

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ
НЕФТЯНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ
ВНИИНЕФТЕМАШ

МЕТОДИКА ТЕПЛОВОГО И АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА
АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Зам. директора института

Мамонтов

Г.В. Мамонтов

Зав. научно-исследовательским
отделом теплообменного
оборудования

Петровых

В.И. Петровых

Авторы:

Зав. лабораторией исследования
аппаратов воздушного охлаждения

Марголин

Г.А. Марголин

Ст. научный сотрудник лаборатории
исследования аппаратов воздушного
охлаждения

Вайсман

В.Е. Вайсман

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

Перепечатка и использование
в печати могут производиться
только с разрешения
ВНИИНЕФТЕМАШа

*Таблица
Вукановича
(по Веге)*

1982 г.

П Р Е Д И С Л О В И Е .

Основы расчета отечественных аппаратов воздушного охлаждения (АВО) приведены в ряде работ 1, 2, 3 .

Настоящая методика расчета распространяется на следующие АВО:

- а) малопоточного типа - АЕ1 [4] ;
- б) горизонтального типа - АВГ [5] ;
- в) зигзагообразного типа - АВЗ [6] ;
- г) зигзагообразного типа с двумя вентиляторами - АЕЗ-Д [7] ;
- д) для охлаждения вязких продуктов - АВГ-В [8] ;
- е) для охлаждения высоковязких продуктов - АВГ-ВВП [9]

(аппарат АВГ-ВВП разработан взамен аппарата АВГ-ВВ, серийное производство аппаратов АВГ-ВВП намечается с 1982 года).

При разработке настоящей методики использованы выпуски "Методики теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения", 1971 г., "Методики теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения вязких и высоковязких продуктов", 1971 г., материалы экспериментальных стендовых исследований [11, 12, 13] и исследований аппаратов в промышленных условиях [14] , проводившихся ВНИИНефтемашем, а также данные, опубликованные в периодической печати.

В настоящей методике в отличие от ранее разработанных методик расчета АВО даны рекомендации по выбору коэффициента оребрения труб в зависимости от величины коэффициента теплоотдачи со стороны продукта внутри труб; приведена методика расчета аппаратов типа АВМ, АВГ, АВЗ и АВЗ-Д с коэффициентом оребрения труб 20 и 22; изменена методика первоначального выбора типа АВО, подлежащего расчету в первом приближении; на основе полученной при натурных испытаниях аэродинамической характеристики вентиляторной установки с колесом диаметром 2,8 метра типа ЦАГИ УК-2М определение объемного расхода воздуха дано непосредственно в зависимости от мощности, потребляемой вентилятором.

В настоящей методике приведены все конструктивные параметры АВО, требуемые для расчета, что исключает необходимость параллельного пользования другой технической документацией.

В приложении к методике приведен справочный материал, наиболее часто требуемый при расчетах АВО. Однако его наличие не исчерпывает полностью всех справочных данных, необходимых в каждом конкретном случае расчета.

Размерность всех величин и уравнения, приведенные в настоящей

методике, даны в международной системе единиц СИ. Для удобства практического освоения единиц СИ в приложении 7 приведены соотношения размерностей в единицах СИ с единицами измерения, принятыми в предыдущих выпусках Методик расчета АВО.

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

С выходом настоящей методики утрачивают силу "Методика теплового и аэродинамического расчета АВО", 1971 г. издания и "Методика теплового и аэродинамического расчета аппаратов воздушного охлаждения вязких и высоковязких продуктов", 1971 г.

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

СО Д Е Р Ж А Н И Е

-4-

| | стр |
|---|-----|
| Принятые обозначения | 5 |
| Данные, для расчета аппаратов воздушного охлаждения | 7 |
| Порядок расчета аппаратов воздушного охлаждения | 8 |
| Общие виды аппаратов воздушного охлаждения | 18 |
| Материальное оформление аппаратов воздушного охлаждения | 25 |
| Поверхность теплообмена, количество труб, распределение труб по ходам, площадь сечения ходов аппаратов воздушного охлаждения | 26 |
| Основные геометрические размеры и расположение обрешеченных труб в секциях аппаратов воздушного охлаждения | 33 |
| Зависимость объемного расхода воздуха от мощности, потребляемой вентилятором, для аппаратов типа АВГ, АВЗ, АВЗ-Д, АВГ-В и АВГ-ВВП | 36 |
| Поправочный коэффициент к величине Δt | 43 |
| Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении | 44 |
| Номограмма для определения среднелогарифмического температурного напора | 60 |
| График для определения поправочного коэффициента среднелогарифмического температурного напора при однократном перекрестном токе | 61 |
| График для определения поправочного коэффициента к величине мощности, потребляемой вентилятором | 62 |
| Приложения. | |
| 1. Тепловая характеристика аппаратов воздушного охлаждения | 63 |
| 2. Расчет коэффициента теплоотдачи со стороны продукта | 69 |
| 3. Гидродинамический расчет | 75 |
| 4. Физические параметры воздуха и некоторых продуктов | 77 |
| 5. Ориентировочные значения сопротивлений загрязнений со стороны различных продуктов | 91 |
| 6. Влагосодержание воздуха | 95 |
| 7. Соотношение размерностей в единицах СИ с единицами измерения, принятыми в предыдущих выпусках "Методик расчета АВО" | 96 |
| Литература | 97 |

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ .

- Q - количество передаваемого в АВО тепла, кВт
 \bar{Q} - количество передаваемого в АВО тепла, приходящееся на один градус характеристической разности температур, кВт/К
 q - тепловая характеристика АВО, кВт/К
 $G_{пр}$ - расход охлаждаемого продукта, кг/с
 ΔT_0 - характеристическая разность температур, К
 $T_1, T_2, T_{ср.}$ - температура охлаждаемого продукта начальная, конечная, средняя, К
 $t_1, t_2, t_{ср}$ - температура охлаждающего воздуха начальная, конечная, средняя, К
 Δt_0 - подогрев воздуха, поступающего в вентилятор при нормальных условиях, К ($t_0 = 293$ К, $P = 1013$ ГПа)
 Δt - действительный подогрев воздуха, К
 $K_{\Delta t}$ - коэффициент, учитывающий изменение температуры воздуха в зависимости от высоты местности над уровнем моря и температуры окружающего воздуха
 $T_{ст.вн.}$ - температура внутренней поверхности стенки трубы, К
 θ_1, θ_2 - температурные напоры по концам аппарата, К
 θ - среднелогарифмический температурный напор, К
 $\theta_{ср.}$ - средний температурный напор, К
 $\xi_{\Delta t}$ - поправочный коэффициент при однократном перекрестном токе
 V - объемный расход воздуха, м³/с
 $W_{уз.}$ - скорость воздуха в узком сечении секций, м/с
 W - скорость охлаждаемого продукта в трубах, м/с
 $N_в$ - мощность, потребляемая вентилятором, кВт
 N - мощность на валу электродвигателя, кВт
 η_m - к.п.д. механической передачи
 n - количество вентиляторов в аппарате
 $\alpha_{нп}$ - коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха, отнесенный к полной поверхности оребренной трубы, учитывающий термическое сопротивление материала стенок трубы и поверхности контакта (в биметаллических трубах), Вт/м².К

- 6-
- $\alpha_{вн}$ - коэффициент теплоотдачи со стороны продукта внутри труб, $вт/м^2 \cdot К$
 $K_{нп}$ - коэффициент теплопередачи, отнесенный к полной поверхности оребренной трубы с учетом загрязнений, $вт/м^2 \cdot К$
 $\varrho_{з.вн.}$ - тепловое сопротивление загрязнений с внутренней стороны труб, $м^2 \cdot К/вт$
 B - давление барометрическое, ГПа
 $у$ - высота над уровнем моря, м
 $F_{п}$ - полная поверхность оребренной трубы, аппарата, $м^2$
 $F_{вн}$ - внутренняя поверхность оребренной трубы, $м^2$
 $F_{н}$ - поверхность трубы наружная по основанию ребер, $м^2$
 $\varphi = \frac{F_{н}}{F_{п}}$ - коэффициент оребрения
 $\psi = \frac{F_{п}}{F_{вн}}$ - коэффициент увеличения поверхности
 D - наружный диаметр трубы по оребрению, мм
 h - высота ребра, мм
 $\delta_{ср}$ - средняя толщина ребра, мм
 S - поперечный шаг труб пучка, мм

ДАНИЕ, НЕОБХОДИМЕ ДЛ 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 (напоры) охлаждаемого продукта, скорости, условия пуска, работы и остановок и т.п.).

Для расчета необходимы следующие данные:

1. Количество (расход) охлаждаемого продукта G , кг/с.
2. Температура начала и конца охлаждения продукта T_1 и T_2 , К.
3. Количество передаваемого тепла Q , кВт.
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 P , МПа и допускаемые потери напора в трубах $\Delta P_{вн.}$, Па.

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, обуславливаемому ростом скорости продукта в трубах. Это особенно существенно для жидкостей с малым коэффициентом теплоотдачи (более вязкие продукты).

6. Физические параметры охлаждаемого продукта.
7. Химический состав охлаждаемого продукта.

ПОРЯДОК РАСЧЕТА АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ.

Расчет выполняется методом последовательного приближения.

I. В зависимости от физических параметров охлаждаемого продукта принимается тип аппарата воздушного охлаждения.

Аппараты типа АВМ (рис.1), АВГ (рис.2), АВЗ (рис.3) и АВЗ-Д (рис.4) предназначены для конденсации и охлаждения парообразных, газообразных и жидких сред, применяемых в технологических процессах нефтеперерабатывающей, нефтехимической, химической, газовой и др. отраслей промышленности. Секции этих аппаратов предназначены для охлаждения сред с вязкостью на выходе до $5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$.

Аппараты типа АВГ-В (рис. 5,6) предназначены для охлаждения вязких продуктов (масел, гудронов и др.) с вязкостью на выходе до $2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$.

Аппараты типа АВГ-ВВП (рис. 7) предназначены для охлаждения высоковязких продуктов типа битума или крекинг-остатка.

В таблице I приведены типы выпускаемых в настоящее время АВО, на которые распространяется данная Методика, в зависимости от коэффициента оребрения труб и материального оформления секций.

Таблица I.

