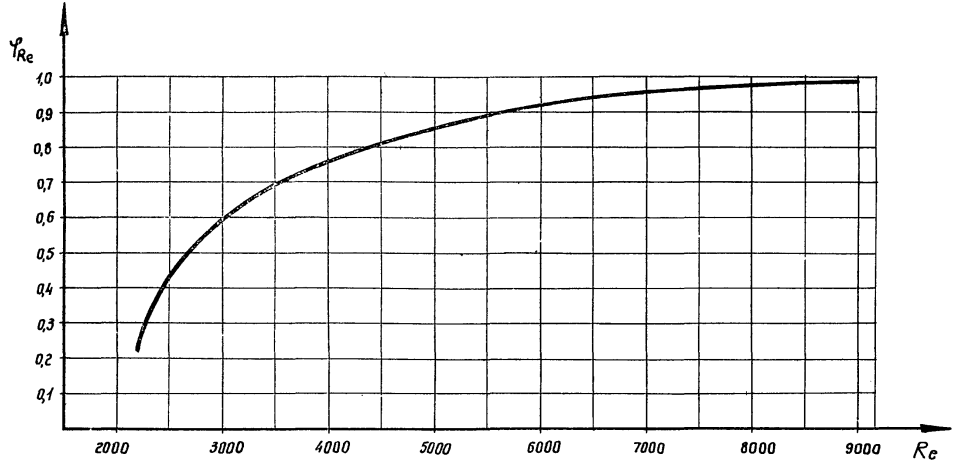
$\zeta_3 = I,0$

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



Фиг. 37

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



Фиг. 38

Климатические данные по некоторым пунктам СССР.

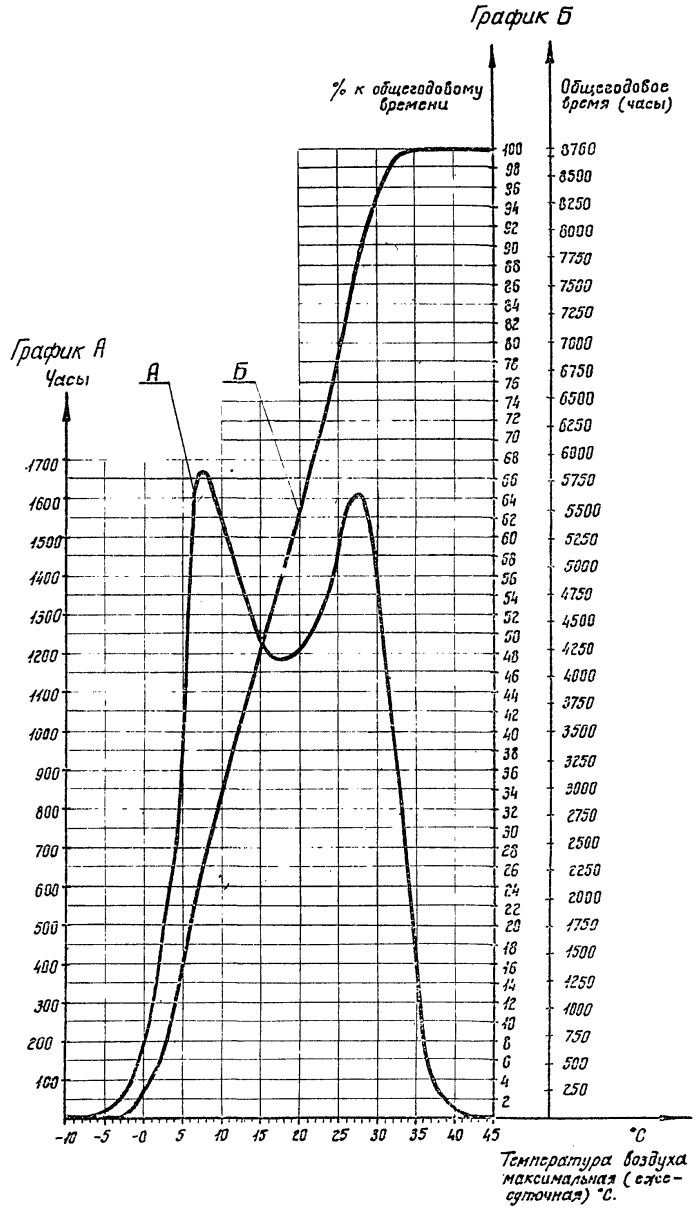
Таблица 8

№№ п/п.	Наименование пунктов	Температура воздуха, °С. Средне-месячная самого холодного месяца	Средне-месячная самого жаркого месяца	Средняя в 13 час. самого жаркого месяца	Средняя макси-мальная самого жаркого месяца	Средняя наиболее холодной пяти-дневки	Ветер. Средняя скорость в м/сек. За три наиболее холодных месяца	За три наиболее жарких месяца	Относительная влажность воздуха в %. Средняя в 13 час. самого холодного месяца	самого жаркого месяца
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Европейская часть.									
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		73	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	-6,6	21,5	26,4	27,5	-25	6,4	4,0	84	44
9	Златоуст	-15,4	15,3	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	76	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	-16,8	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	-12,4	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	4,9	22,8	25,7	27,3	-3	2,7	2	67	68
32	Стерлитамак	-15,4	19,9	24,6	—	-31	—	—	79	50
33	Тула	-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	-14,6	19,4	23,4	25,3	-30	5,2	4,0	82	53
37	Харьков	-7,4	20,3	25,1	26,5	-22	3,0	2,2	82	49
38	Челябинск	-15,7	18,7	22,8	23,6	-31	4,2	3,9	78	54

Азиатская часть

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
39	Акмолинск	−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	Иркутск	−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	31,6	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	Комсомольск-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	Нарым (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	21,6	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

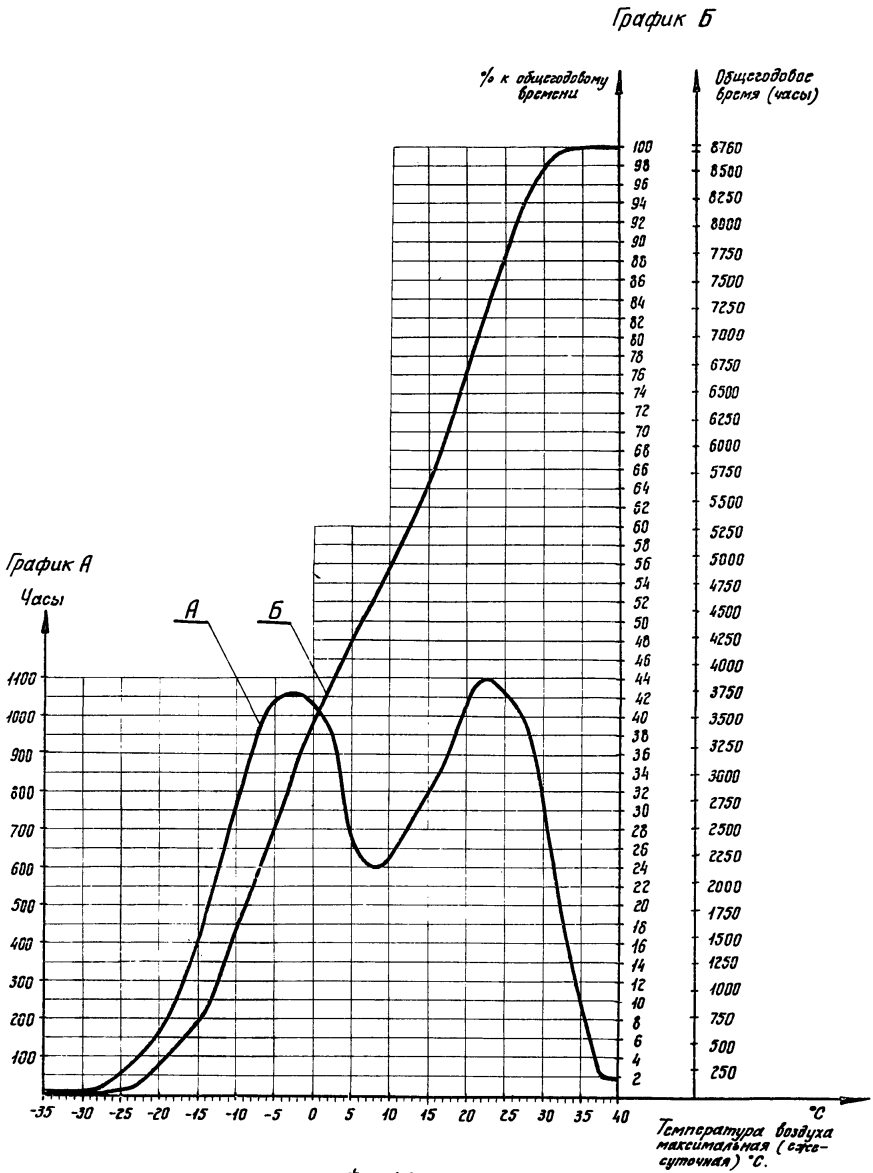


Фиг. 39

Методика теплового и аэродинамического расчёта аппаратов воздушного охлаждения

Лист 63

г. Куйбышев

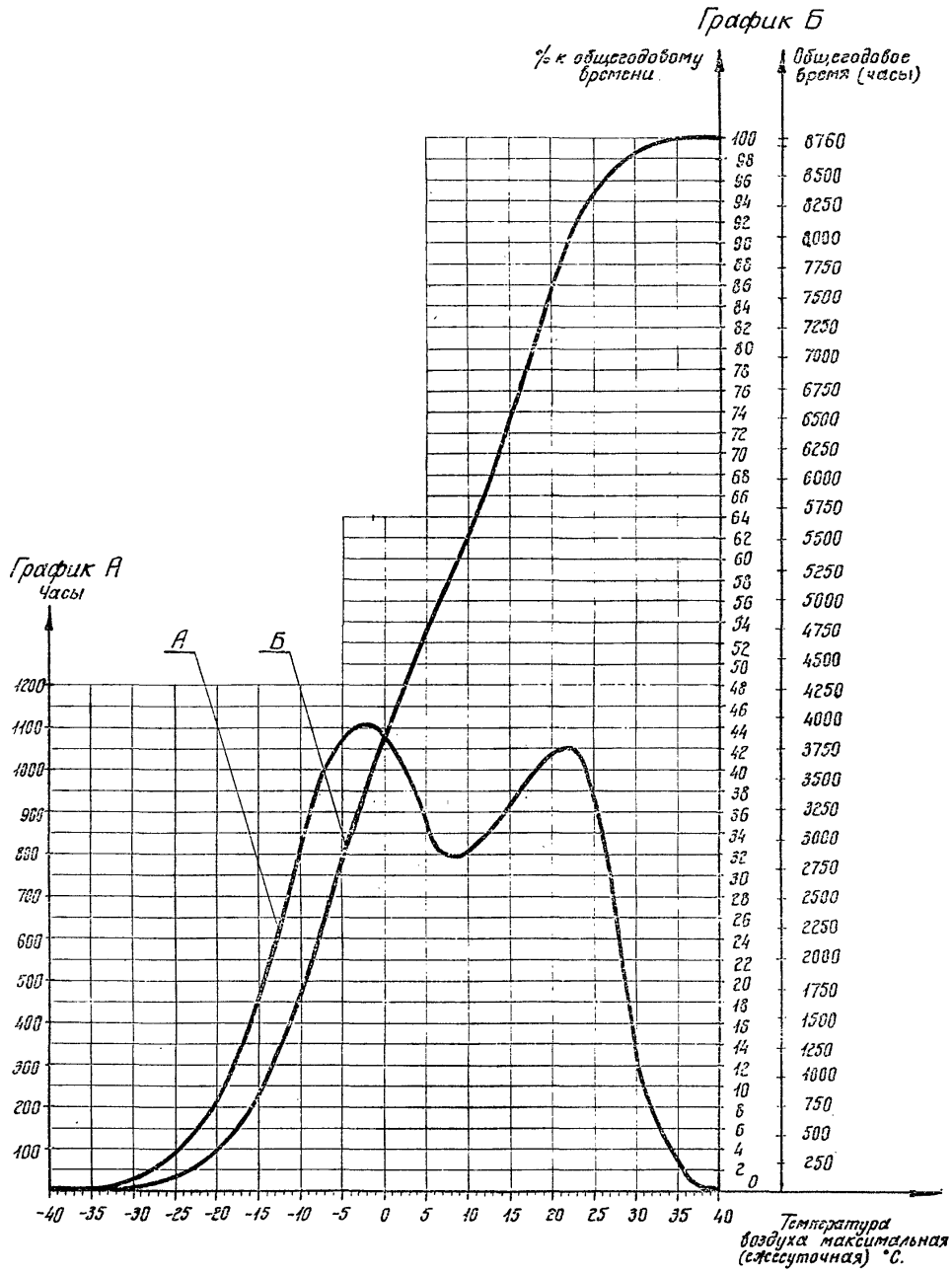


Фиг. 40

Методика теплового и аэродинамического расчёта аппаратов воздушного охлаждения

Лист 64

г. Пермь



Фиг. 41

Методика теплового и аэродинамического расчёта аппаратов воздушного охлаждения

Лист 65

г. Рига

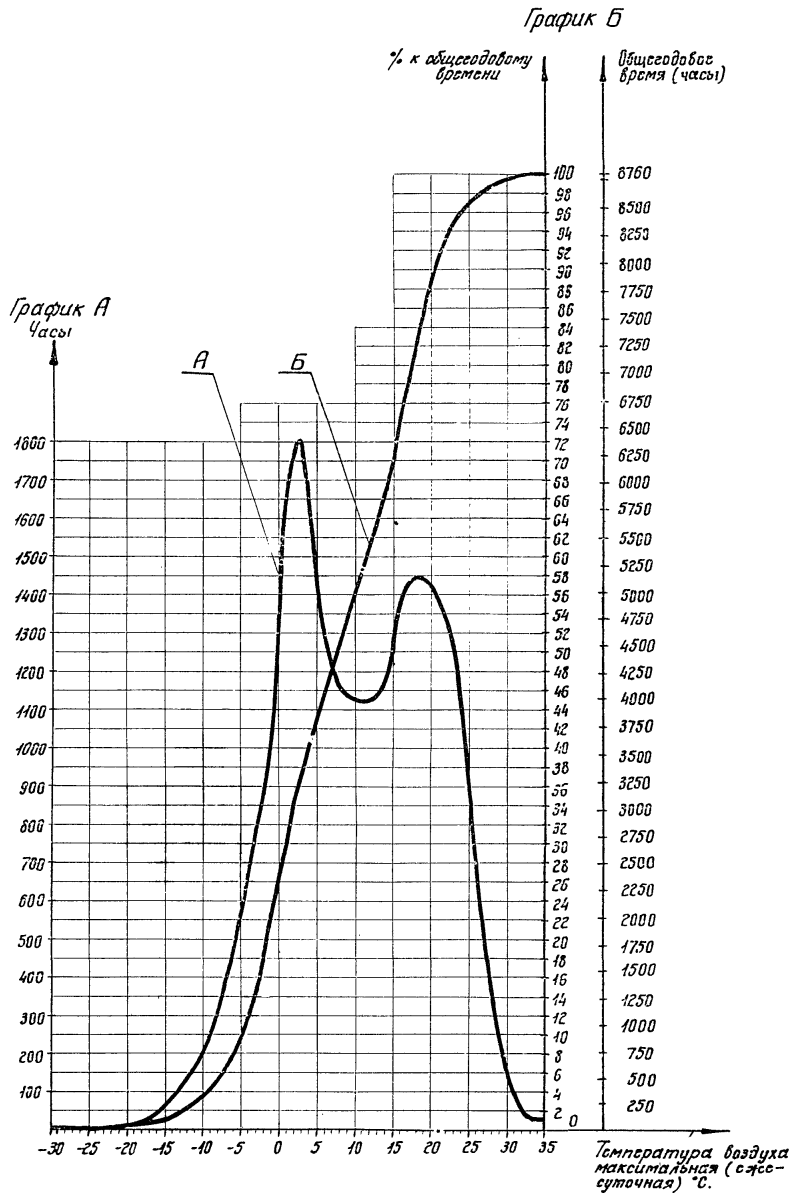


График Б
% к общегодовому времени
Общегодовое время (часы)
100 8760
98 8500
96 8250
94 8000
92 7750
90 7500
88 7250
86 7000
84 6750
82 6500
80 6250
78 6000
76 5750
74 5500
72 5250
70 5000
68 4750
66 4500
64 4250
62 4000
60 3750
58 3500
56 3250
54 3000
52 2750
50 2500
48 2250
46 2000
44 1750
42 1500
40 1250
38 1000
36 750
34 500
32 250
30 0
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
График А
Часы
А
Б
1800
1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
-30 -25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15 20 25 30 35
Температура воздуха максимальная (средне-суточная) °С.