Типы аппаратов воздушного охлаждения.

| Тип аппарата | Коэффициент оребрения труб | Материальное исполнение секций | | | | | |
|--------------|----------------------------|--------------------------------|----|----|----|----|-----|
| | | Б1 | Б2 | Б3 | Б4 | Б5 | М1А |
| АВМ | 9; 14,6; 20* | + | + | + | + | + | +** |
| | 22** | + | - | - | - | + | - |
| АВГ | 9; 14,6; 20* | + | + | + | + | + | +** |
| | 22* | + | - | - | - | + | - |
| АВЗ | 9; 14,6; 20* | + | + | + | + | + | +** |
| | 22** | + | - | - | - | + | - |
| АВЗ-Д | 9; 14,6; 20 | + | + | + | + | + | - |
| | 22** | + | - | - | - | + | - |
| АВГ-В | 7,8 | + | + | - | - | - | - |
| АВГ-ВВП | 5,15 | + | - | - | - | - | - |

- + - аппараты изготавливаются;
- - аппараты не изготавливаются;
- * - производство аппаратов будет освоено к 1984 году;
- ** - аппараты изготавливаются по согласованию с заводом-изготовителем.

Зная химический состав охлаждаемого продукта, из табл. 2 с учетом табл. I выбирается тип материального оформления, характеризуемый материалом труб и соответствующими материалами трубных решеток и крышек секций.

2. Определяется расчетная температура воздуха на входе в аппарат t_1 - соответствующая данной местности.

При расчете АВО необходимо обоснованно выбрать расчетную (проектную) температуру воздуха.

При круглогодичной эксплуатации АВО расчетная температура воздуха должна выбираться из условий 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 желательно делать расчет также и для температуры зимнего времени, в том числе и для наименьшей возможной температуры.

Климатические данные для различных местностей СССР приведены в [21].

3. На основании исходных данных определяется характеристическая разность температур ΔT_0 :

$$\Delta T_0 = 0,35 T_1 + 0,65 T_2 - t_1 \quad (1)$$

4. Определяется количество тепла \bar{Q} , приходящее на один градус характеристической разности температур :

$$\bar{Q} = \frac{Q}{\Delta T_0} \quad (2)$$

где Q - общее количество тепла, подлежащее тепловозду, согласно исходным данным, кВт.

5. Учитывая физические параметры охлаждаемого продукта, следует оценить величину предполагаемого коэффициента теплообмена со стороны продукта внутри труб $\alpha_{вн}$.

Трубы с коэффициентом оребрения 14,6 рекомендуется применять по сравнению с трубами с коэффициентом оребрения 1 при значениях $\alpha_{вн}$ выше 500 Вт/м²·К.

Трубы с коэффициентом оребрения 20 и 22 рекомендуется применять по сравнению с трубами с коэффициентом оребрения 9 при значениях свыше $300 \text{ вт/м}^2 \cdot \text{К}$. Трубы с коэффициентом оребрения 14,6 подлежат замене на трубы с коэффициентом оребрения 20 и 22 по мере освоения серийного производства последних.

По рисункам 43 + 47 (приложение I) в зависимости от выбранного коэффициента теплоотдачи со стороны продукта внутри труб определяется тип аппарата, для которого величина тепловой характеристики аппарата q наиболее близка к значению \bar{Q} или $\frac{\bar{Q}}{m}$, где m - количество параллельно подключенных АВО.

6. Для принятого типа аппарата, подлежащего расчету, по таблицам 3 + 9 находятся полная номинальная поверхность теплообмена секции и аппарата F_n , количество труб в секции и аппарате, распределение труб по ходам в секции и площадь сечения труб ходов секции.

Основные геометрические размеры и поперечный шаг в пучке оребренных труб, применяемых в АВО, приведены на рис. 8+11 и в табл. 10.

7. Располагая данными о допустимых потерях напора в трубном пространстве, производят компоновку трубного пространства аппарата, используемого в качестве холодильника. Аппараты, используемые в качестве конденсаторов, рекомендуется применять с одноходовыми секциями. Может осуществляться последовательное и параллельное соединение секций и аппаратов между собой.

8. Задаются объемным расходом воздуха, нагнетаемого осевым вентилятором V , $\text{м}^3/\text{с}$. Зависимость объемного расхода воздуха от мощности, потребляемой вентилятором для аппаратов типа АВГ^{АВЗ}, АВЗ-Д, АВГ-В и АВГ-ВВП приведена на рис. 12+22. Объемный расход воздуха, нагнетаемого вентилятором, и мощность, потребляемая вентилятором, для аппаратов типа АВМ приведена в табл. II.

Таблица II.

Объемный расход воздуха и мощность, потребляемая вентилятором, аппаратов типа АВМ.

| Коэффициент оребрения труб | Объемный расход воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$ | | | Мощность, кВт | | |
|----------------------------|--|------|------|---------------|-----|-----|
| | Ч и с л о р я д о в т р у б | | | | | |
| | 4 | 6 | 8 | 4 | 6 | 8 |
| 9 | 6,20 | 5,75 | 5,33 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |
| 14,6 | 5,75 | 5,11 | 4,58 | 1,9 | 2,0 | 2,1 |
| 20 | 5,28 | 4,67 | 4,22 | 2,0 | 2,1 | 2,2 |
| 22 | 6,44 | 5,91 | 5,36 | 1,8 | 1,9 | 2,0 |

Приведенные на рис. 12+22 и в таблице II значения объемного расхода воздуха соответствуют параметрам воздуха при нормальных условиях ($t = 293 \text{ K}$; $P = 1013 \text{ Па}$).

Аппараты типа АВГ, АВЗ-Д, АВГ-В и АВГ-ВВП комплектуются приводами вентиляторов от тихоходных электродвигателей мощностью 22, 30 и 37 квт. До полного освоения серийного производства тихоходных электродвигателей аппараты могут изготавливаться также с редукторными приводами с электродвигателями мощностью 22, 30 и 40 квт.

Аппараты типа АВЗ комплектуются приводами вентиляторов от тихоходных электродвигателей мощностью 37, 75 и 90 квт.

Установка электродвигателя большей мощности приводит к увеличению расхода воздуха и сокращению поверхности аппаратов, но увеличивает расход электроэнергии. Анализ и расчеты показывают, что оптимальные величины расхода воздуха должны обеспечивать скорость воздуха в узком сечении секций АВО в пределах 6 - 8 м/с [2].

9. Определяется повышение температуры воздуха Δt_0 (при нормальных условиях).

$$\Delta t_0 = \frac{Q}{n \cdot K_{ж} \cdot V \cdot 1,211} \quad (3)$$

- где Q - количество передаваемого в аппарате тепла, квт;
 V - объемный расход воздуха на один вентилятор, м³/с;
 n - количество вентиляторов в аппарате принимается в зависимости от типа аппарата и длины труб согласно табл. 12;
 $K_{ж}$ - коэффициент, учитывающий наличие жалюзи;
 $K_{ж} = 1$ - при отсутствии жалюзи;
 $K_{ж} = 0,94$ - при наличии жалюзи.

Таблица 12.

Количество вентиляторов^ж в АВО.

| Тип аппарата | Длина труб, м | Количество вентиляторов |
|--------------|---------------|-------------------------|
| АВМ | 1,5 | 1 |
| | 3,0 | 2 |
| АВГ | 4,0 | 1 |
| | 8,0 | 2 |
| АВЗ | 6,0 | 1 |
| АВЗ-Д | 8,0 | 2 |
| АВГ-В | 4,0 | 1 |
| | 8,0 | 2 |
| АВГ-ВВП | 4,0 | 1 |

^ж В аппаратах типа АВМ применены осевые вентиляторы типа 06-300 №8:

диаметр колеса - 0,8 м; число лопастей - 3; частота вращения - 1440 об/мин. В аппаратах типа АВГ, АВЗ-Д, АВГ-В и АВГ-ВВП применены осевые вентиляторы типа ЦАГИ УК-2М: диаметр колеса - 2,8 м; число лопастей - 8; частота вращения - 425 об/мин. В аппаратах типа АВЗ применены осевые вентиляторы типа ЦАГИ УК-2М: диаметр колеса - 5,0 м; число лопастей - 4; частота вращения - 250 об/мин.

10. Определяется поправочный коэффициент к величине Δt_0 в зависимости от высоты местности над уровнем моря (барометрического давления) и температуры окружающего воздуха $K_{\Delta t}$ по рис. 23.

11. Определяется повышение температуры воздуха для данных условий.

$$\Delta t = \Delta t_0 \cdot K_{\Delta t} \quad (4)$$

12. Определяется температура воздуха на выходе из аппарата.

$$t_2 = t_1 + \Delta t \quad (5)$$

13. Определяется средняя температура воздуха.

$$t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (6)$$

14. Определяется скорость воздуха в узком сечении секции АВО.

$$W_{уз.} = \frac{A \cdot V \cdot K_{*}}{\rho_{t_{cp}}} \quad (7)$$

где $\rho_{t_{cp}}$ - плотность воздуха при температуре t_{cp} , кг/м³;
 А - числовой коэффициент, зависящий от типа аппарата и коэффициента оребрения труб, приведен в таблице 13.

Таблица 13.

Значения коэффициента А. *ситуация взали*

| Коэффициент оребрения труб | Коэффициент А, кг/м ⁵ | | | | | |
|----------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|---------|
| | Тип аппарата | | | | | |
| | АВМ | АВГ | АВЗ | АВЗ-Д | АВГ-В | АВГ-ВВП |
| 9 | 1,908 | 0,225 | 0,075 | 0,109 | - | - |
| 14,6 | 1,865 | 0,217 | 0,074 | 0,106 | - | - |
| 20 | 1,969 | 0,229 | 0,079 | 0,112 | - | - |
| 22 | 1,477 | 0,172 | 0,059 | 0,084 | - | - |
| 7,8 | - | - | - | - | 0,326 | - |
| 5,15 | - | - | - | - | - | 0,342 |

15. Определяется коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха по рис. 24-39, построенным на основании зависимостей, полученных в результате экспериментальных исследований. Коэффициент теплоотдачи включает термическое сопротивление материала стенок трубы и поверхности контакта (в биметаллических трубах).

16. Коэффициент теплоотдачи со стороны продукта внутри труб определяется по известным формулам, применяемым для расчета других видов теплообменных аппаратов (приложение 2, 15, 16, 17). Физические параметры некоторых продуктов приведены в приложении 4.

17. Определяется коэффициент теплопередачи с учетом загрязнений внутри труб

$$K_{нп} = \frac{1}{\frac{\psi}{\alpha_{вн}} + \frac{1}{\alpha_{нп}} + \psi \cdot r_{з.вн}} \quad (8)$$

где ψ - коэффициент увеличения поверхности, зависящий от типа оребрения и материального исполнения труб, приведен в таблице 10;

$r_{з.вн}$ - тепловое сопротивление загрязнений внутри труб. Значения $r_{з.вн}$ рекомендуется принимать на основе практических данных, накопленных при промышленной эксплуатации аппаратов. Ориентировочные значения $r_{з.вн}$ приведены в приложении 5.

Если при расчете аппаратов типа АБМ, АВГ и АВЗ-Д с накатными биметаллическими оребренными трубами ($\psi = 9; 14,6$ и 20) температура

$T_{ст.вн} = T_{ср} - \frac{Q\psi}{\alpha_{вн} F_n} > 373 \text{ K}$, то для определения величины $K_{нп}$ необходимо пользоваться следующей формулой (по данным В.Г. Зайцева, МЭИ):

$$K_{нп} = \frac{1}{\frac{\psi}{\alpha_{вн}} + \frac{1}{\alpha_{нп}} + \psi \cdot r_{з.вн} + c\psi(T_{ст.вн} - 368)} \quad (8a)$$

где $c = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{вт}$ для труб материального исполнения Б1 и Б2;
 $c = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{вт}$ для труб материального исполнения Б3 и Б4;
 $c = 0,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{вт}$ для труб материального исполнения Б5.

18. Средне-логарифмический температурный напор θ определяется по номограмме рис. 40 или расчетом

$$\theta = \frac{\theta_1 - \theta_2}{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}} \quad (9)$$

где θ_1 и θ_2 - температурные напоры по концам аппарата. В формуле (9) всегда берутся разность и отношение больших и меньших величин.

$$\theta_1 = T_1 - t_2 \quad (10) \quad \theta_2 = T_2 - t_1 \quad (11)$$

T_1 и T_2 - температуры охлаждаемого продукта соответственно на входе в аппарат и выходе из аппарата;

t_1 и t_2 - температуры охлаждающего воздуха соответственно на входе в аппарат и на выходе из аппарата.

При конденсации продукта выражение средне-логарифмического температурного напора приобретает вид

$$\theta = \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{\theta_1}{\theta_2}} \quad (12)$$

При отношении $\frac{\theta_1}{\theta_2} < 1,7$ (где θ_1 всегда большая, а θ_2 всегда меньшая величина), можно пользоваться выражением средне-логарифмического напора (погрешность при этом составляет менее 3 %):

$$\theta = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2}$$

19. Вычисляются вспомогательные величины

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad (13) \quad \rho = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - T_2} \quad (14)$$

По этим данным на рис. 41 находят поправочный коэффициент для аппарата, одноходового по трубному пространству, $\epsilon_{\Delta t_{n=1}}$.

При числе ходов по трубному пространству от двух до четырех, поправочный коэффициент находится по формуле

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

где $n = 2 + 4$ - число ходов продукта.

При большем числе ходов продукта $\epsilon_{\Delta t} = 1$.

20. Определяется средний температурный напор

$$\theta_{cp} = \theta \cdot \epsilon_{\Delta t} \quad (16)$$

21. Определяется расчетная поверхность теплообмена

$$F_p = \frac{Q}{K_{np} \cdot \theta_{cp}} \quad (17)$$

22. Определяется запас поверхности теплообмена

$$n = \frac{F_n - F_p}{F_p} \cdot 100\% \quad (18)$$

где F_n - полная поверхность выбранного аппарата.

При расхождении F_p и F_n производится расчет во втором прибли-

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

Дальнейший расчет АВО ведется после достижения удовлетворительной сходимости между F_p и F_n .

23. Определяются потери напора в аппарате и сопоставляются с заданными допустимыми потерями напора. Методика гидродинамического расчета АВО приведена в приложении 3.

В случае, если потери напора превышают допустимые, необходимо изменить компоновку трубного пространства аппарата. Уменьшение числа ходов продукта и увеличение числа рядов труб в аппарате приводят к снижению скорости продукта в трубах, что снижает потери напора, одновременно уменьшается величина коэффициента теплоотдачи со стороны продукта $\alpha_{вн}$ и увеличивается требуемая поверхность теплообмена F_p .

В случае изменения компоновки аппарата по трубному пространству, необходимо вновь произвести тепловой расчет.

24. Определяется потребляемая мощность на валу электродвигателя (для аппаратов с редукторными приводами).

$$N = \frac{N_в}{\eta_n} \quad (19)$$

где N - мощность, потребляемая вентилятором ;

η_n - к.п.д. механической передачи ; рекомендуется принимать $\eta_n = 0,83$.

Потребляемая мощность на валу электродвигателя вентилятора зависит от средней температуры охлаждающего потока воздуха $t_{ср}$, которая влияет на положение аэродинамической характеристики сети АВО, и от температуры окружающего воздуха на входе в вентилятор t_1 , которая влияет на положение аэродинамической характеристики вентилятора. Анализ и расчеты показывают, что в данном случае влиянием температуры $t_{ср}$ на изменение мощности можно пренебречь (изменение мощности не превышает $\pm 3\%$). Влияние температуры окружающего воздуха t_1 на изменение мощности рекомендуется учитывать коэффициентом K_N , приведенным на рис. 42.

С учетом вышеизложенного, формула (19) для потребляемой мощности на валу электродвигателя для аппаратов с редукторным приводом примет вид :

$$N = \frac{N_в \cdot K_N}{\eta_n} \quad (20)$$

Потребляемая мощность на валу электродвигателя для аппаратов с тихоходными электродвигателями и аппаратов типа АВМ будет равна :

$$N = N_в \cdot K_N \quad (21)$$

25. В случае необходимости производится расчет увлажнения воздуха.

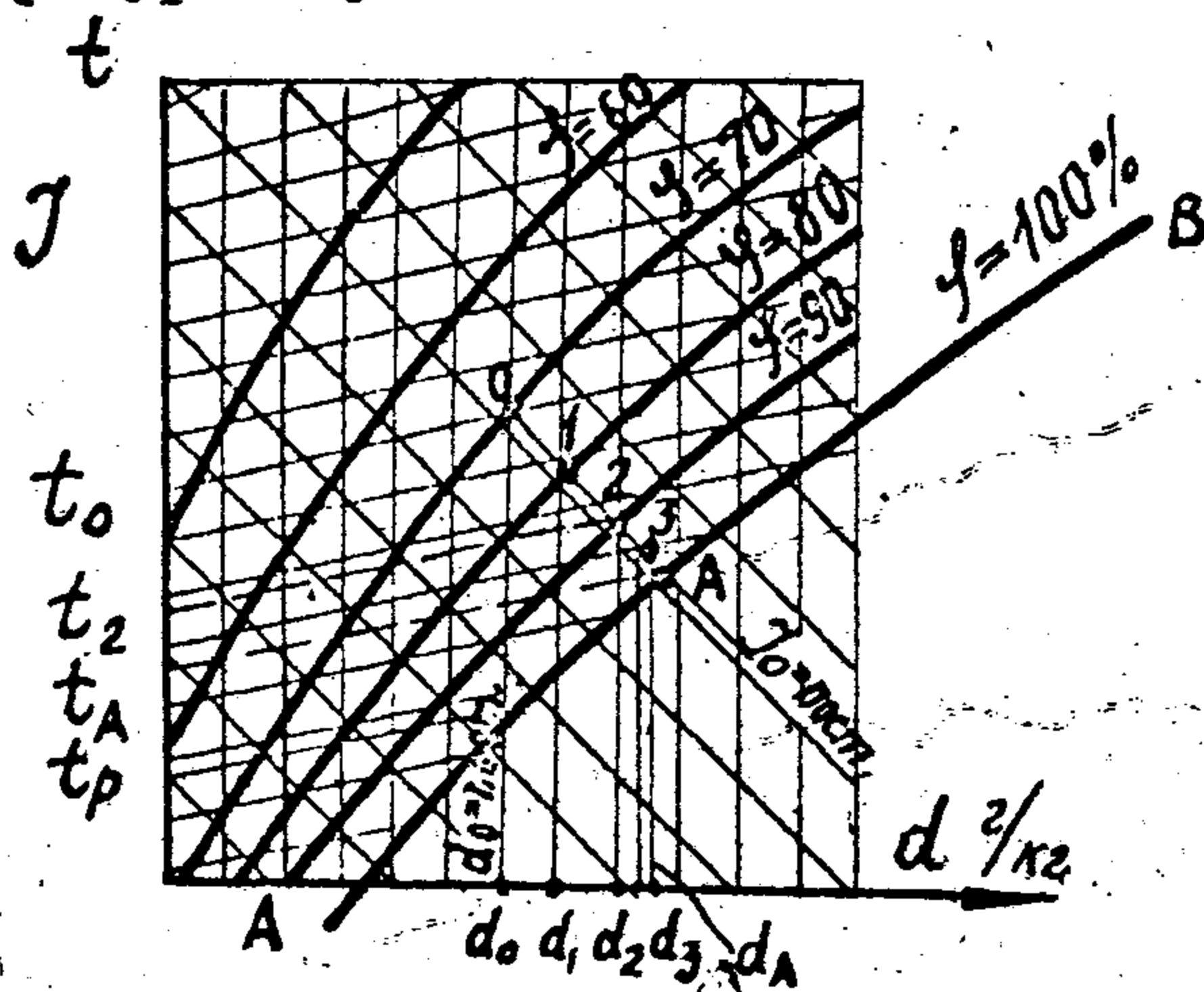
Увлажнение воздуха обычно используется в течение короткого (примерно 5%) периода времени в году, когда температура окружающего воздуха превышает выбранную расчетную температуру по сухому термометру.

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 $\mathcal{J}-d$ диаграмме влажного воздуха (приложение 6, рис. 63). Диаграмма $\mathcal{J}-d$ для различных значений барометрического давления приводится также в справочных и учебных пособиях по вентиляции.

При увлажнении воздуха, т.е. при распыливании воды в потоке воздуха при определенных условиях (когда температура воздуха, а также температура воды, ее количество и степень распыла соответствуют предъявленным требованиям), процесс изменения состояния воздуха идет из т.0 (соответствующей воздуху с температурой по сухому термометру t_0 , относительной влажностью $\mathcal{J} = 70\%$ и влагосодержанием d_0) при постоянном теплосодержании $\mathcal{J}_0 = \text{пост.}$, но с понижением температуры и увеличением относительной влажности.