Фиг. 42

г. Сочи

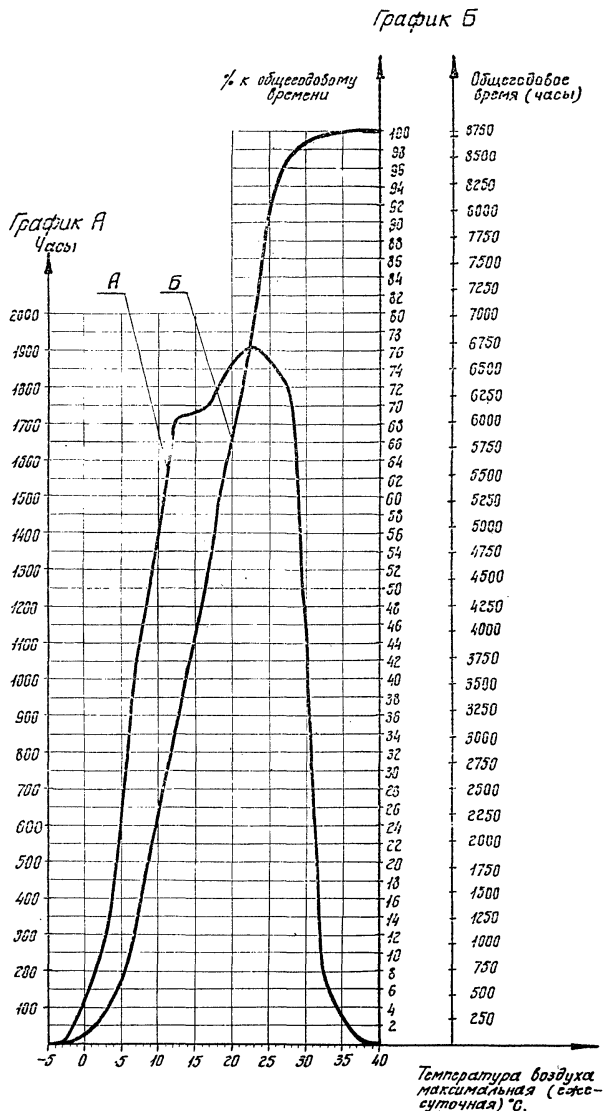


График Б
% к общегодовому времени
Общегодовое время (часы)
100 98 96 94 92 90 88 86 84 82 80 78 76 74 72 70 68 66 64 62 60 58 56 54 52 50 48 46 44 42 40 38 36 34 32 30 28 26 24 22 20 18 16 14 12 10 8 6 4 2
8750 8500 8250 8000 7750 7500 7250 7000 6750 6500 6250 6000 5750 5500 5250 5000 4750 4500 4250 4000 3750 3500 3250 3000 2750 2500 2250 2000 1750 1500 1250 1000 750 500 250
График А
Часы
А
Б
2000 1900 1800 1700 1600 1500 1400 1300 1200 1100 1000 900 800 700 600 500 400 300 200 100
-5 0 5 10 15 20 25 30 35 40
Температура воздуха максимальная (суточная) °С.

Фиг. 43

г. Уфа

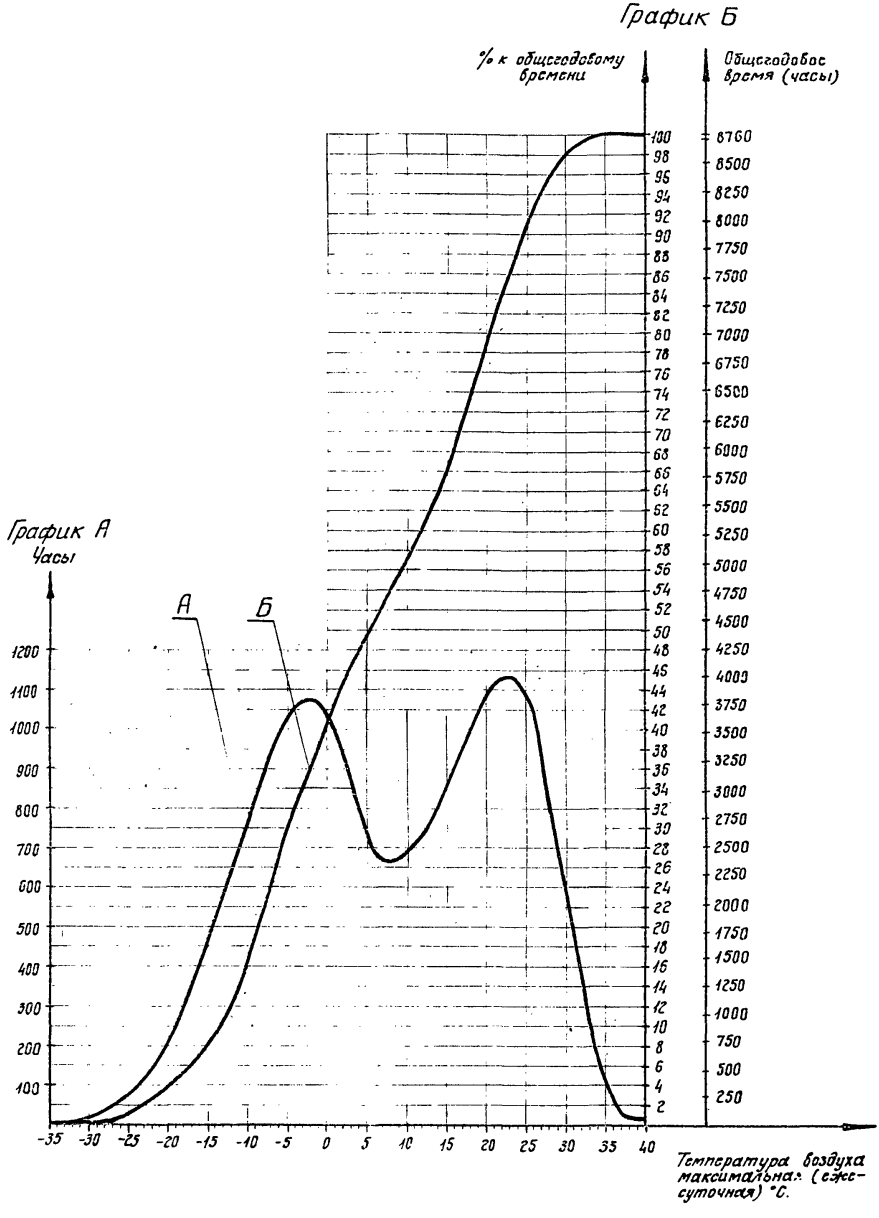
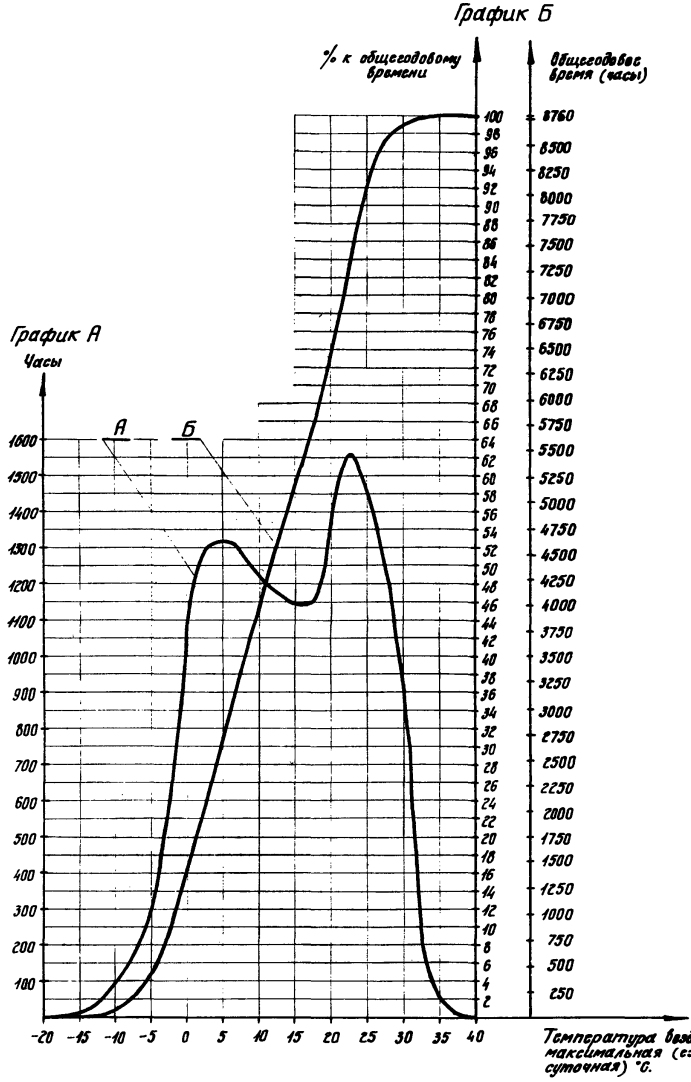


График Б
% к общегодовому времени
Общегодовое время (часы)
100 98 96 94 92 90 88 86 84 82 80 78 76 74 72 70 68 66 64 62 60 58 56 54 52 50 48 46 44 42 40 38 36 34 32 30 28 26 24 22 20 18 16 14 12 10 8 6 4 2
8760 8500 8250 8000 7750 7500 7250 7000 6750 6500 6250 6000 5750 5500 5250 5000 4750 4500 4250 4000 3750 3500 3250 3000 2750 2500 2250 2000 1750 1500 1250 1000 750 500 250
График А
Часы
А
Б
1200 1100 1000 900 800 700 600 500 400 300 200 100
-35 -30 -25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15 20 25 30 35 40
Температура воздуха максимальная (ежесуточная) °С.