В зависимости от количества и степени распыла воды состояние воздуха может характеризоваться в $\mathcal{J}-d$ диаграмме точками 1, 2, 3 и т.д. на линии $\mathcal{J}_0 = \text{пост.}$. Этим точкам соответствует влагосодержание d_1, d_2, d_3 .

При увеличении относительной влажности до $\mathcal{J} = 100\%$ 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 $\Delta d = d_A - d_0$ (кг. воды/кг. воздуха).

Таким образом, для увлажнения G кг. воздуха из состояния т.0 до состояния т.2 (т.е. от $\varphi = 70\%$ до $\varphi = 90\%$) потребуется распылить $G\beta (d_2 - d_0)$ кг. воды. При этом температура воздуха понизится до t_2 .

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

Если температура воды выше, чем температура воздуха по мокрому термометру ($t_\beta > t_m$), то процесс изменения состояния воздуха идет с повышением его теплосодержания (т.е. в $\mathcal{I}-d$ диаграмме по линиям, лежащим выше линии $\mathcal{I}_0 = \text{пост.}$).

Если температура воды ниже, чем температура воздуха по мокрому термометру ($t_\beta < t_m$), то процесс изменения состояния воздуха идет с понижением его теплосодержания (т.е. в $\mathcal{I}-d$ диаграмме по линиям, лежащим ниже линии $\mathcal{I}_0 = \text{пост.}$).

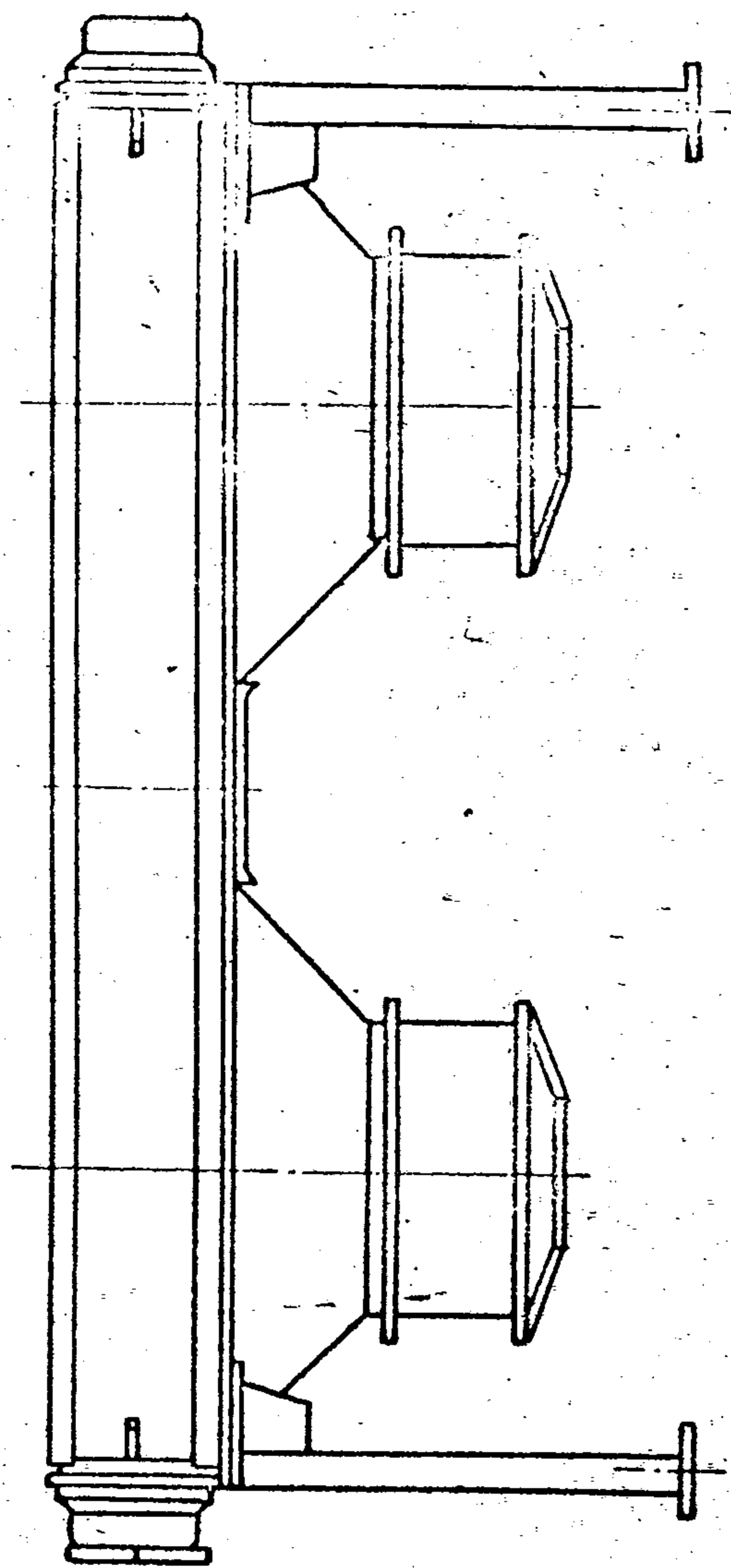
В проектных расчетах, если заранее не известна температура воды (t_β) расходуемой на увлажнение воздуха, следует принимать $t_\beta = t_m$.

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) $5,0 \leq \text{pH} \leq 8,5$;
- 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 кг.экв/л ;
- е) отсутствие взвесей твердых веществ и микроорганизмов.

с трубами длиной 3 м



с трубами длиной 1.5 м

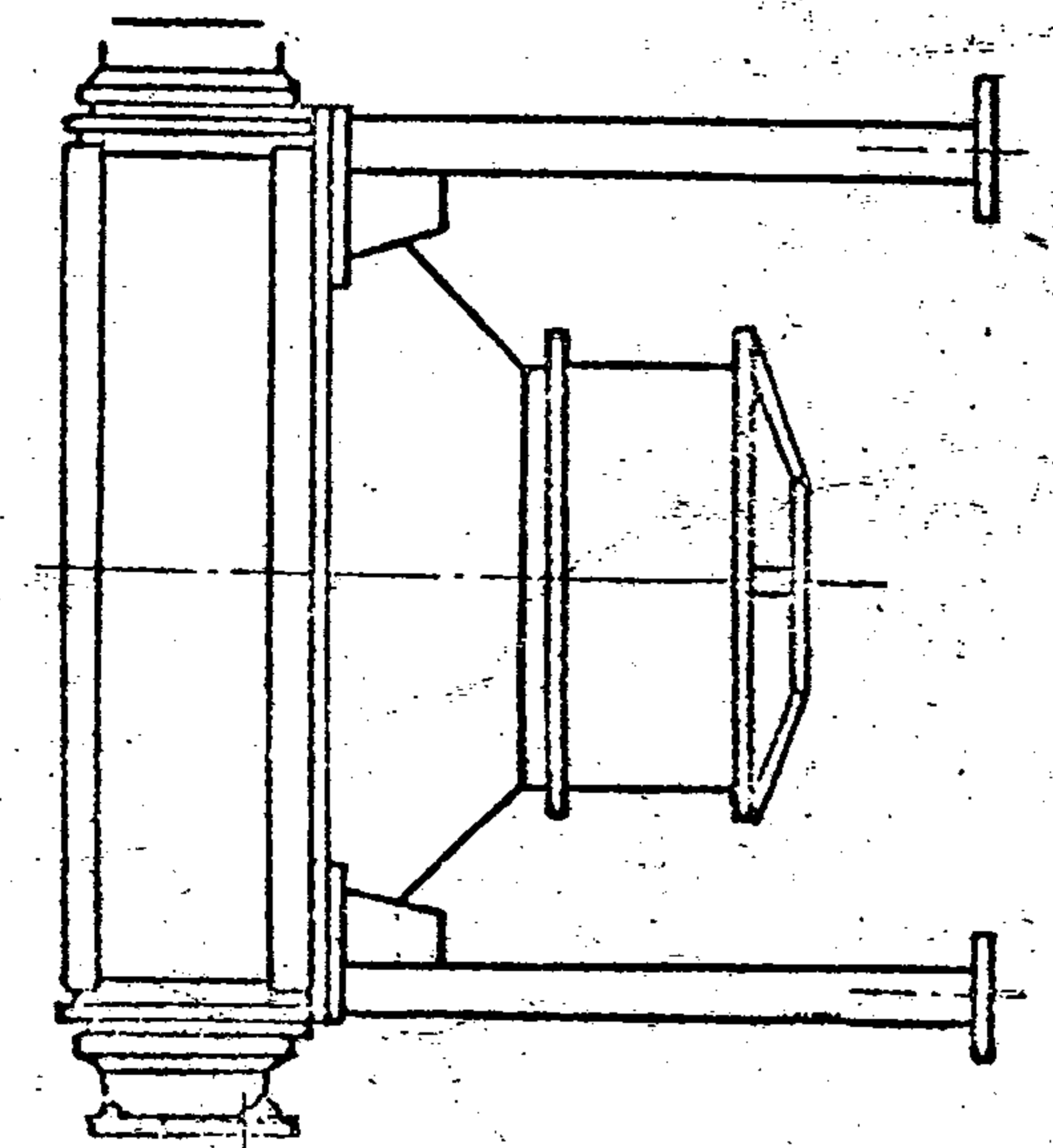


Рис. 1 Аппарат воздушного охлаждения малопоточный.