Фиг. 44

г. Одесса

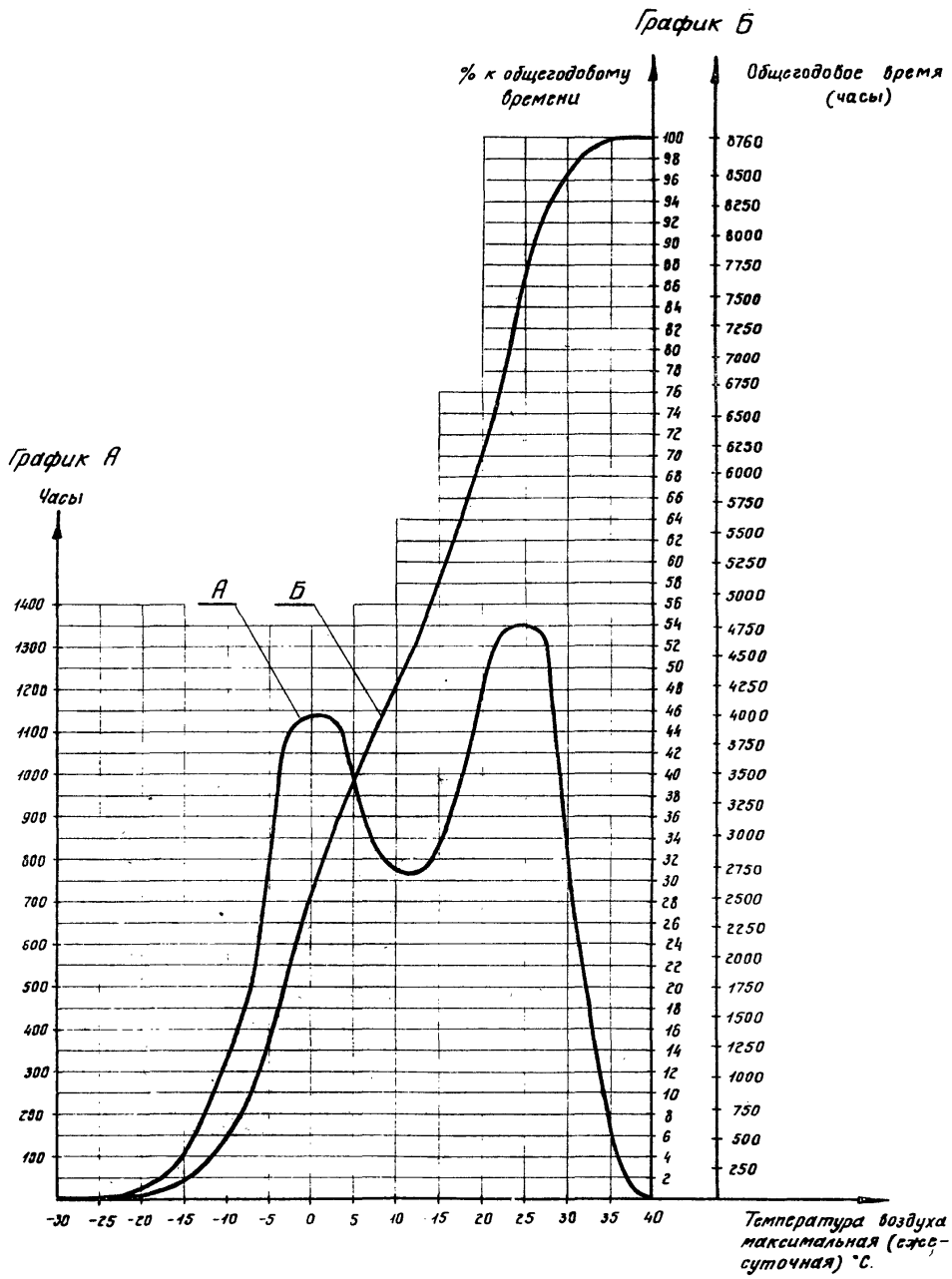


Фиг. 45

Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения

Лист 69

г. Донецк



Фиг. 46

г. Киев

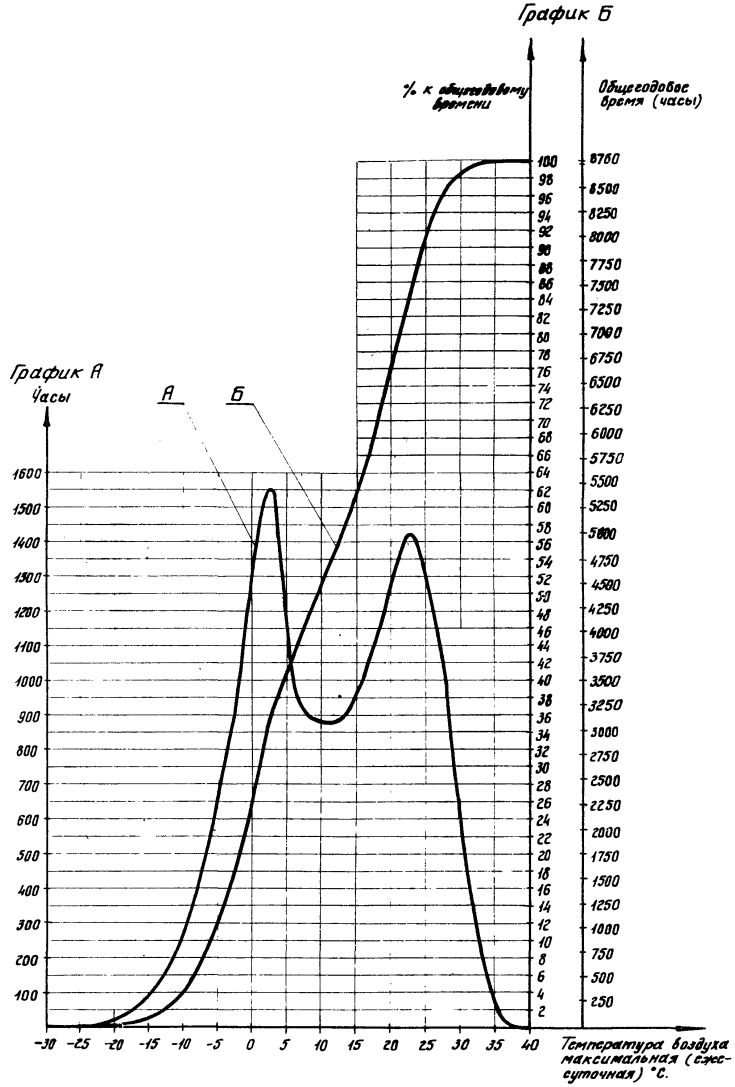
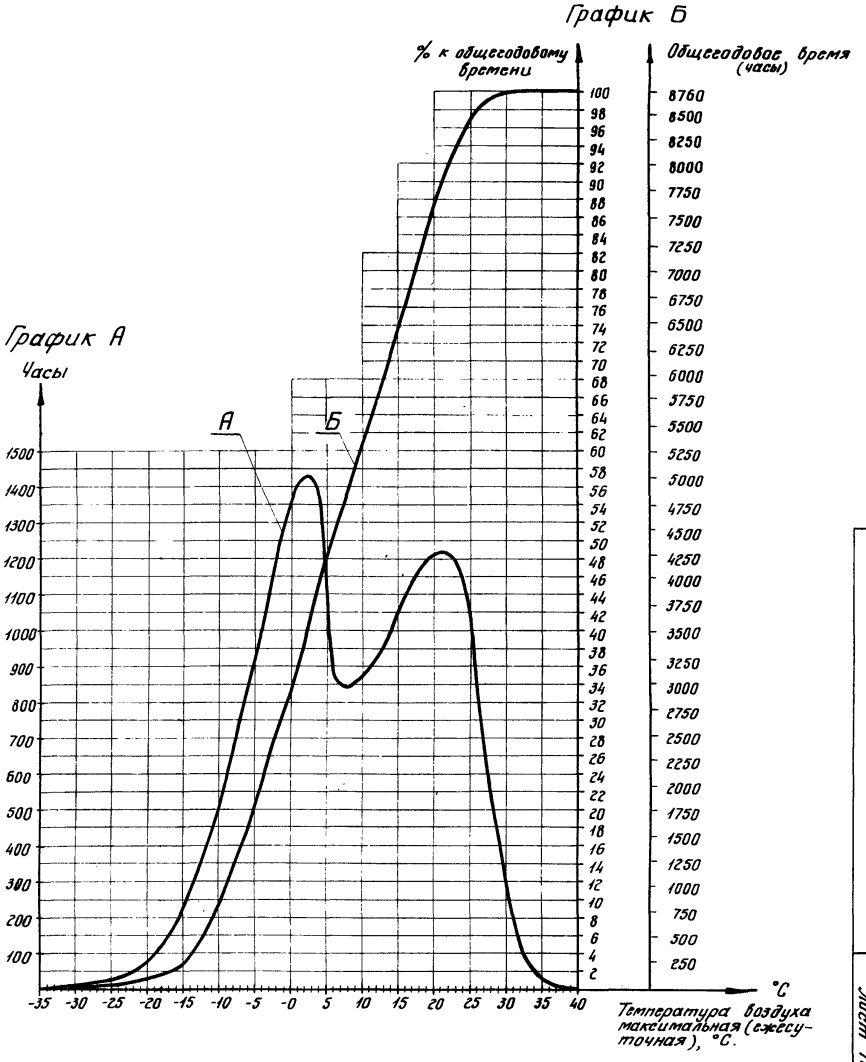


График Б
% к общегодовому времени
Общегодовое время (часы)
100
98
96
94
92
90
88
86
84
82
80
78
76
74
72
70
68
66
64
62
60
58
56
54
52
50
48
46
44
42
40
38
36
34
32
30
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
8760
8500
8250
8000
7750
7500
7250
7000
6750
6500
6250
6000
5750
5500
5250
5000
4750
4500
4250
4000
3750
3500
3250
3000
2750
2500
2250
2000
1750
1500
1250
1000
750
500
250
График А
Часы
А
Б
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
-30 -25 -20 -15 -10 -5 0 5 10 15 20 25 30 35 40
Температура воздуха максимальная (суточная) °С.