с трубами длиной 4м

с трубами длиной 8м

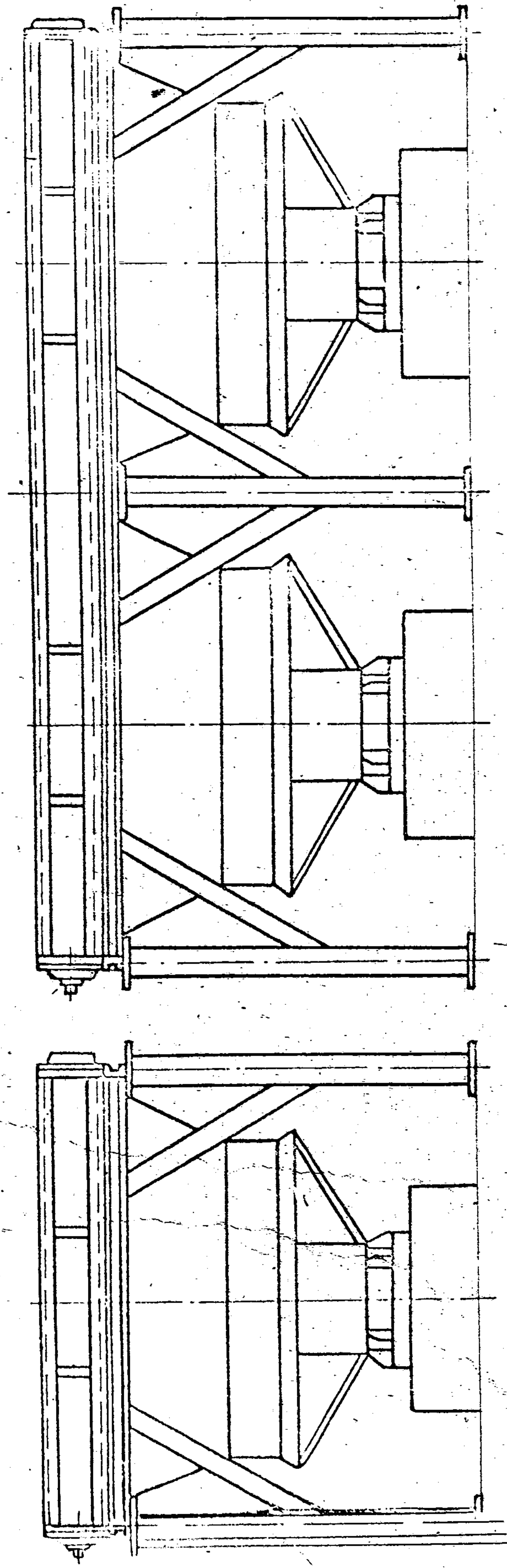


Рис. 2 Аппарат воздушного охлаждения горизонтального типа.

без жалюз

с жалюз

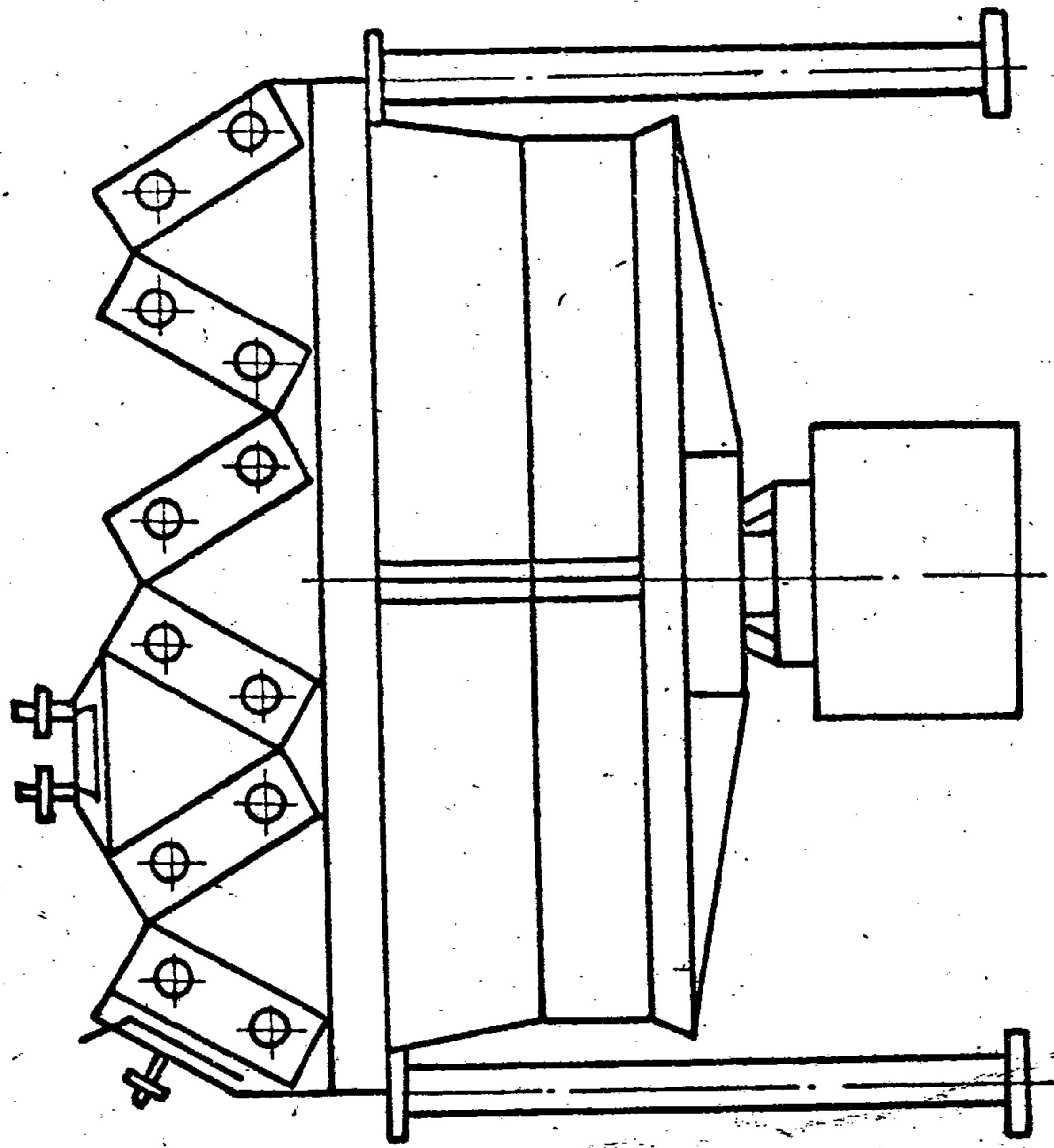


Рис. 3 Аппарат воздушного охлаждения зигзагообразного типа.