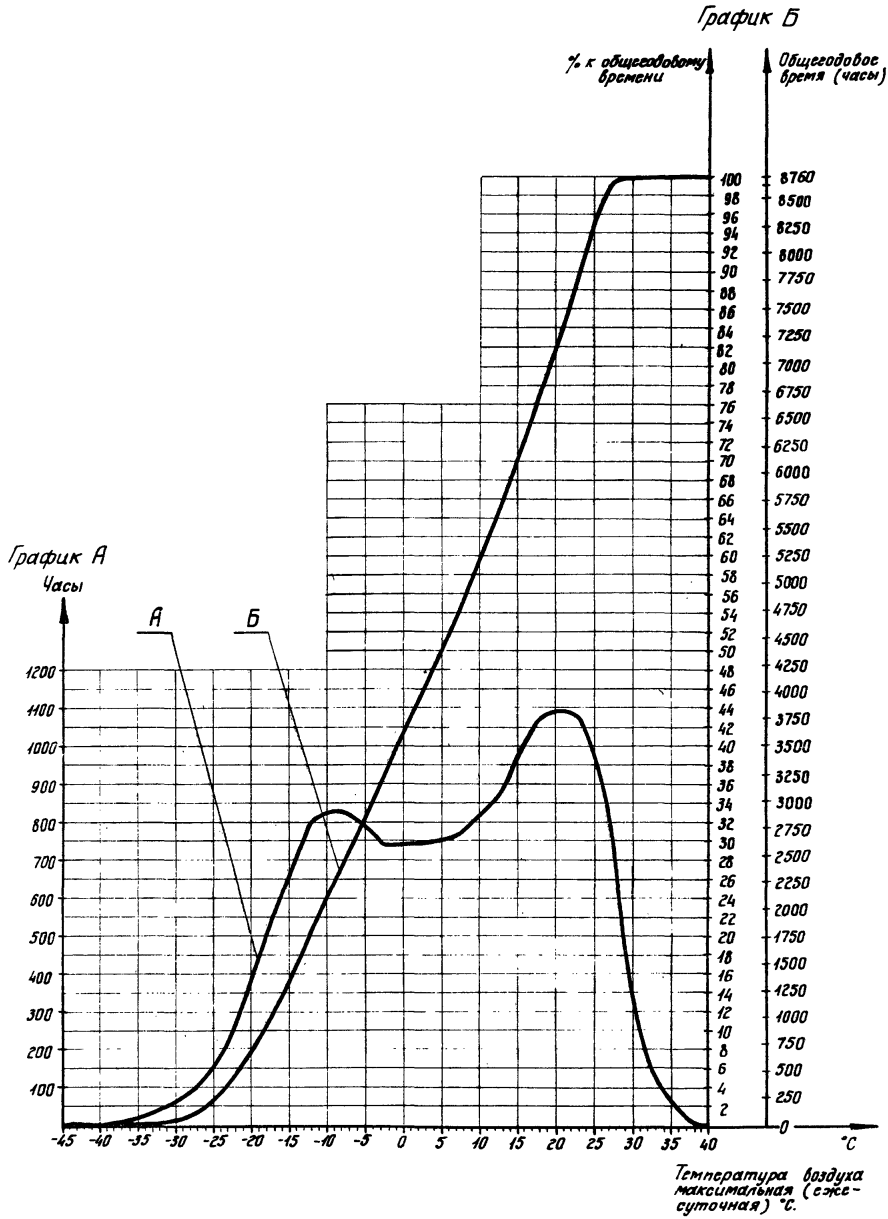
Фиг. 47

г. Москва



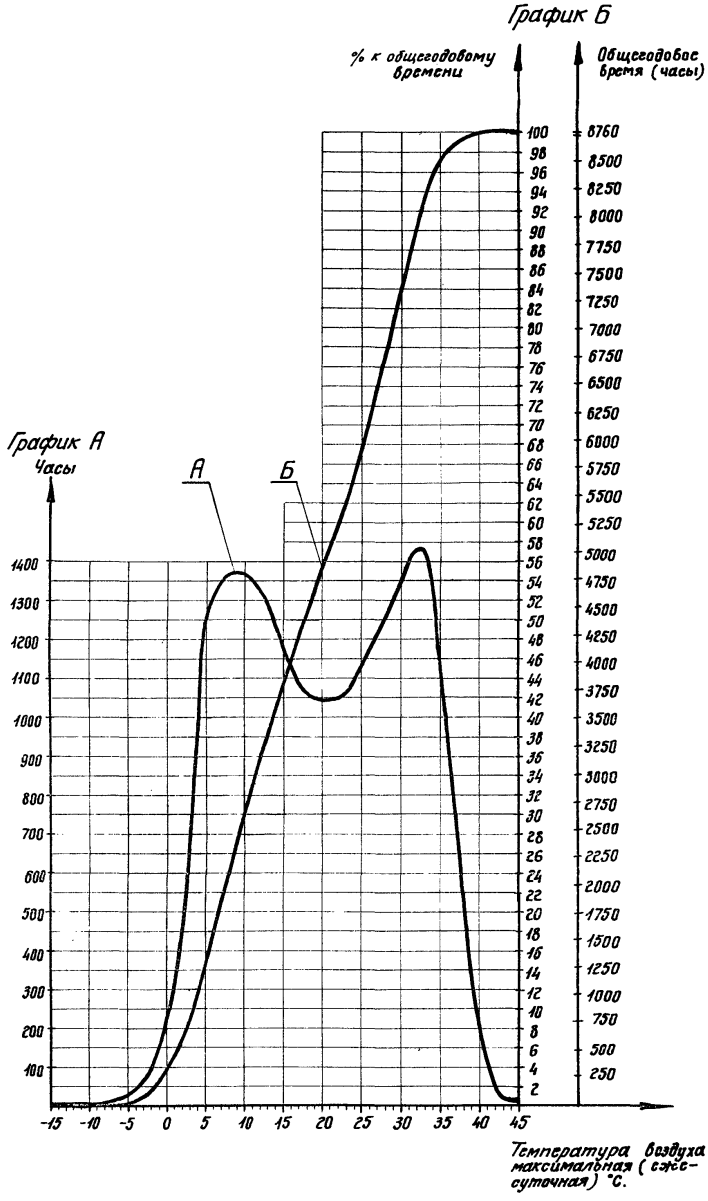
Фиг. 48

г. Иркутск



Фиг. 49

г. Красноводск

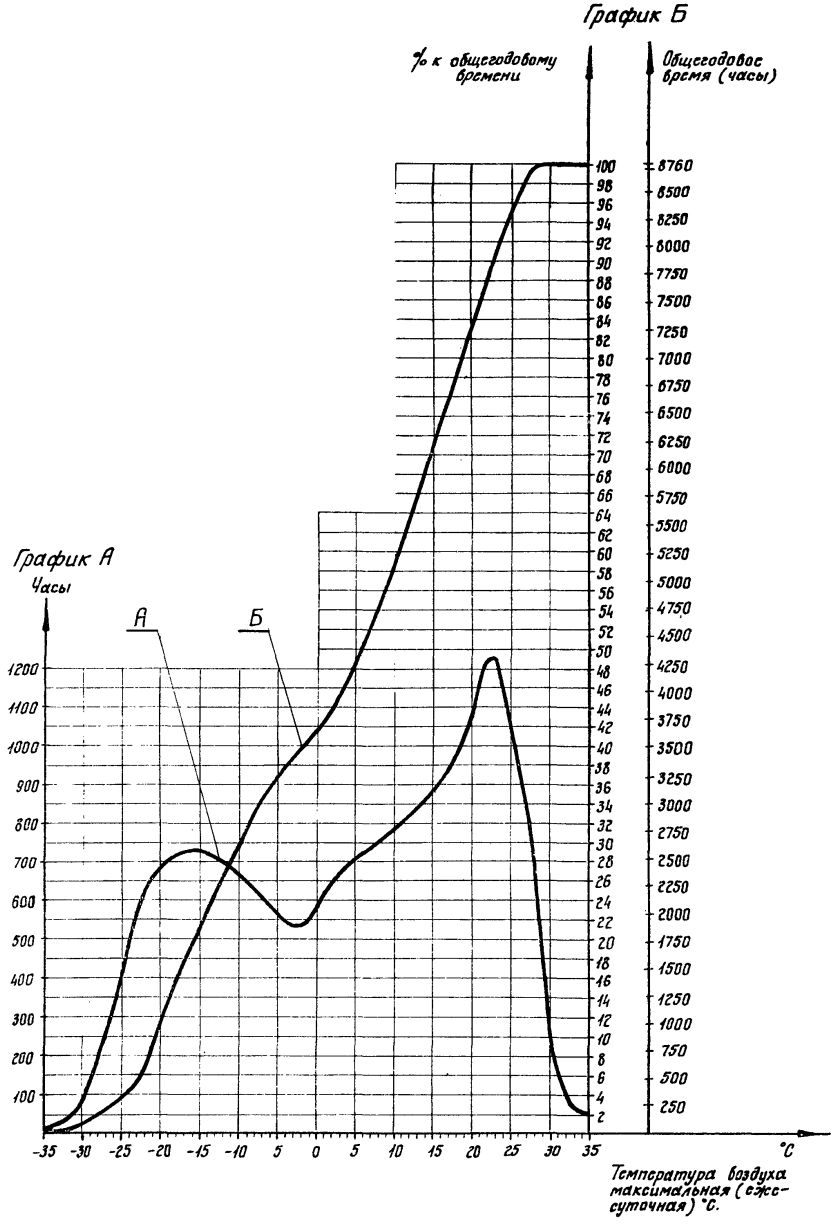


Фиг. 50

Методика теплового и аэродинамического расчёта аппаратов воздушного охлаждения

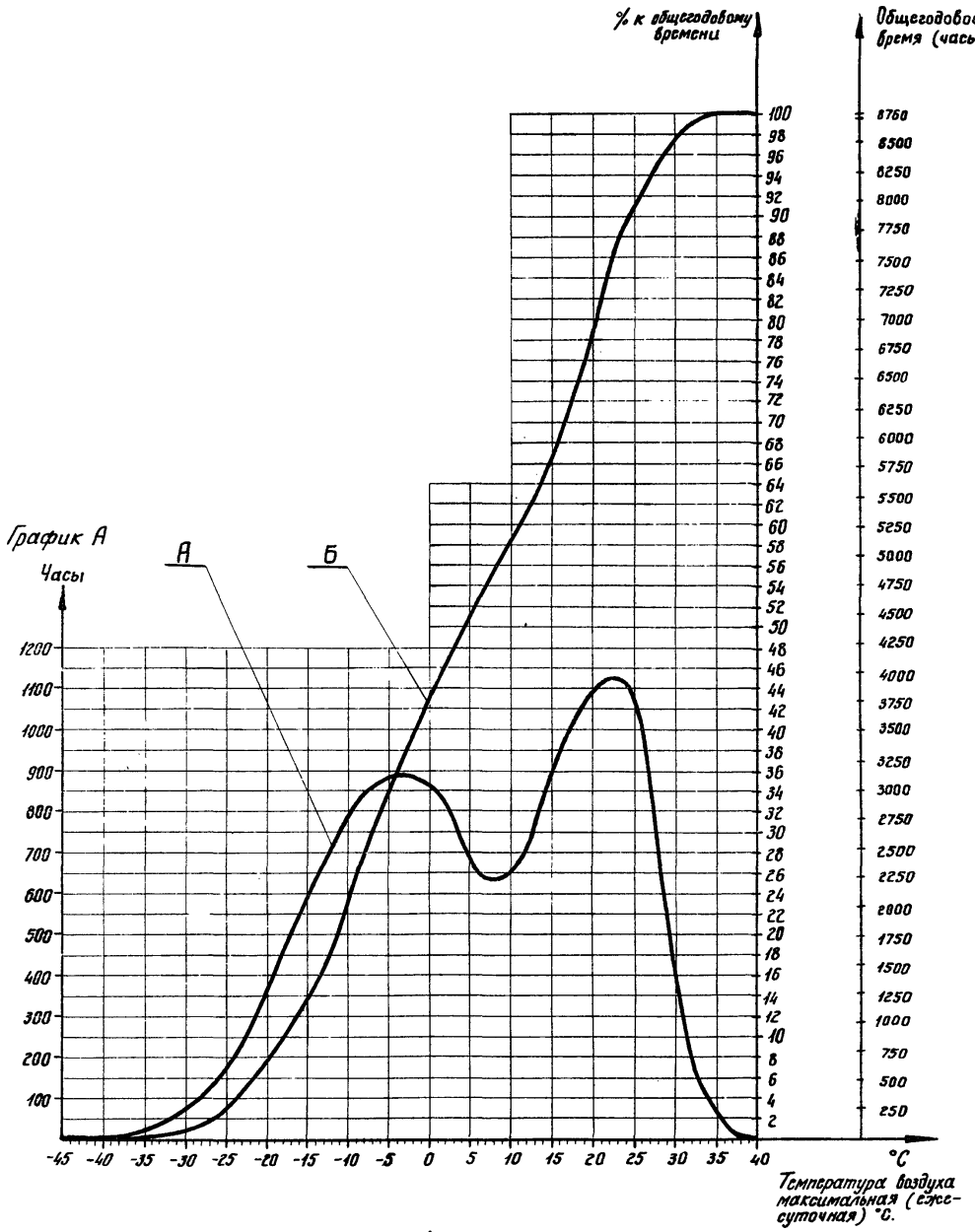
Лист 74

г. Комсомольск-на-Амуре



Фиг. 51

г. Новосибирск

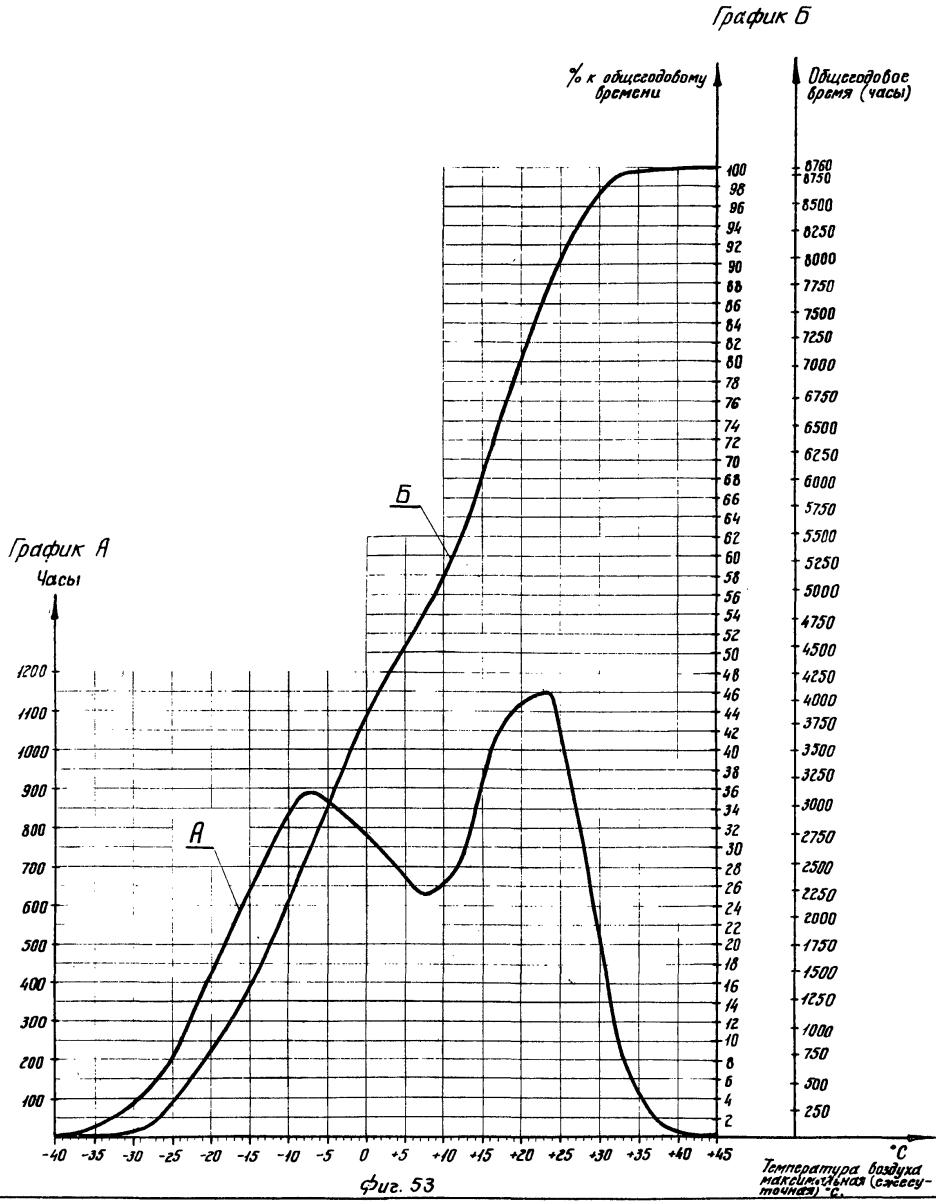


Фиг. 52

Методика теплового и аэродинамического расчёта аппаратов воздушного охлаждения

Лист 76

г. Омск

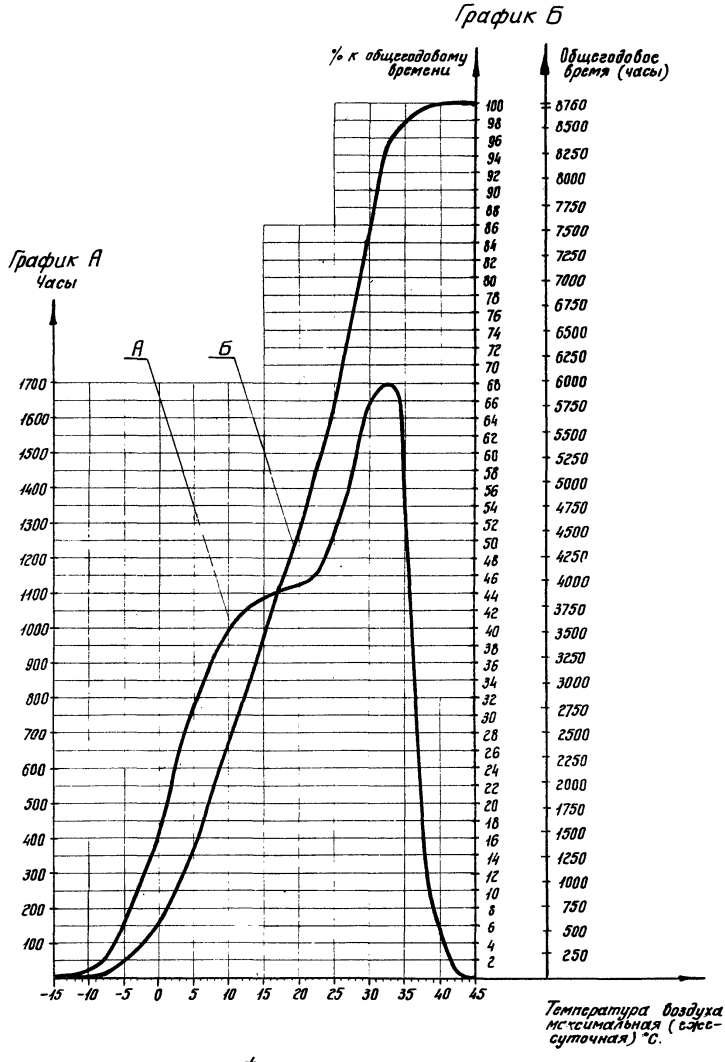


Фиг. 53

Методика теплового и аэродинамического расчёта аппаратов воздушного охлаждения

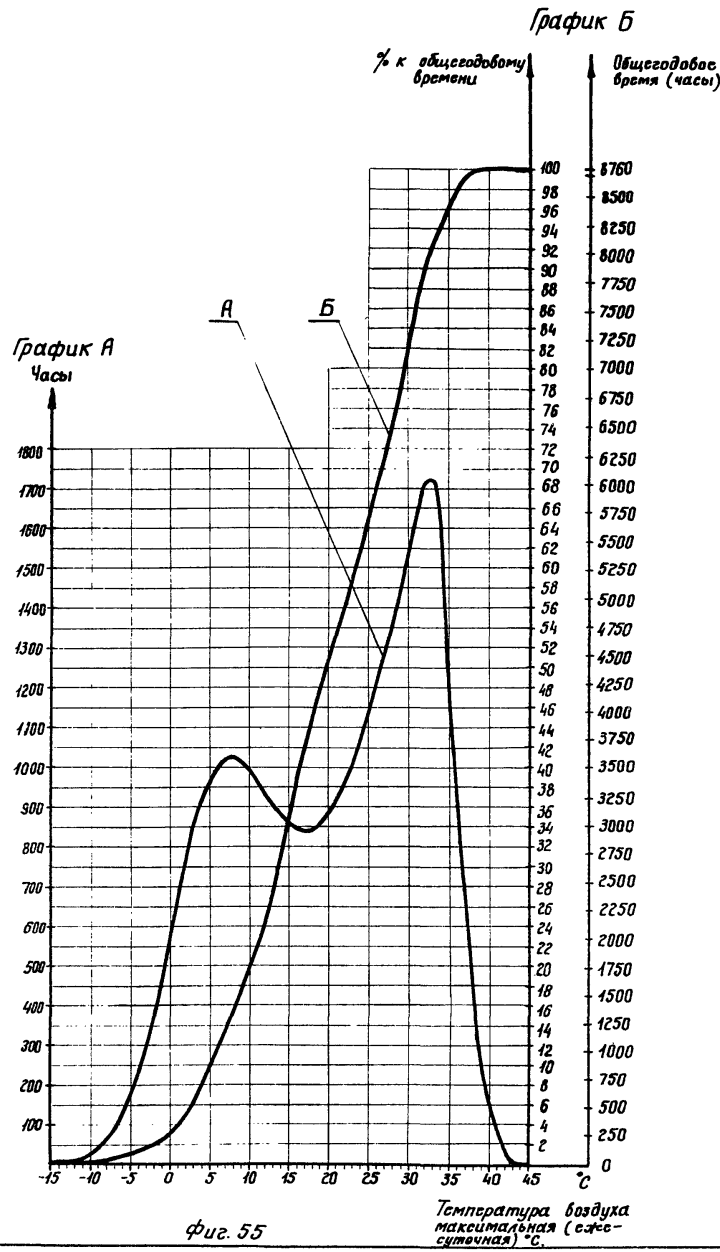
Лист 77

г. Самарканд



Фиг. 54

г. Фергана



фиг. 55

Методика теплового и аэродинамического расчёта аппаратов воздушного охлаждения

Лист 79

Таблица 9

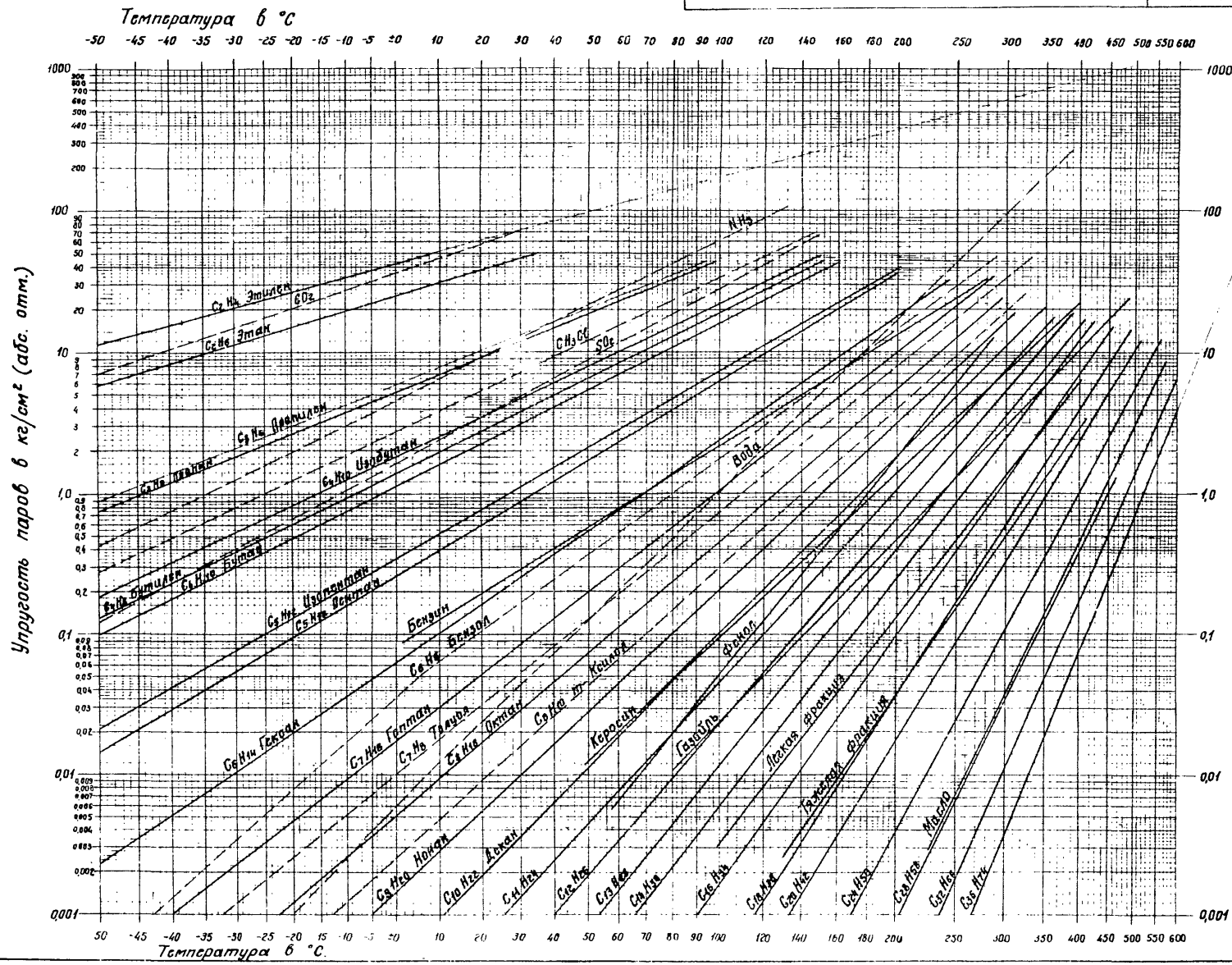
Физические параметры сухого воздуха

при $B = 760$ мм.рт.ст.

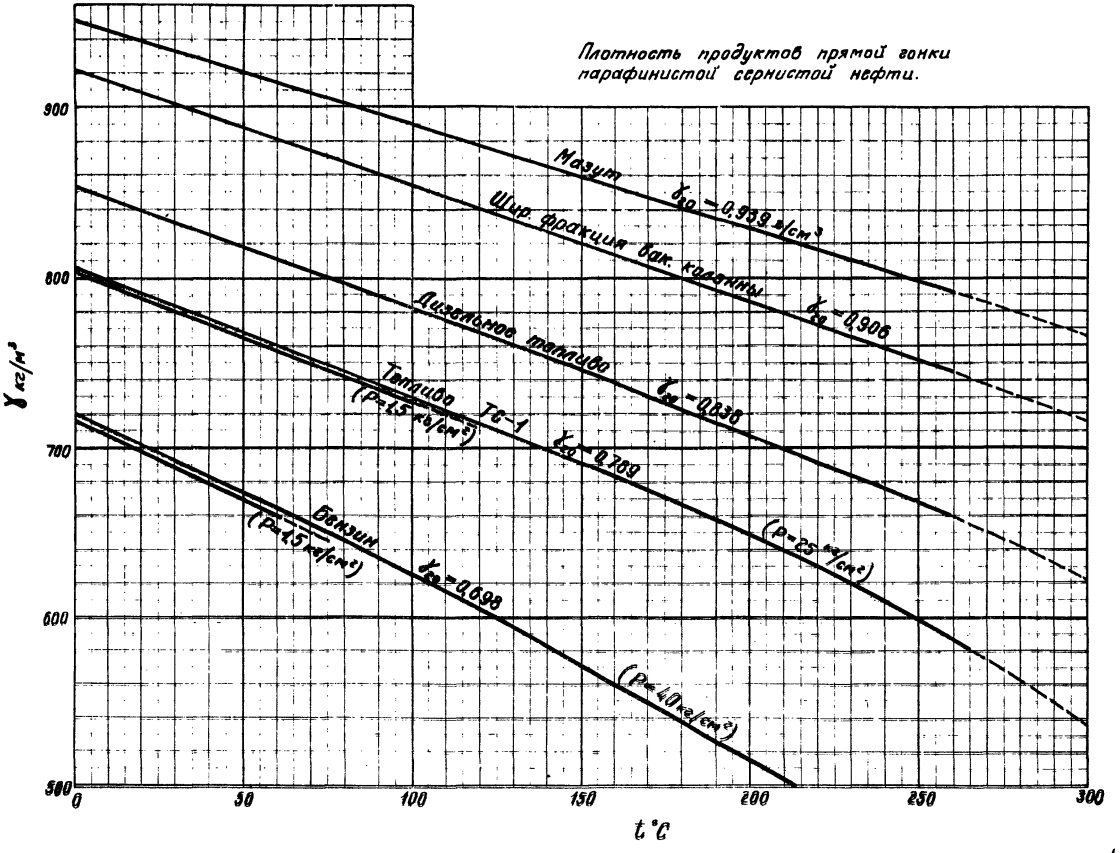
t °C	γ кг/м³	c_p ккал/кг.град.	$\lambda \cdot 10^2$ ккал/м.час.гр.	$a \cdot 10^2$ м²/час	$\mu \cdot 10^6$ кг сек/м²	$\nu \cdot 10^6$ м²/сек.	P_r
-50	1,584	0,242	1,75	4,57	1,49	9,23	0,728
-40	1,515	0,242	1,82	4,96	1,55	10,04	0,728
-30	1,453	0,242	1,89	5,37	1,60	10,80	0,723
-20	1,395	0,241	1,96	5,83	1,65	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	0,854	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	79,30	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

при $B = 735,6$ мм.рт.ст.

t °C	γ кг/м²	c_p ккал/кг.град.	$\lambda \cdot 10^2$ ккал/м.час.гр.	$a \cdot 10^2$ м²/час	$\mu \cdot 10^6$ кг сек/м²	$\nu \cdot 10^6$ м²/сек.	P_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	0,256	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

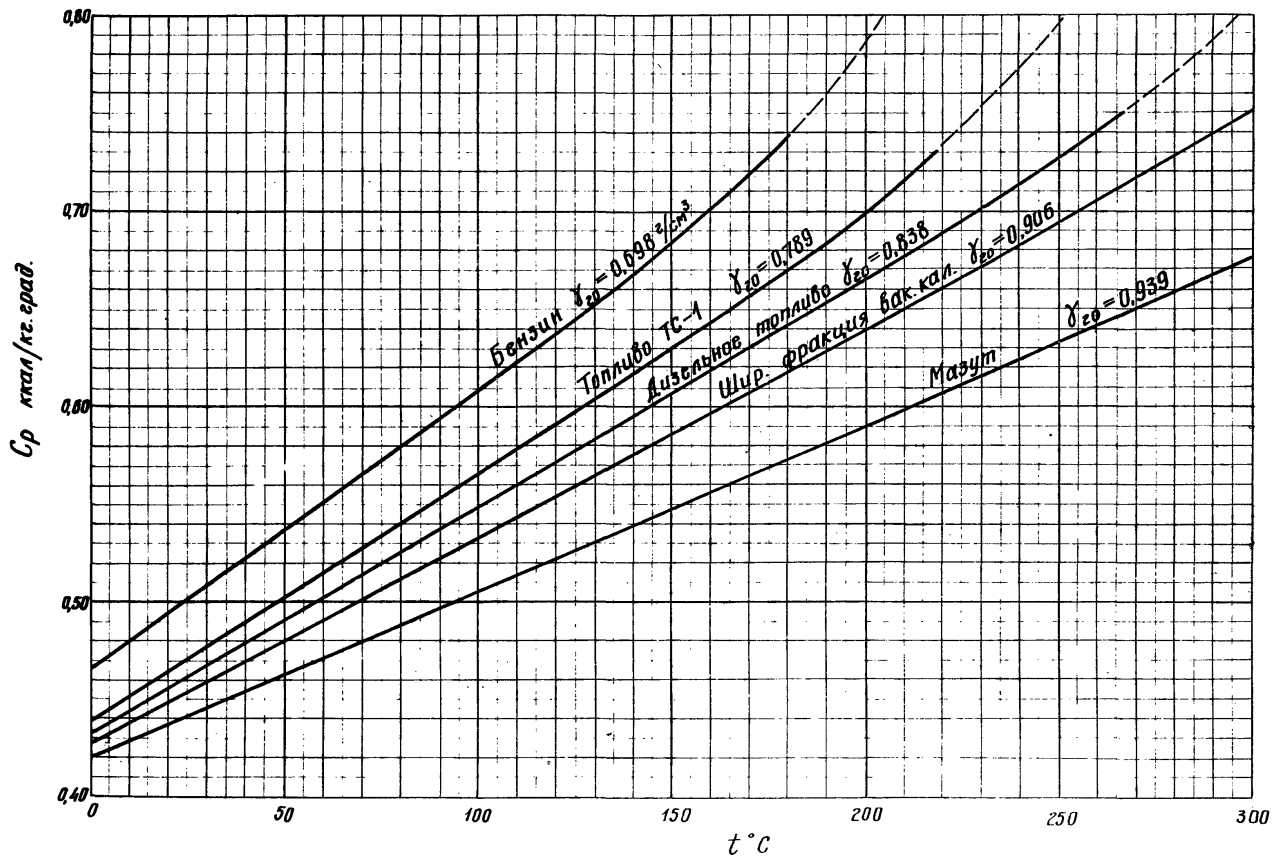

Температура в °С
Упругость паров в кг/см² (абс. отм.)
Температура в °С.
C_2H_4 Этилен
CO_2
C_2H_6 Этан
NH_3
CH_3Cl
SO_2
C_3H_6 Пропилен
C_3H_8 Пропан
C_4H_{10} Изобутан
C_4H_8 Бутилен
C_4H_{10} Бутан
C_5H_{12} Изопентан
C_5H_{12} Пентан
Вода
Бензин
C_6H_6 Бензол
C_6H_{14} Гексан
C_7H_{16} Гептан
C_7H_8 Толуол
C_8H_{18} Октан
C_8H_{10} т. Ксилол
Керосин
Фенол
Газойль
Легкая фракция
Тяжелая фракция
Масло
C_9H_{20} Нонан
$C_{10}H_{22}$ Декан
$C_{11}H_{24}$
$C_{12}H_{26}$
$C_{13}H_{28}$
$C_{14}H_{30}$
$C_{16}H_{34}$
$C_{18}H_{38}$
$C_{20}H_{42}$
$C_{24}H_{50}$
$C_{28}H_{58}$
$C_{32}H_{66}$
$C_{36}H_{74}$

Фиг. 56


Плотность продуктов прямой гонки парафинистой сернистой нефти.
Мазут γ_{20} = 0,939 г/см³
Шир. фракция вак. колонны γ_{20} = 0,906
Дизельное топливо γ_{20} = 0,838
Топливо ТС-1 γ_{20} = 0,789
(P=1,5 кг/см²)
(P=25 кг/см²)
Бензин γ_{20} = 0,698
(P=1,5 кг/см²)
(P=40 кг/см²)
γ кг/м³
900
800
700
600
500
0
50
100
150
200
250
300
t °C

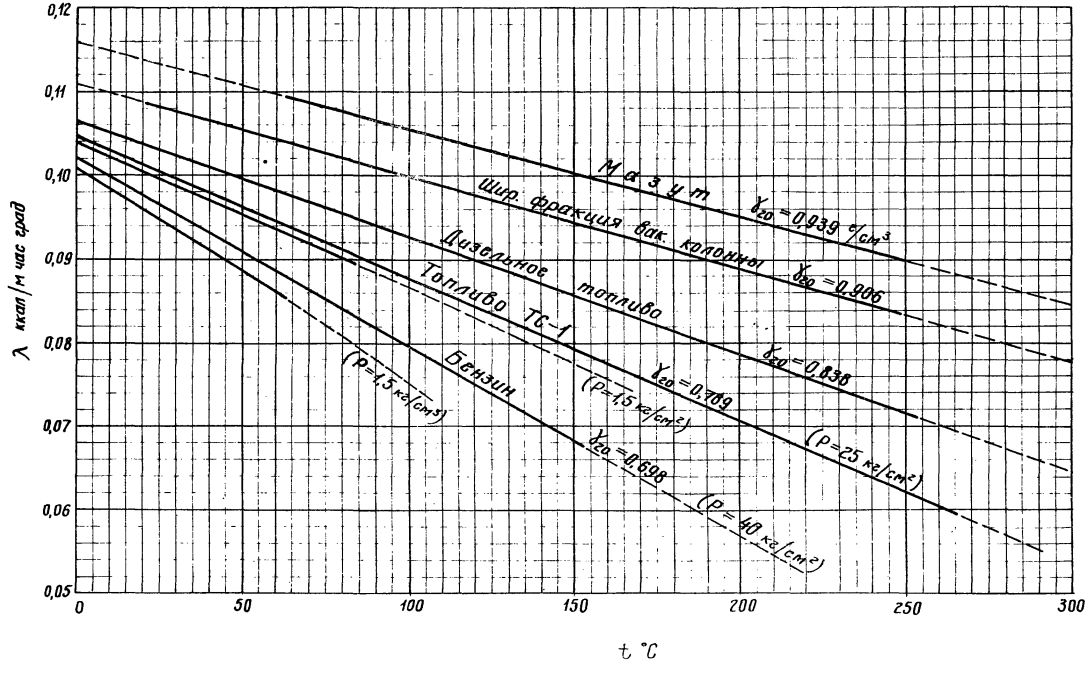
Фиг. 57

Теплоемкость продуктов прямой гонки парафинистой сернистой нефти.



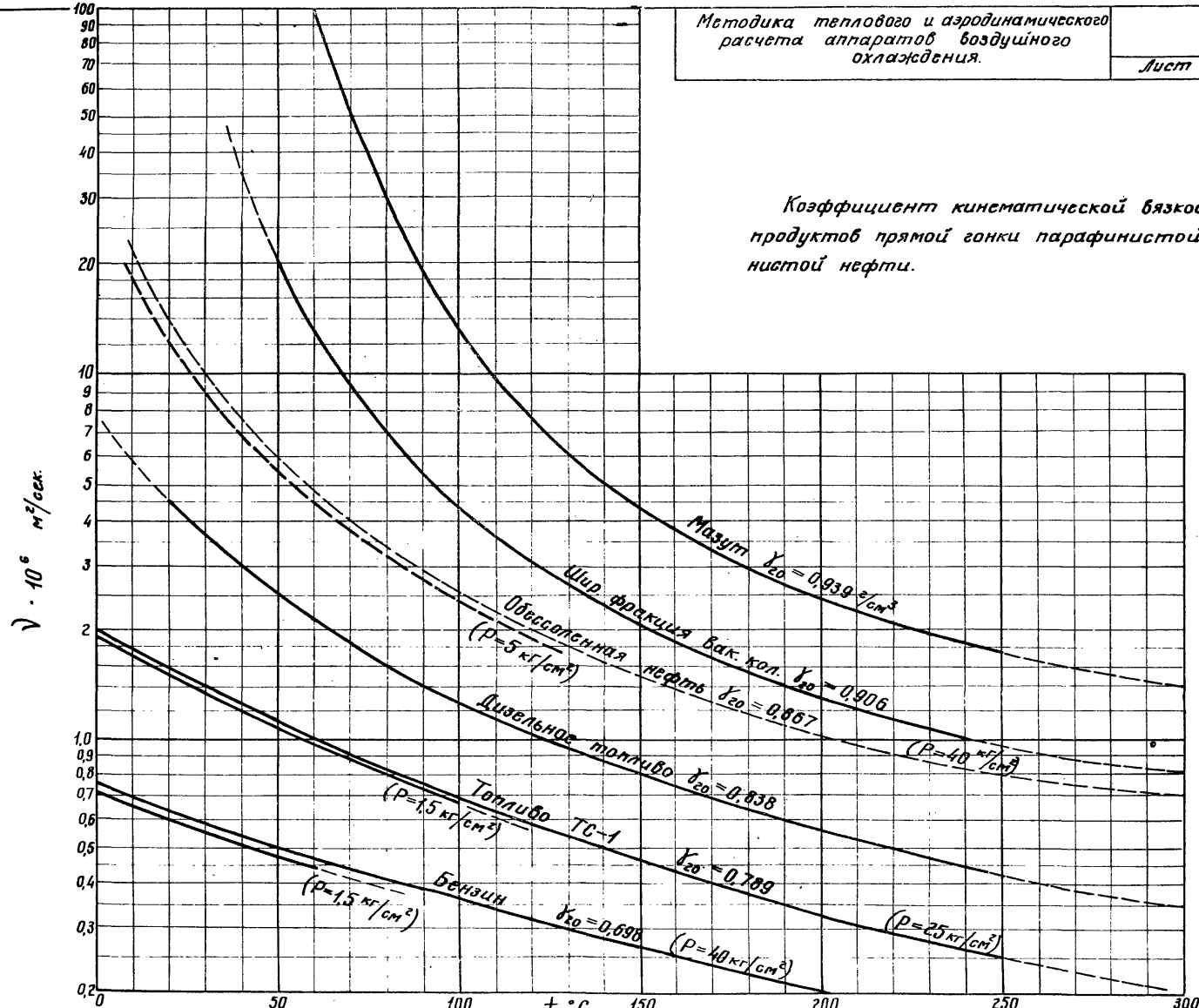
Фиг. 56

Коэффициент теплопроводности продуктов прямой гонки парафинистой сернистой нефти.