Аппарат воздушного охлаждения двигателя с двумя вентиляторами

с жалюзи

без жалюзи

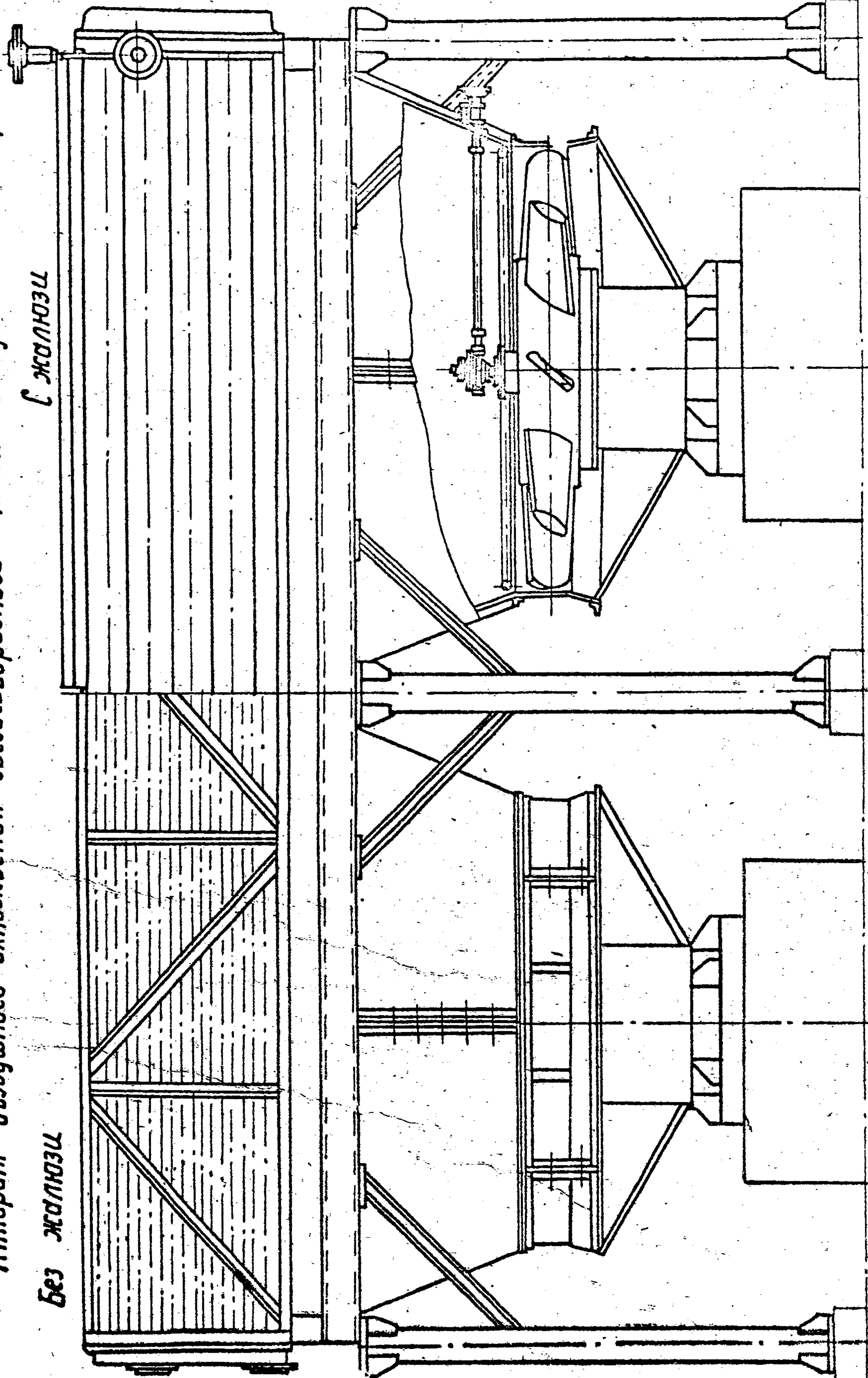


Рис. 4

Аппарат воздушного охлаждения вязких продуктов с трубами длиной 4 м

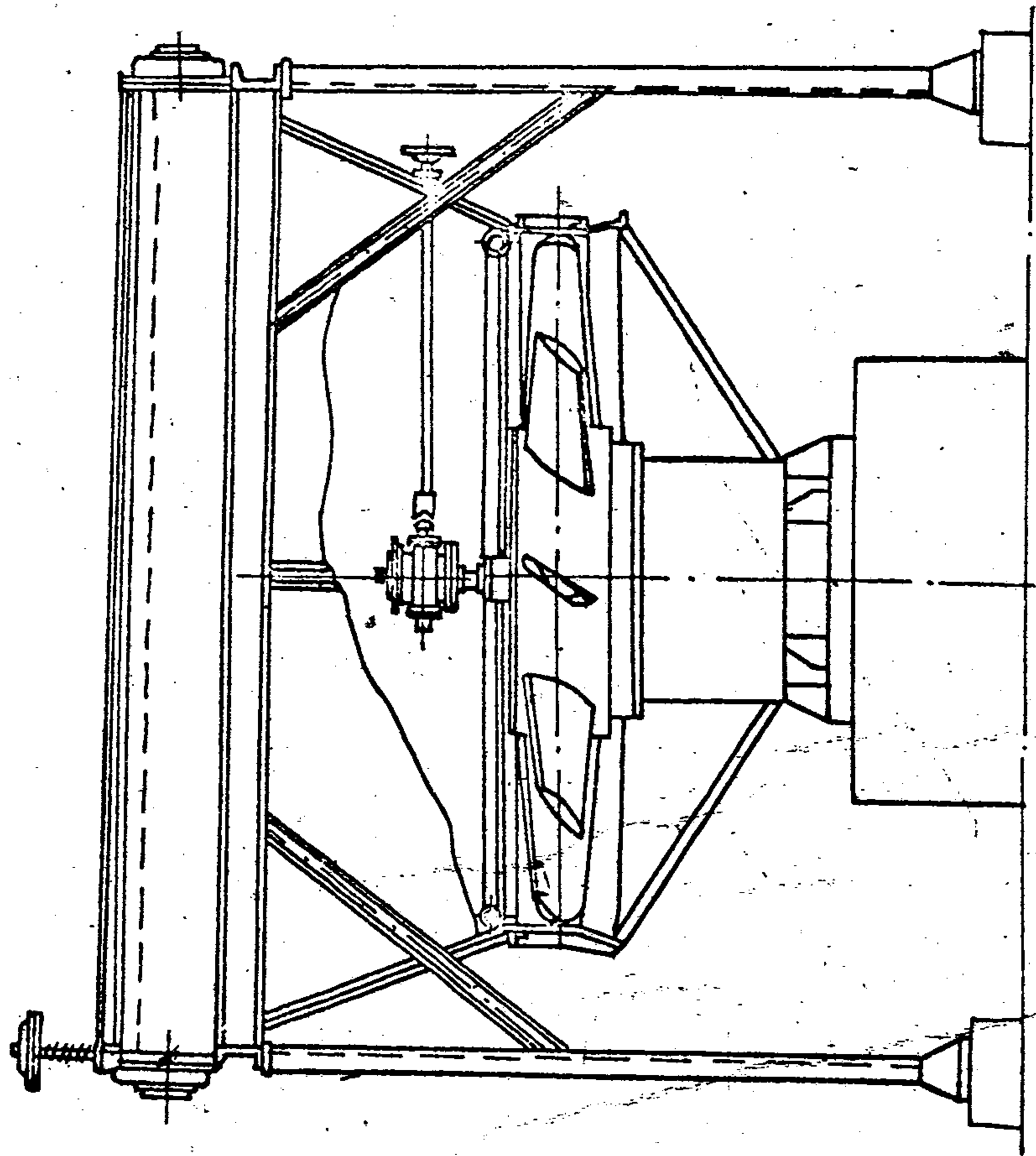


Рис. 5

Аппарат воздушного охлаждения вязких продуктов
с трубами длиной 8 м

без жалюз

с жалюз

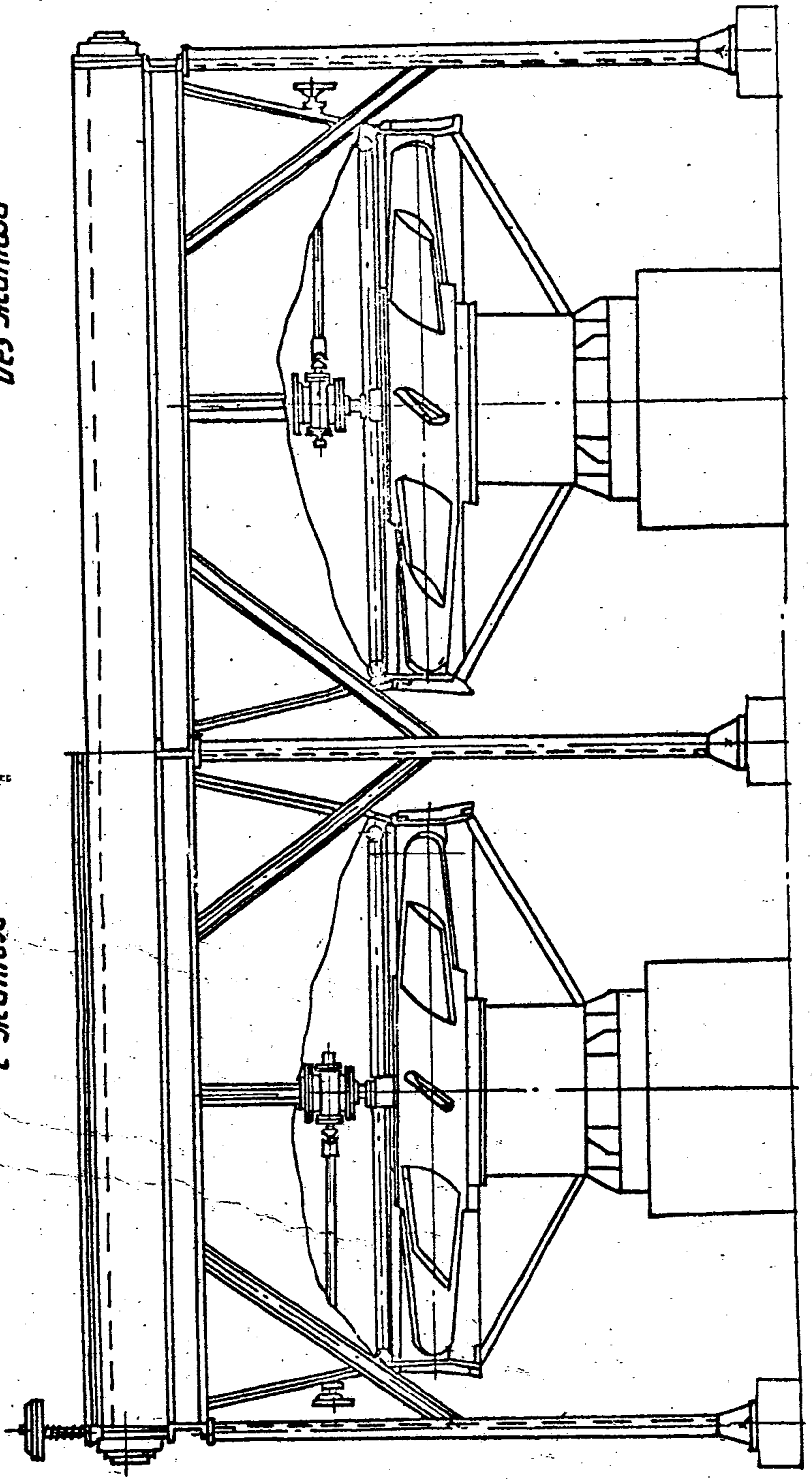


Рис. 6

А аппарат воздушного охлаждения высокотемпературных продуктов

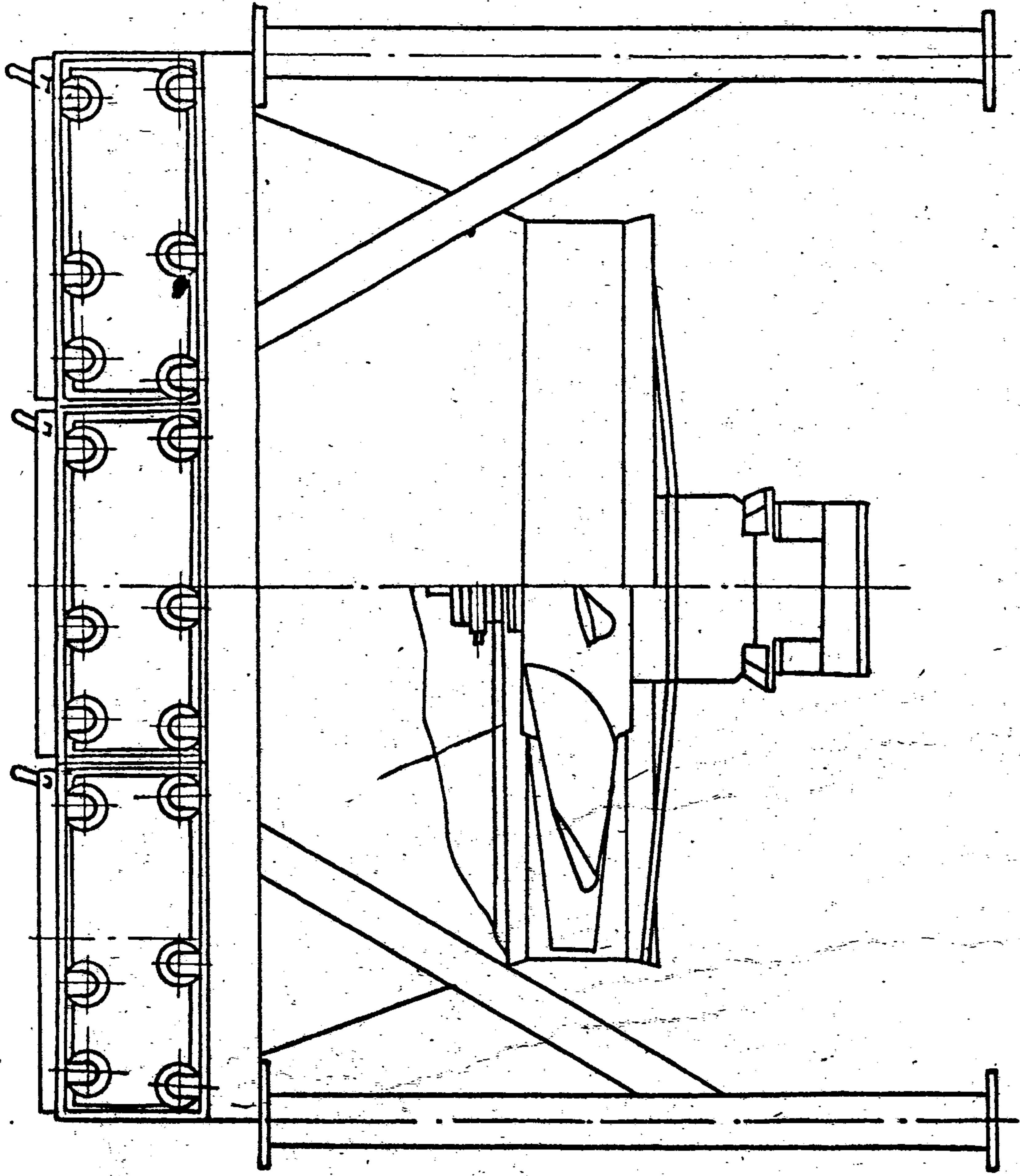


Рис. 7

Таблица 2

Материал основных деталей секций.