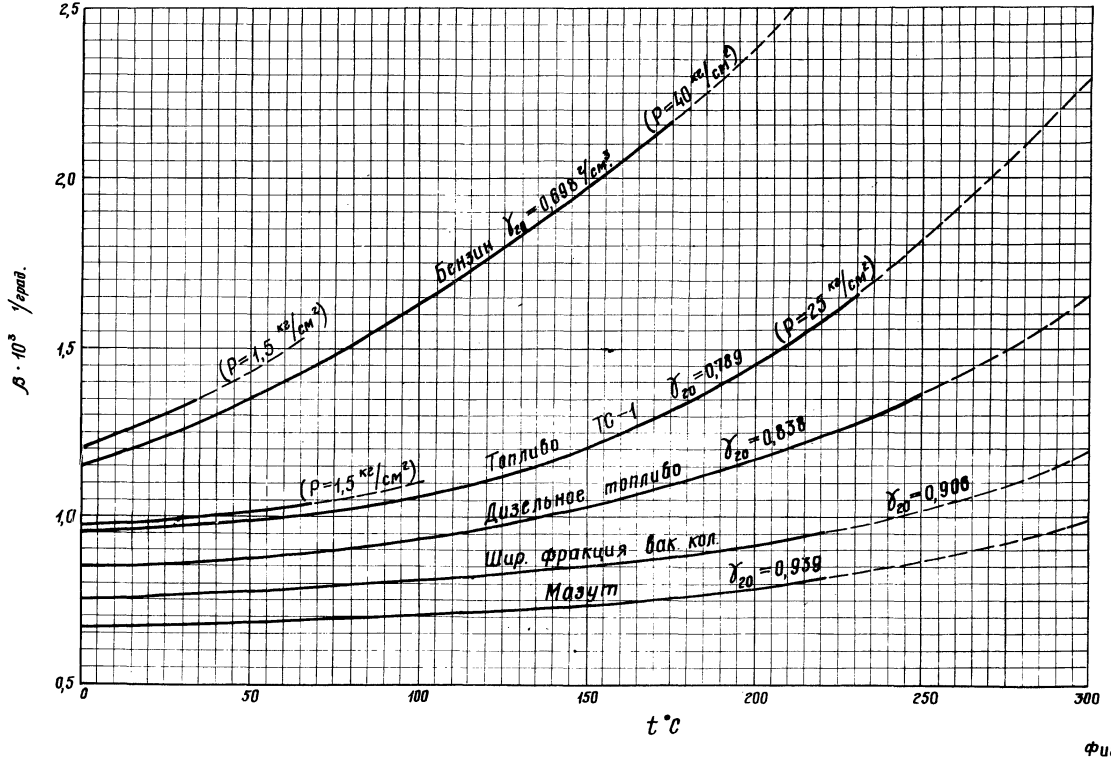
Фиг. 59

Коэффициент кинематической вязкости продуктов прямой гонки парафинистой сернистой нефти.



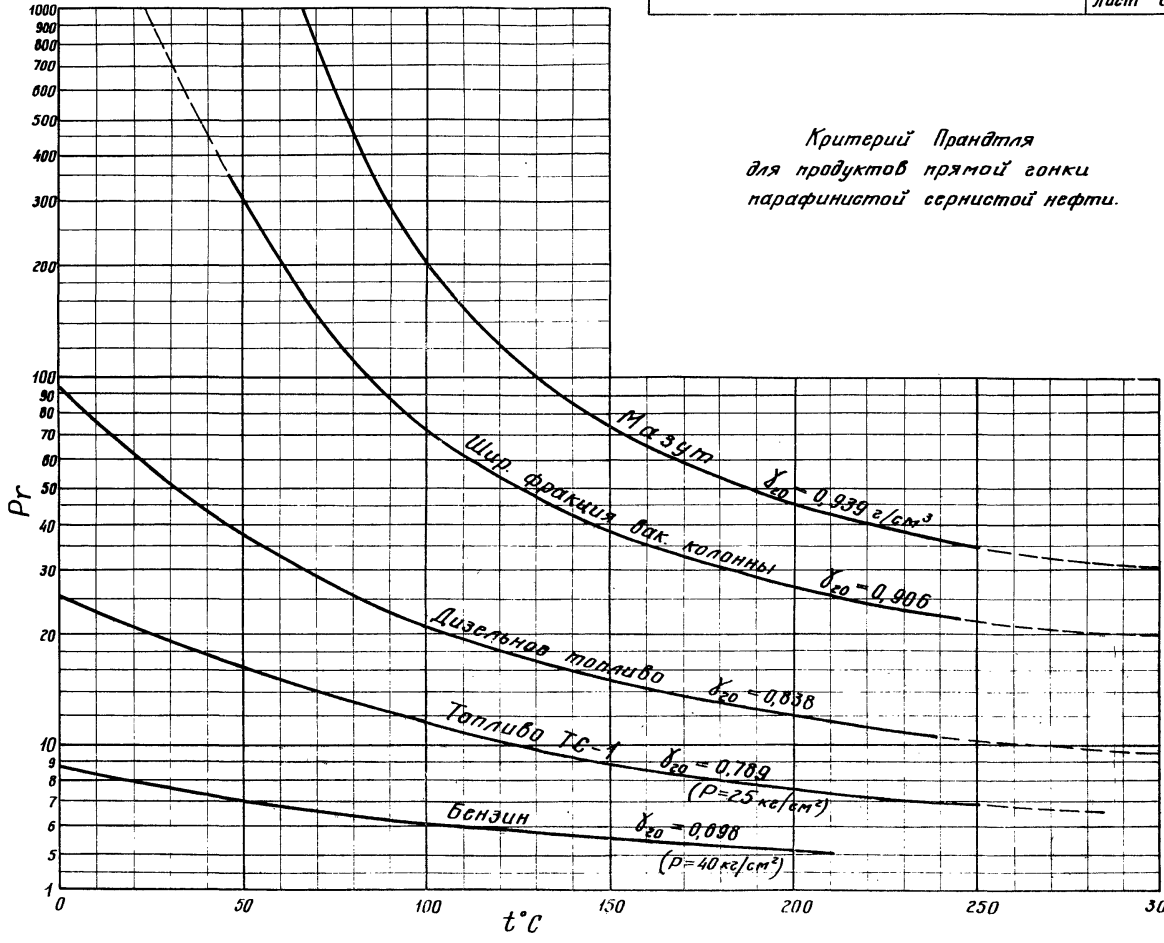
Фиг. 60

Коэффициент расширения продуктов прямой гонки парафинистой сернистой нефти.

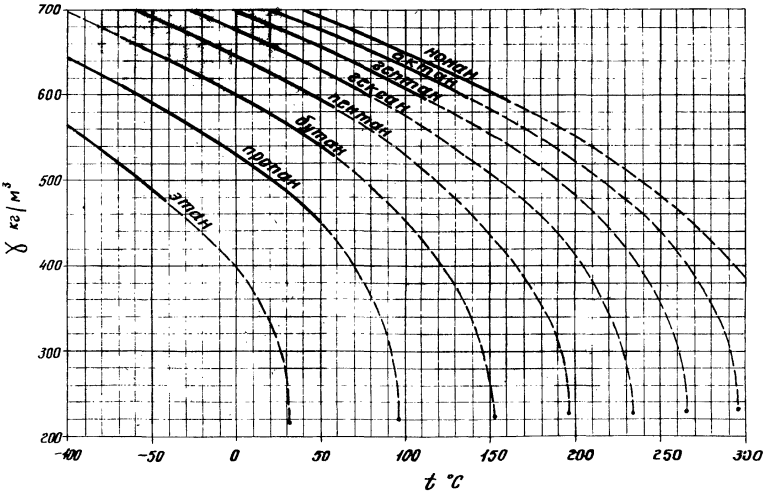


Фиг. 61

Критерий Прандтля
для продуктов прямой гонки
парафинистой сернистой нефти.

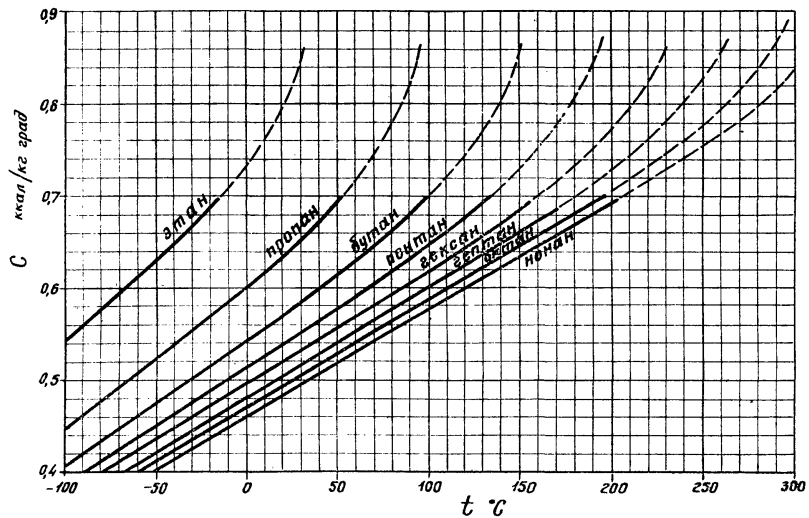


Фиг. 62



Плотность жидких алканов.

фиг. 63

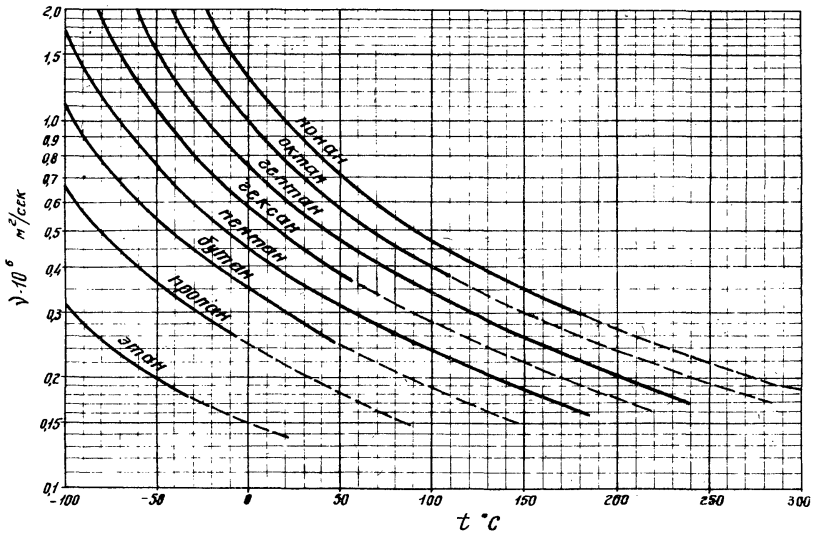


Теплоемкость жидких алканов

Фиг.64

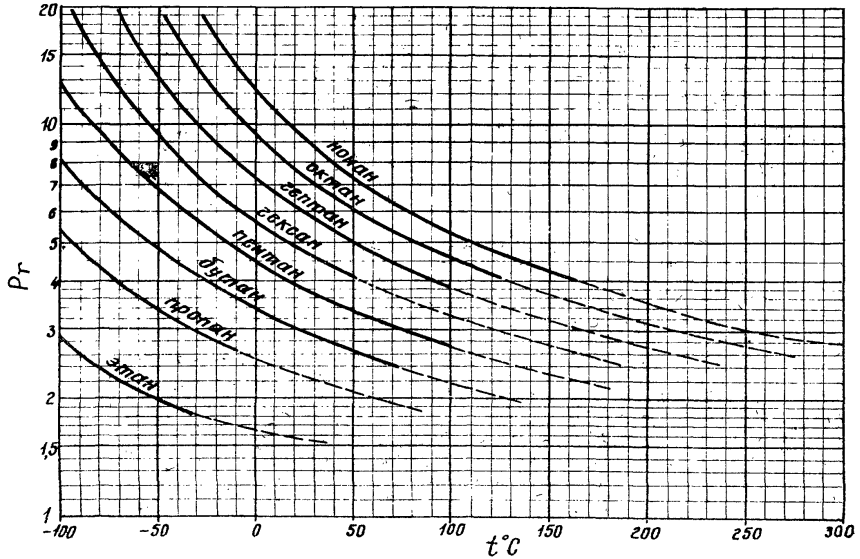
Коэффициент теплопроводности жидких алканов.

Фиг. 65



Коэффициент кинематической вязкости жидких алканов

Фиг. 66



Критерий Прандтля для жидких алканов.