| Материал исполне- ние секции | Давление условное, МПа | Рабочая температура в секции, К | Материал | | | |
|---------------------------------------|-------------------------------------|---|---|--|---|---|
| | | | Теплообменных труб | | Решеток трубных | Крышек |
| | | | несущих | арбрения | | |
| Б1 | 0,6; 1,6; 2,5; 4,0; 6,4 | от 243 до 573 | Сталь 10; 20 ГОСТ 8733-74 ГОСТ 5.2006-73 | Труба алюминиевая АД1 ТУ 1-3-67-74 (заготовка); или лента алюминиевая | Сталь 16ГС или 09Г2С или 10Г2С1 ГОСТ 5520-69 | Сталь 20Л-П или 25Л-П ГОСТ 977-75 и ТУ 26-02-19-75 |
| Б2 | | | Сталь 15Х5М 15Х8(Х8) ГОСТ 550-75 или ГОСТ 5.2006-73 | Труба алюминиевая АД1 ТУ 1-3-67-74 (заготовка) | Сталь 15Х5М ГОСТ 7350-68 или ТУ 14-132-65-73 | Сталь 20Х5МЛ 20Х5ТЛ ГОСТ 2176-67 ТУ 26-02-19-75 |
| Б3 | | Сталь 12Х18Н10Т или 08Х22Н6Т ГОСТ 9941-72 | Сталь 12Х18Н10Т или 08Х22Н6Т ГОСТ 7350-65 или ТУ 14-1-394-72 ТУ 24-3-496-75 | | Сталь 10Х18Н9ТЛ ГОСТ 2176-67 и ТУ 26-02-19-75 | |
| Б4 | | Сталь 10Х17Н13М2Т ГОСТ 9941-72 | Сталь 10Х17Н13М2Т ГОСТ 7350-66 или ТУ 14-1-394-72 | | | |
| Б5 | | от 243 до 523 | Латунь ЛАМц 17-2-0,05 ГОСТ 494-76 ГОСТ 21646-76 | Труба алюминиевая АД1 ТУ 1-3-67-74 (заготовка) или лента алюминия вая | Сталь 16ГС, 09Г2С, 10Г2С1; ГОСТ 5520-69 с лакирующим слоем из латуни Л0-62-1, Л-63 ГОСТ 15527-70 | Сталь 20Л-П или 25Л-П ГОСТ 977-75 и ТУ 26-02-19-75 |
| М1А | от 0,6 до 1,6 | от 243 до 423 | Труба алюминиевая АД1 ТУ 1-3-67-74 (заготовка) | Алюминий АМг 5, АМг 6 ГОСТ 17232-72 | ТУ 26-02-19-75 | |

Таблица 5
 Полная поверхность теплообмена аппаратов типа АВМ, АВГ, АВЗ и АВЗ-Д

| Тип аппарата | Кол-во секций в аппарате | Длина труб, м | Кэф. передачи | Номинальная полная поверхность теплообмена, м ² *) | | | | | | | | |
|--------------|--------------------------|---------------|---------------|---|----------|--------|----------|------|------|------|------|------|
| | | | | Число рядов труб | | | | | | | | |
| | | | | 4 | | 6 | | 8 | | | | |
| секции | аппарата | секции | аппарата | секции | аппарата | секции | аппарата | | | | | |
| АВМ | 1 | 1,5 | 9 | 105 | 160 | 160 | 160 | 210 | 210 | 210 | | |
| | | | 14,6 | 150 | 225 | 225 | 225 | 300 | 300 | 300 | | |
| | | | 20 | 190 | 285 | 285 | 285 | 380 | 380 | 380 | | |
| | 3,0 | 1 | 3,0 | 22 | 200 | 300 | 300 | 300 | 400 | 400 | 400 | |
| | | | | 9 | 220 | 325 | 325 | 325 | 440 | 440 | 440 | |
| | | | | 14,6 | 310 | 465 | 465 | 465 | 620 | 620 | 620 | |
| | | 3 | 4,0 | 4,0 | 20 | 390 | 585 | 585 | 585 | 780 | 780 | 780 |
| | | | | | 22 | 420 | 630 | 630 | 630 | 840 | 840 | 840 |
| | | | | | 9 | 290 | 440 | 440 | 440 | 580 | 580 | 580 |
| АВГ | 3 | 4,0 | 14,6 | 415 | 620 | 620 | 620 | 830 | 830 | 830 | | |
| | | | 20 | 505 | 760 | 760 | 760 | 1010 | 1010 | 1010 | | |
| | | | 22 | 560 | 840 | 840 | 840 | 1120 | 1120 | 1120 | | |
| | 3 | 8,0 | 8,0 | 9 | 590 | 880 | 880 | 880 | 1165 | 1165 | 1165 | |
| | | | | 14,6 | 830 | 1260 | 1260 | 1260 | 1700 | 1700 | 1700 | |
| | | | | 20 | 1025 | 1540 | 1540 | 1540 | 2050 | 2050 | 2050 | |
| АВЗ | 6 | 6,0 | 22 | 1130 | 1700 | 1700 | 1700 | 2260 | 2260 | 2260 | | |
| | | | 9 | 440 | 665 | 665 | 665 | 885 | 885 | 885 | | |
| | | | 14,6 | 620 | 940 | 940 | 940 | 1250 | 1250 | 1250 | | |
| | 6 | 6,0 | 6,0 | 20 | 740 | 1110 | 1110 | 1110 | 1480 | 1480 | 1480 | |
| | | | | 22 | 820 | 1225 | 1225 | 1225 | 1640 | 1640 | 1640 | |
| | | | | 9 | 565 | 850 | 850 | 850 | 1100 | 1100 | 1100 | |
| | | 6 | 8,0 | 8,0 | 14,6 | 800 | 1200 | 1200 | 1200 | 1580 | 1580 | 1580 |
| | | | | | 20 | 1000 | 1500 | 1500 | 1500 | 1900 | 1900 | 1900 |
| | | | | | 22 | 1100 | 1600 | 1600 | 1600 | 2000 | 2000 | 2000 |

*) Действительная полная поверхность теплообмена может отличаться от номинальной на ±5%

Распределение труб по ходам в секции аппаратов АВМ и АВГ Таблица 4

| Число ходов | Коэф. орб-рения | Количество труб на один ход | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-----------------|-----------------------------|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 4 | | | | | | | | | | | | 8 | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Номера ходов по потоку | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| 1 | 9 | 94 | | | | 141 | | | | | | 188 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 146:20:22 | 82 | | | | 123 | | | | | | 164 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 9 | 47 | 47 | | | 71 | 70 | | | | | 94 | 94 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 146:20:22 | 41 | 41 | | | 62 | 61 | | | | | 82 | 82 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 9 | 71 | 23 | | | 94 | 47 | | | | | 118 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 146:20:22 | 62 | 20 | | | 82 | 41 | | | | | 103 | 61 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 9 | | | | | 47 | 47 | 47 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 146:20:22 | | | | | 41 | 41 | 41 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 30 | 9 | | | | | 71 | 47 | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 146:20:22 | | | | | 62 | 41 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 9 | 24 | 23 | 24 | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 146:20:22 | 21 | 20 | 21 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 40 | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 146:20:22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 9 | | | | | 24 | 23 | 24 | 23 | 24 | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 146:20:22 | | | | | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 146:20:22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 24 | 23 | 24 | 23 | 24 | 23 | 24 | 23 | 24 | 23 | 24 | 23 | 24 | 23 | 24 | 23 | 24 | 23 | 24 | 23 | 24 | 23 | 24 | 23 | 24 | 23 | 24 |
| | | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 | 20 | 21 |

*1) - имеется только в аппаратах АВГ.

Таблица 5
 Распределение труб по ходам в секции аппарата АВЗ-Д.

| Число ходов | Кэффи-циент | Кол-во труб на один ход | Кол-во труб рядов труб | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--------------|-------------------------|------------------------|----|----|----|----|---|---|-----|----|----|----|----|----|----|
| | | | Номера ходов по потоку | | | | | | | | | | | | | |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | | | | |
| 1 | 9 | 92 | | | | | | | | 139 | | | | | | |
| | 14,6; 20; 22 | 80 | | | | | | | | 121 | | | | | | |
| 2 | 9 | 48 | 44 | | | | | | | 75 | 64 | | | | | |
| | 14,6; 20; 22 | 44 | 36 | | | | | | | 63 | 58 | | | | | |
| 2а | 9 | 60 | 32 | | | | | | | 93 | 46 | | | | | |
| | 14,6; 20; 22 | 56 | 24 | | | | | | | 87 | 34 | | | | | |
| 4 | 9 | 24 | 24 | 24 | 20 | | | | | 39 | 36 | 36 | 28 | | | |
| | 14,6; 20; 22 | 24 | 20 | 20 | 16 | | | | | 33 | 30 | 30 | 28 | | | |
| 4а | 9 | 36 | 24 | 16 | 16 | | | | | 51 | 36 | 24 | 28 | | | |
| | 14,6; 20; 22 | 36 | 20 | 12 | 12 | | | | | 51 | 30 | 18 | 22 | | | |
| 8 | 9 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 8 | 8 | 21 | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 | 10 |
| | 14,6; 20; 22 | 12 | 12 | 12 | 12 | 8 | 8 | 8 | 8 | 21 | 18 | 18 | 18 | 12 | 12 | 10 |