Фиг. 67

Приложение 5

Ориентировочные значения сопротивлений загрязнений ($м^2 \cdot °C/кВт$) со стороны различных продуктов ($r_{заг}$)*

1. Масла технические

Тепочные мазуты	0,001
Чистые циркулирующие масла	0,0002
Машинные и трансформаторные масла	0,0002
Кзенчинг масло	0,0008
Растительное масло	0,0008

2. Газы и пары технические

Газ нефтяных печей 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
Рассолы (охлаждающий)	0,0002

4. Вода

Температура воды, °С	$t \leq 52$		$t > 52$	
Скорость воды, м/сек	$W < 0,9$	$W \geq 0,9$	$W < 0,9$	$W \geq 0,9$
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	0,00116	0,00112	0,002	0,00116
Жесткая	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. Нефть

Подогреваемая нефть	Температура, °С	Скорость, м/сек		
		$W \leq 0,6$	$0,6 < W < 1,2$	$W \geq 1,2$
Обезвоженная (обессоленная)	$-17 < t < 93$	0,0006	0,0004	0,0004
	$93 \leq t < 149$	0,0006	0,0004	0,0004
	$149 \leq t < 260$	0,0008	0,0006	0,0004
	$t \geq 260$	0,001	0,0008	0,0006
Обводненная (не обессоленная)	$-17 < t < 93$	0,0006	0,0004	0,0004
	$93 \leq t < 149$	0,001	0,0008	0,0008
	$149 \leq t < 260$	0,00112	0,001	0,0008
	$t \geq 260$	0,00114	0,00112	0,001

x) Из рекомендаций ТЕМА при регулярной чистке трубного пространства

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 флэшинг колонны		0,0008
Боковые фракции в холодильниках		0,0004
Остаток (Гудрон)	$d_4^{20} \geq 0{,}93$	0,001
Дестиллатный остаток	$d_4^{20} < 0{,}93$	0,0004

8. Крекинг-установки

Сырье – нефть (см.п.5)	
Сырье – газойль	
до 238°С	0,0004
238°С и выше	0,0006
Сырье – лигроин	
до 238°С	0,0004
238°С и выше	0,0008
Пары из сепаратора, флэшинга и испарителя	0,0012
Пары из ректификационной колонны	0,0004
Остаток	0,002

9. Абсорбционные установки (газобензиновые заводы)

Г А З	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[x]	0,0006
С м о л ы	
в теплообменниках и парогенераторах	0,001
в холодильниках	0,0006
Растворитель	0,0002

13. Установки деасфальтизации

Сырье – масло	0,0004
Растворитель	0,0002
Асфальт и смолы	
в теплообменниках и парогенераторах	0,001
в холодильниках	0,0006
Пары растворителя	0,0002
Очищенное масло	0,0002
Очищенное масло, охлаждаемое водой	0,0006

14. Установки депарафинизации

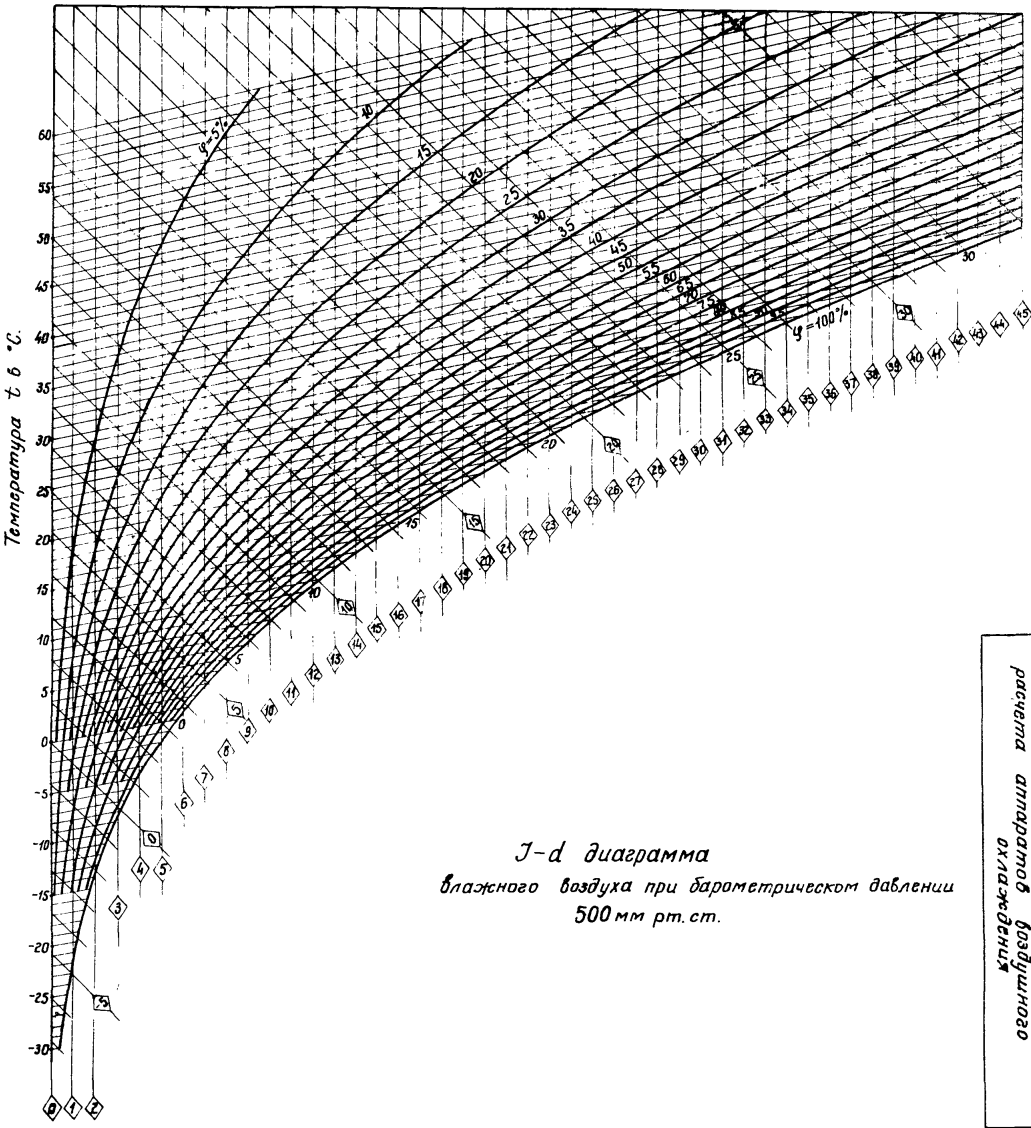
Смазочное масло	0,0002
Растворитель	0,0002
Смесь масла с парафином нагреваемая	0,0002
Смесь масла с парафином охлаждаемая[x]	0,0006

15. Обессеривающие установки.

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

---

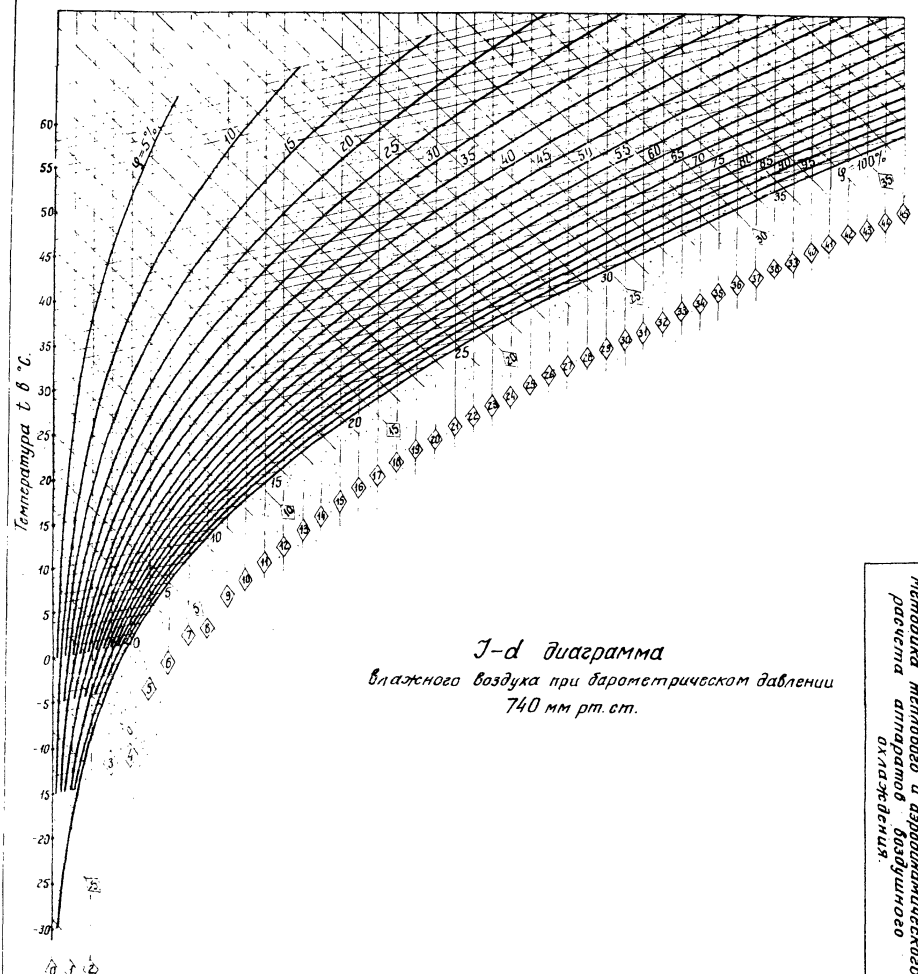
x) должны быть предусмотрены меры против отложения парафина



J-d диаграмма

влажного воздуха при барометрическом давлении 500 мм рт. ст.

Фиг. 68



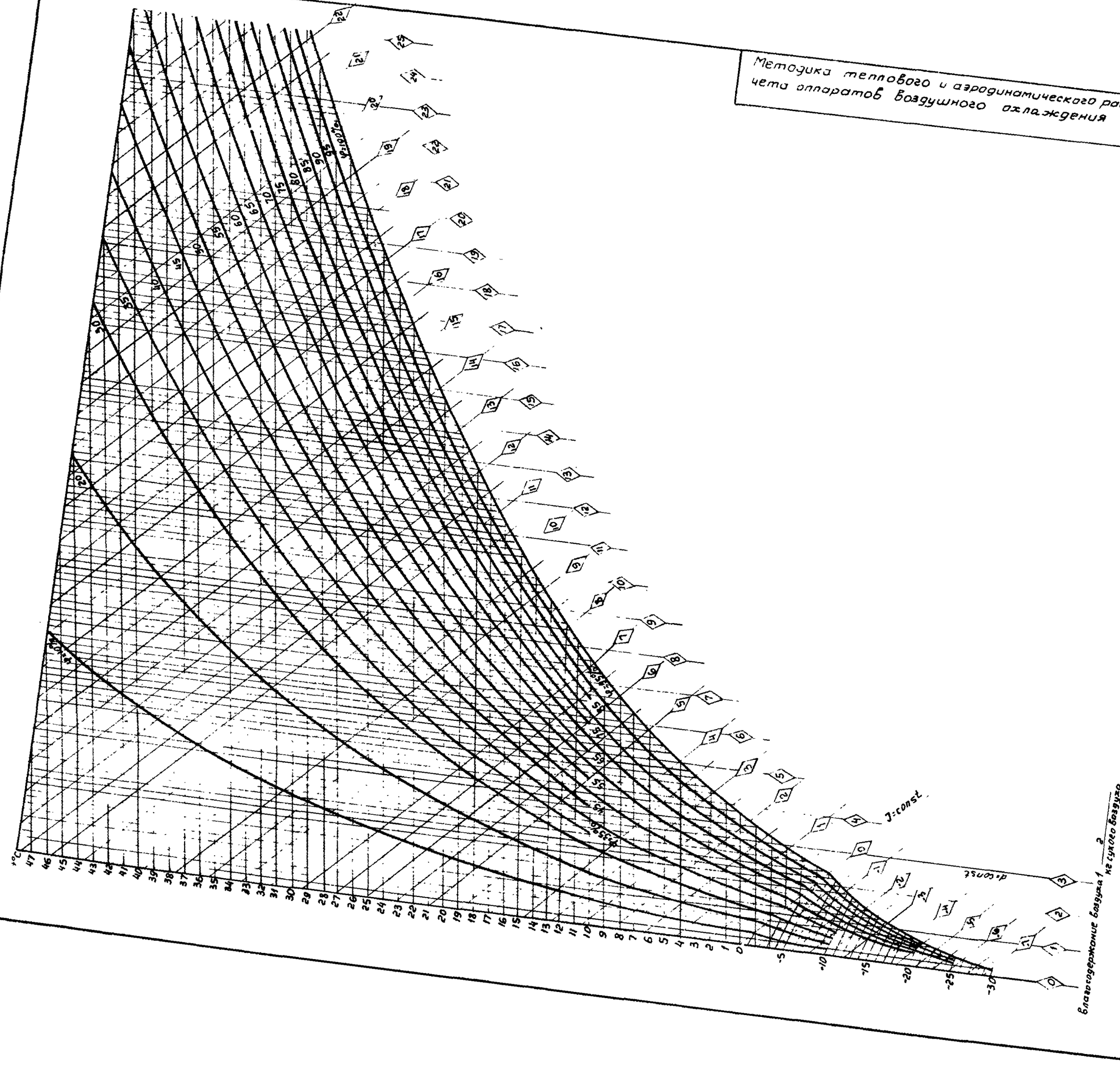
I-d диаграмма

влажного воздуха при барометрическом давлении 740 мм рт. ст.

Фиг. 69

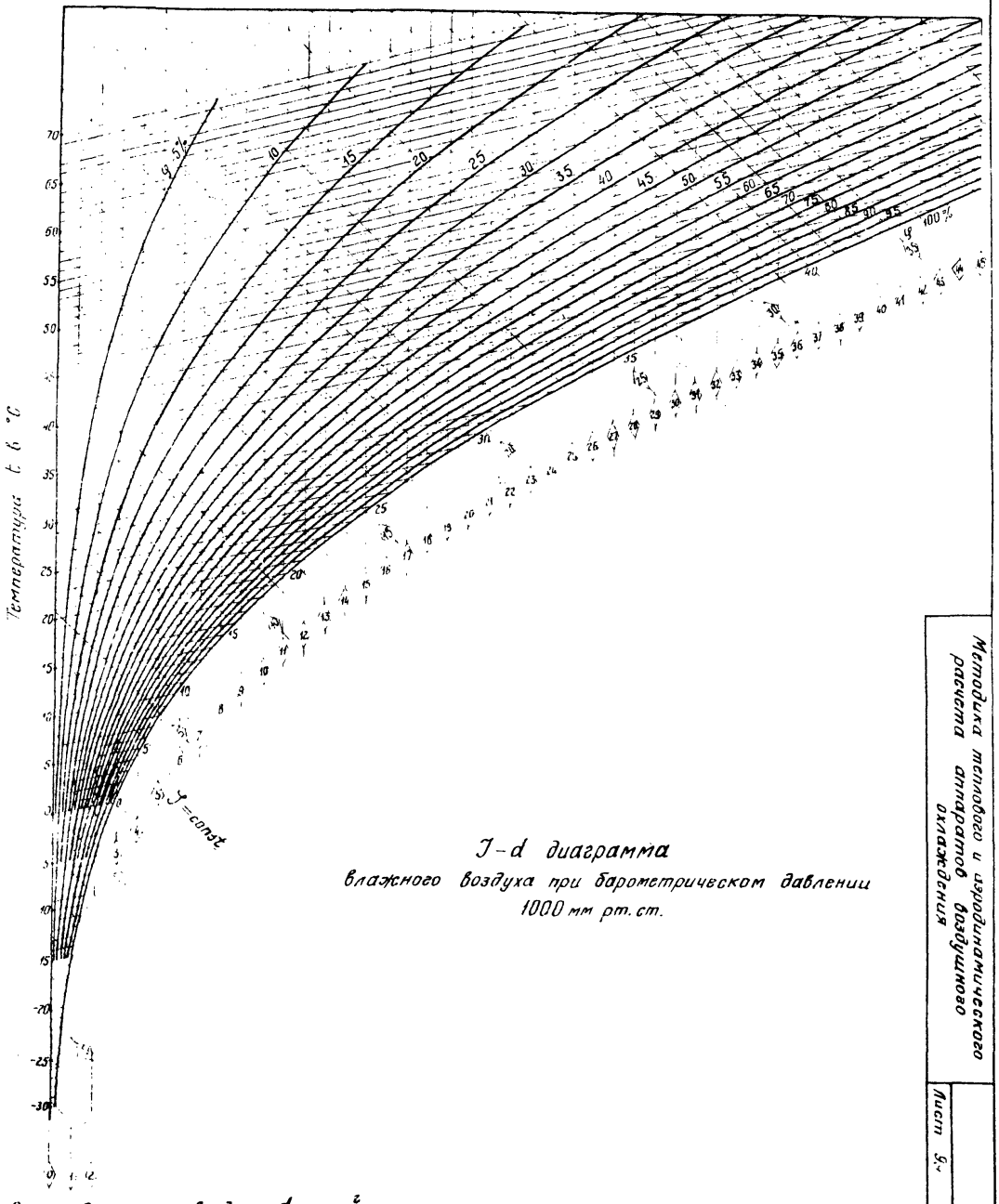
I-d-диаграмма влажного воздуха при барометрическом давлении 745 мм рт. ст.

Фиг. 70



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

Фиг. 71



I-d диаграмма

влажного воздуха при барометрическом давлении 1000 мм рт. ст.

Фиг. 72

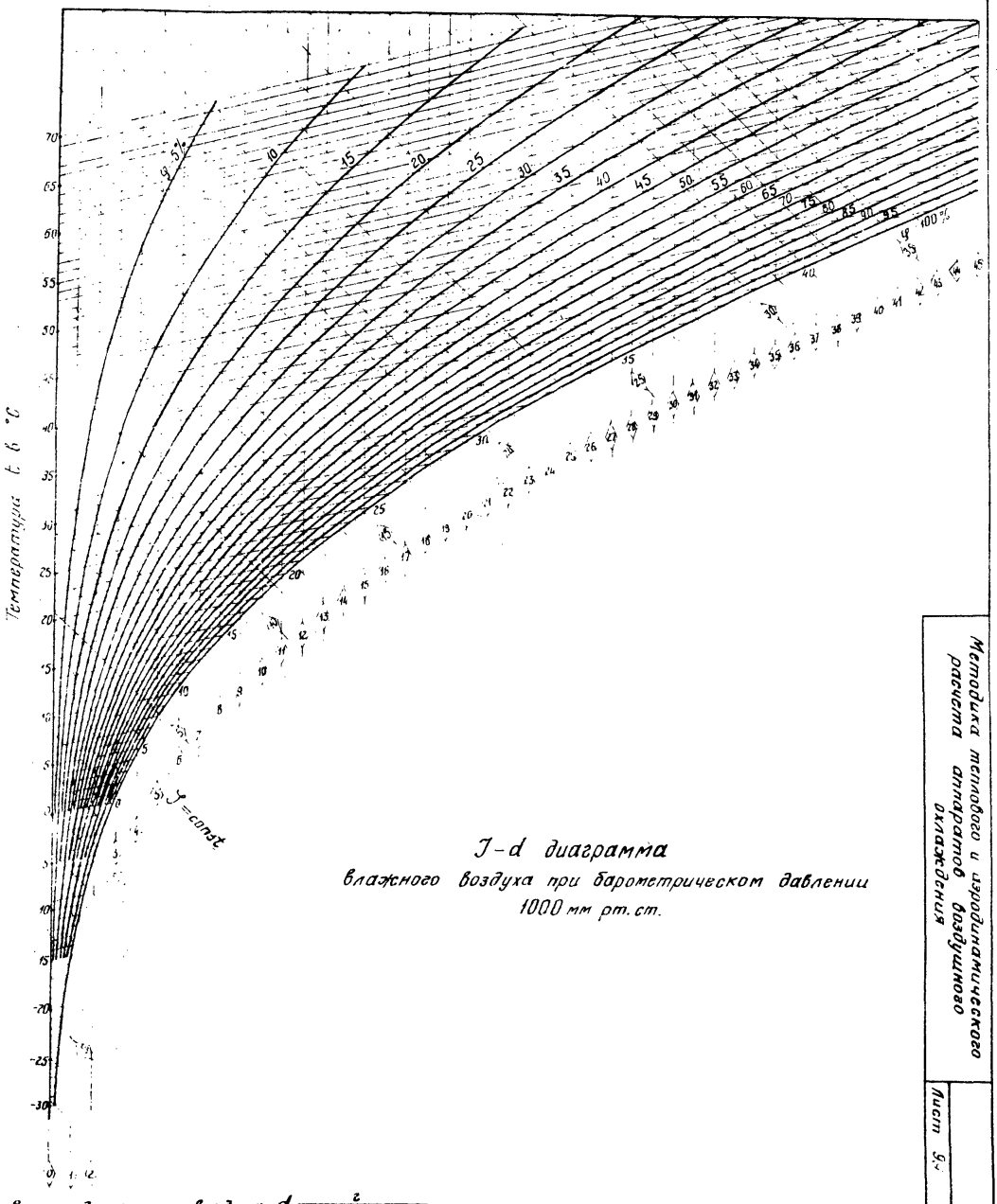
Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения

Лист 9

Приложение 7

Некоторые значения тепловой напряженности и коэффициентов теплопередачи в аппаратах воздушного охлаждения

№ пп	Наименование процесса	Тепловая напряженность q, ккал/час м²	Коэффициент теплопередачи K, ккал/м² час. град. отнесенный к полной поверхности	Источник
1	2	3	4	5
I.	Конденсация и охлаждение фракции н.к. I40°С, газа и водяных паров	I400	36	Гипронефтеман Расчет АВО для установки АВТ-I Омского НПЗ
2.	Конденсация и охлаждение фракции I40–I80°С и водяного пара	II00	20	-"-
3.	Холодильник дизельного топлива	II50	20	-"-
4.	Конденсация и охлаждение паров ксилола	I600	I9	Гипронефтезаводы Расчет АВО для уст-ки 35-I5/5
5.	Конденсация и охлаждение паров ксилола	2040	25	-"-
6.	Конденсация и охлаждение фракции I80°С и водяного пара	I650	30	-"-
7.	Конденсация и охлаждение фракции н.к. I05°С, газа C_4	I700	24,6	-"-
8.	Конденсация и охлаждение фракции I05–I40°С	2200	2I,0	-"-
9.	Конденсация и охлаждение фракции н.к. 62°С	I200	25,2	-"-
I0.	Охлаждение фракции I80–220°С	II50	2I,4	-"-
II.	Охлаждение этилбензола	I500	2I,9	-"-
I2.	Конденсация и охлаждение ксилола, водяного пара	I900	25	Гипронефтезаводы Расчет АВО для уст-ки 35-I5/5
I3.	Конденсация и охлаждение толуола	I600	I5	-"-
I4.	Охлаждение ароматических углеводородов	2I00	20	-"-
I5.	Охлаждение газопродуктовой смеси	I040	24,3	Гипронефтеман Расчет АВО для уст-ки гидроочистки Л24-I500
I6.	Охлаждение паровой смеси	I330	2I,7	-"-
I7.	Охлаждение парогазовой смеси	I780	40,2	-"-
I8.	Конденсация и охлаждение паров бензина, газа C_4 и водяного пара	I720	37,2	Гипронефтеман Расчет АВО для уст-ки ЭЛОУ-АВТ Красноводского НПЗ
I9.	Охлаждение дизельного топлива	I050	22,2	-"-
20.	Охлаждение керосина	I260	22,0	-"-
2I.	Конденсация и охлаждение растворителя	I330	4I	Данные промышленной эксплуатации АВО на Ферганском НПЗ
22.	Конденсация и охлаждение растворителя	I450	48,5	-"-
23.	Конденсация и охлаждение растворителя колонны	II70	34,5	-"-
24.	Конденсация и охлаждение растворителя колонны	III0	32,2	-"-
25.	Конденсация и охлаждение бензина	I270	35,2	-"-
26.	Конденсация и охлаждение бензина	I320	36,7	-"-
27.	Охлаждение бензина	I570	40	Данные промышленной эксплуатации АВО на Ново-Куйбышевском НПЗ



I-d диаграмма

влажного воздуха при барометрическом давлении 1000 мм рт. ст.

Фиг. 72

Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения

Лист 54

Приложение 7

Некоторые значения тепловой напряженности и коэффициентов теплопередачи в аппаратах воздушного охлаждения

№ пп	Наименование процесса	Тепловая напряженность q, ккал/час м²	Коэффициент теплопередачи K, ккал/м² час, град. отнесенный к полной поверхности	Источник
1	2	3	4	5
I.	Конденсация и охлаждение фракции н.к.I40°С, газа и водяных паров	I400	36	Гипронефтеман Расчет АВО для установки АВТ-I Омского НПЗ
2.	Конденсация и охлаждение фракции I40-I80°С и водяного пара	II00	20	-"-
3.	Холодильник дизельного топлива	II50	20	-"-
4.	Конденсация и охлаждение паров ксилола	I600	I9	Гипронефтезаводы Расчет АВО для уст-ки 35-I5/5
5.	Конденсация и охлаждение паров ксилола	2040	25	-"-
6.	Конденсация и охлаждение фракции I80°С и водяного пара	I650	30	-"-
7.	Конденсация и охлаждение фракции н.к.I05°С, газа C_4	I700	24,6	-"-
8.	Конденсация и охлаждение фракции I05-I40°С	2200	2I,0	-"-
9.	Конденсация и охлаждение фракции н.к.62°С	I200	25,2	-"-
I0.	Охлаждение фракции I80-220°С	II50	2I,4	-"-
II.	Охлаждение этилбензола	I500	2I,9	-"-
I2.	Конденсация и охлаждение ксилола, водяного пара	I900	25	Гипронефтезаводы Расчет АВО для уст-ки 35-I5/5
I3.	Конденсация и охлаждение толуола	I600	I5	-"-
I4.	Охлаждение ароматических углеводородов	2I00	20	-"-
I5.	Охлаждение газопродуктовой смеси	I040	24,3	Гипронефтеман Расчет АВО для уст-ки гидроочистки Л24-I500
I6.	Охлаждение паровой смеси	I330	2I,7	-"-
I7.	Охлаждение парогазовой смеси	I780	40,2	-"-
I8.	Конденсация и охлаждение паров бензина, газа C_4 и водяного пара	I720	37,2	Гипронефтеман Расчет АВО для уст-ки ЭЛОУ-АВТ Красноводского НПЗ
I9.	Охлаждение дизельного топлива	I050	22,2	-"-
20.	Охлаждение керосина	I260	22,0	-"-
2I.	Конденсация и охлаждение растворителя	I330	4I	Данные промышленной эксплуатации АВО на Ферганском НПЗ
22.	Конденсация и охлаждение растворителя	I450	48,5	-"-
23.	Конденсация и охлаждение растворителя колонны	II70	34,5	-"-
24.	Конденсация и охлаждение растворителя колонны	III0	32,2	-"-
25.	Конденсация и охлаждение бензина	I270	35,2	-"-
26.	Конденсация и охлаждение бензина	I320	36,7	-"-
27.	Охлаждение бензина	I570	40	Данные промышленной эксплуатации АВО на Ново-Куйбышевском НПЗ

1	2	3	4	5
28.	Конденсация и охлаждение бензина	I630	33	Данные промышленной эксплуатации АВО на Ново-Куйбышевском НПЗ
29.	Конденсация и охлаждение водяного пара	I550	47	-"-
30.	Охлаждение средней фракции установки азеотропной перегонки	II00	31	Данные промышленной эксплуатации АВО на Омском НПЗ
31.	Конденсация и охлаждение азеотропной смеси	I920	59	-"-
32.	Конденсация и охлаждение метанола	2000	57	Данные промышленной эксплуатации АВО на Омском НПЗ
33.	Конденсация и охлаждение бензино-лигроиновой фракции	I400	27	Данные промышленной эксплуатации АВО на Ново-Уфимском НПЗ
34.	Конденсация и охлаждение ацетоно-толуольной смеси	II50	33	Данные промышленной эксплуатации АВО на Ново-Уфимском НПЗ
35.	Конденсация и охлаждение керосина	I850	33	Данные промышленной эксплуатации АВО на Красноводском НПЗ
36.	Конденсация и охлаждение керосина	2300	45	-"-
37.	Конденсация и охлаждение бензина	I920	36	Данные промышленной эксплуатации АВО на Одесском НПЗ
38.	Конденсация и охлаждение бензина	2020	28	Данные промышленной эксплуатации АВО на Краснокамском НПЗ
39.	Конденсация и охлаждение бензина	I770	33	Данные промышленной эксплуатации АВО на Куйбышевском НПЗ

ЛИТЕРАТУРА

I. ГОСТ I2854-67* 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-I76-70 Аппараты воздушного охлаждения горизонтального типа. Конструкция и основные размеры. Отраслевой стандарт, ВНИИнефтемаш, I970г.

4. ГОСТ I3934-68* Аппараты воздушного охлаждения зигзагообразные. Основные параметры и размеры. Москва, I968г.

5. ОН26-02-36-67 Аппараты воздушного охлаждения зигзагообразного типа. Конструкция и основные размеры. Гипронефтемаш, I967г.

6. ГОСТ I3935-68* Аппараты воздушного охлаждения малопоточные. Основные параметры и размеры. Москва, I968г.

7. ОН26-02-34-67 Аппараты воздушного охлаждения малопоточного типа. Конструкция и основные размеры. Гипронефтемаш, I967г.

8. Шмеркович В.М. "Аппараты воздушного охлаждения для технологических установок нефтеперерабатывающих и химических заводов". Конструирование, исследование и опыт эксплуатации. Цинтихимнефтемаш, Москва, I967г.

9. "Методика теплового и аэродинамического расчета конденсаторов-холодильников воздушного охлаждения", Гипронефтемаш, I962г.

I0. "Методика теплового и гидравлического расчета типовых кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с вынужденным движением нефтепродуктов". Гипронефтемаш, I963г.

II. Шмеркович В.М. "Аппараты воздушного охлаждения для укрупненных и комбинированных технологических установок", ВНИИОЭНГ, г.Москва, I966г.

I2. Шмеркович В.М. "Применение аппаратов воздушного охлаждения при проектировании нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов". ЦНИИТЭнефтехим, Москва, I97Iг.

I3. Михеев М.А. Основы теплопередачи. Госэнергоиздат, I956г.

I4. Антуфьев В.М. Белецкий Г.С. Теплопередача и аэродинамическое сопротивление трубчатых поверхностей в поперечном потоке. Москва, I948г.

I5. Рамм В.М. Теплообменные аппараты. Госхимиздат, I948г.

I6. Рабинович Г.Г. Расчет нефтеперегонной аппаратуры. Справочник. Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы. Москва, I94Iг., Ленинград

I7. Кутателадзе С.С. Боришанский В.М. Справочник по теплопередаче. Госэнергоиздат, I959г.

I8. Берман С.С. Теплообменные аппараты и конденсационные устройства турбоустановок, Машгиз, Москва, I959г.

I9. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов. Физматиздат, I959г.

20. Хоблер Г. Теплопередача и теплообменники. Госхимиздат, I96Iг.

2I. Бошнякович Ф. Техническая термодинамика. Москва, I955г.

22. Рысин С.А. Вентиляционные установки машиностроительных заводов. Справочник. Государственное научно-техническое издателтство машиностроительной литературы. Москва, I956г.

23. Смирнов С.С. Технология углеводородных газов. Гостоптехиздат, Москва, I946г., Ленинград

24. Научно-технические отчеты Гипронефтемаша по теме 7I-64

25. "Аппараты воздушного охлаждения для технологических установок нефтеперерабатывающей и химической промышленности". Материалы Всесоюзного научно-технического семинара, проведенного в Москве 24-28 октября I966г. ЦИНТИхимнефтемаш, Москва, I967г.

26. Справочники по климату СССР, ч.I-IУ Гидрометеоиздат, Ленинград, I966г.

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

gost.e-ecolog.ru