Продолжение табл. 7

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----|--------|--------|--------|
| 51 | 0,0160 | 0,0177 | 0,0194 |
| 52 | 0,0163 | 0,0180 | 0,0198 |
| 56 | 0,0176 | 0,0194 | 0,0213 |
| 58 | 0,0182 | 0,0202 | — |
| 60 | 0,0188 | 0,0208 | 0,0228 |
| 61 | 0,0189 | 0,0211 | 0,0232 |
| 62 | 0,0192 | 0,0215 | 0,0234 |
| 63 | 0,0198 | 0,0218 | 0,0240 |
| 64 | — | 0,0224 | — |
| 66 | — | 0,0229 | 0,0251 |
| 68 | — | 0,0235 | 0,0258 |
| 70 | — | 0,0242 | 0,0266 |
| 71 | — | 0,0246 | 0,0270 |
| 72 | 0,0226 | 0,0249 | 0,0274 |
| 75 | — | 0,0260 | 0,0285 |
| 76 | 0,0239 | 0,0263 | 0,0289 |
| 80 | 0,0248 | 0,0280 | — |
| 82 | 0,0258 | 0,0284 | 0,0312 |
| 87 | 0,0273 | 0,0301 | 0,0331 |
| 88 | 0,0276 | 0,0305 | 0,0334 |
| 92 | 0,0289 | 0,0319 | 0,0350 |
| 93 | — | 0,0322 | 0,0354 |
| 94 | — | 0,0326 | 0,0357 |
| 96 | — | 0,0332 | 0,0365 |
| 103 | 0,0323 | 0,0357 | 0,0391 |
| 112 | 0,0352 | 0,0388 | 0,0426 |
| 118 | — | 0,0408 | 0,0448 |
| 120 | — | 0,0416 | 0,0456 |
| 121 | 0,0379 | 0,0419 | — |
| 123 | 0,0386 | 0,0426 | 0,0467 |
| 139 | — | 0,0480 | — |
| 141 | — | 0,0488 | 0,0536 |
| 164 | 0,0515 | 0,0568 | 0,0623 |
| 188 | — | 0,0691 | 0,0714 |

Таблица 7

Площадь сечения труб ходов секций аппаратов АВМ, АВГ, АВЗ и АВЗ-Д

| Количество труб на один ход | Площадь сечения одного хода, м ² | |
|-----------------------------|---|--------|
| | 22 | 20 |
| 1 | — | — |
| 8 | 0,0025 | 0,0030 |
| 10 | 0,0031 | 0,0038 |
| 12 | 0,0038 | 0,0046 |
| 14 | 0,0044 | 0,0053 |
| 16 | 0,0050 | 0,0061 |
| 18 | 0,0057 | 0,0068 |
| 20 | 0,0063 | 0,0076 |
| 21 | 0,0066 | 0,0080 |
| 22 | 0,0069 | 0,0084 |
| 23 | — | 0,0087 |
| 24 | 0,0075 | 0,0091 |
| 26 | 0,0082 | 0,0099 |
| 28 | 0,0088 | 0,0106 |
| 30 | 0,0094 | 0,0114 |
| 32 | — | 0,0121 |
| 33 | 0,0104 | 0,0125 |
| 34 | 0,0107 | 0,0129 |
| 36 | 0,0113 | 0,0137 |
| 38 | 0,0119 | 0,0144 |
| 39 | — | 0,0148 |
| 40 | 0,0126 | 0,0152 |
| 41 | 0,0127 | 0,0156 |
| 44 | 0,0138 | 0,0167 |
| 46 | — | 0,0175 |
| 47 | — | 0,0178 |
| 48 | 0,0151 | 0,0182 |

65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200

Таблица 8.

Полная поверхность теплообмена, распределение труб по ходам в секции, площадь кольцевого сечения труб ходов секции аппаратов АВГ-В.

| Число рядов труб. | Количество секций в аппарате | Номинальная полная поверхность теплообмена F , м ² | | Число ходов по трубам | Количество труб на один ход секции | | | | | | | | Площадь кольцевого сечения одного хода секции, м ² | | | | |
|-------------------|------------------------------|---|------|-----------------------|------------------------------------|---|-----|----|----|----|----|----|---|----|---|--------|---------|
| | | Длина, м | 8,0 | | Номера ходов | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | | | |
| 4 | 3 | 297 | 890 | 602 | 1805 | 1 | 74 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0,0523 | |
| | | | | | | 2 | 37 | 37 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0,02615 |
| | | | | | | 4 | 19 | 18 | 19 | 18 | — | — | — | — | — | — | 0,0131 |
| | | | | | | 1 | 111 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 0,0784 |
| 6 | 3 | 443 | 1330 | 900 | 2700 | 2 | 56 | 55 | — | — | — | — | — | — | — | 0,0393 | |
| | | | | | | 3 | 37 | 37 | 37 | — | — | — | — | — | — | — | 0,02615 |
| | | | | | | 6 | 19 | 18 | 19 | 18 | 19 | 18 | — | — | — | — | 0,0131 |
| 8 | 3 | 587 | 1760 | 1196 | 3590 | 1 | 148 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0,1046 | |
| | | | | | | 2 | 74 | 74 | — | — | — | — | — | — | — | — | 0,0523 |
| | | | | | | 4 | 37 | 37 | 37 | 37 | — | — | — | — | — | — | 0,02615 |
| | | | | | | 8 | 19 | 18 | 19 | 18 | 19 | 18 | 19 | 18 | — | — | 0,0131 |

* Действительная полная поверхность теплообмена может отличаться от номинальной на ± 5%

Таблица 9

Количество труб, площадь сечения и полная поверхность теплообмена
аппарата АВГ-ВВЛ

| Число рядов труб | Кол-во секций аппарата | Количество труб на один ход | | Номер секции (**) | Общее количество труб | | Номинальная полная поверхность теплообмена *) м ² | Площадь сечения одного хода, м ² | | |
|------------------|------------------------|-----------------------------|----------|-------------------|-----------------------|----------|--|---|----------|--------------|
| | | секции | аппарата | | секции | аппарата | | секции | аппарата | |
| 4 | 9 | 1 | 9 | 1 | 14 | аппарата | 120 | 73,5 | 530 | 000404003535 |
| | | | | 2 | 12 | секции | | 63,0 | | |
| | | | | 3 | 14 | секции | | 73,5 | | |
| | | | | 4 | 14 | секции | | 73,5 | | |
| | | | | 5 | 12 | секции | | 63,0 | | |
| | | | | 6 | 14 | секции | | 73,0 | | |
| | | | | 7 | 14 | секции | | 73,5 | | |
| | | | | 8 | 12 | секции | | 63,0 | | |
| | | | | 9 | 14 | секции | | 73,5 | | |

*) Действительная полная поверхность теплообмена может отличаться от номинальной на ±5%
 **) считая от края аппарата.

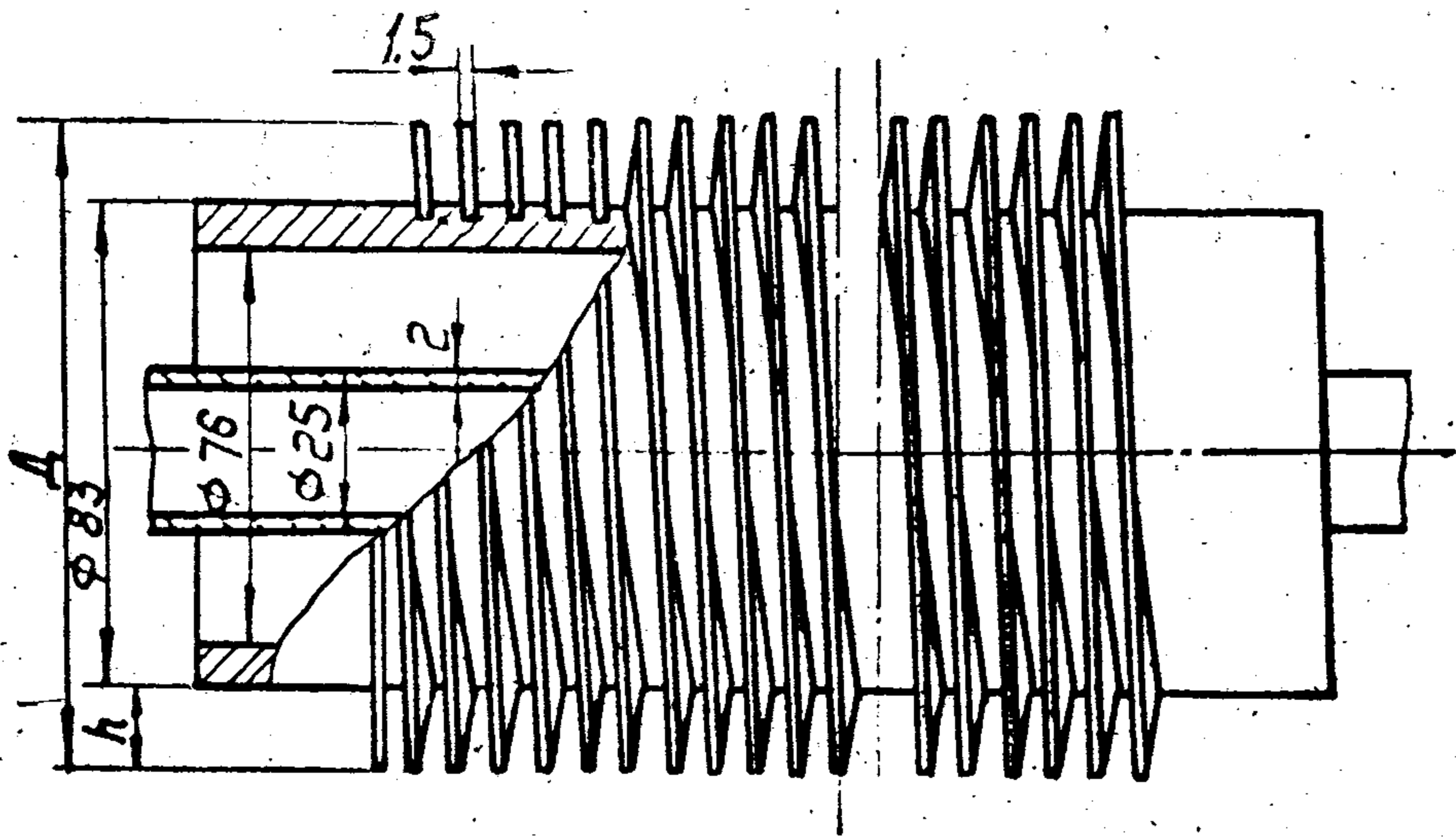


Рис. 8 Труба ребреная аппаратов АВГ-ВВП

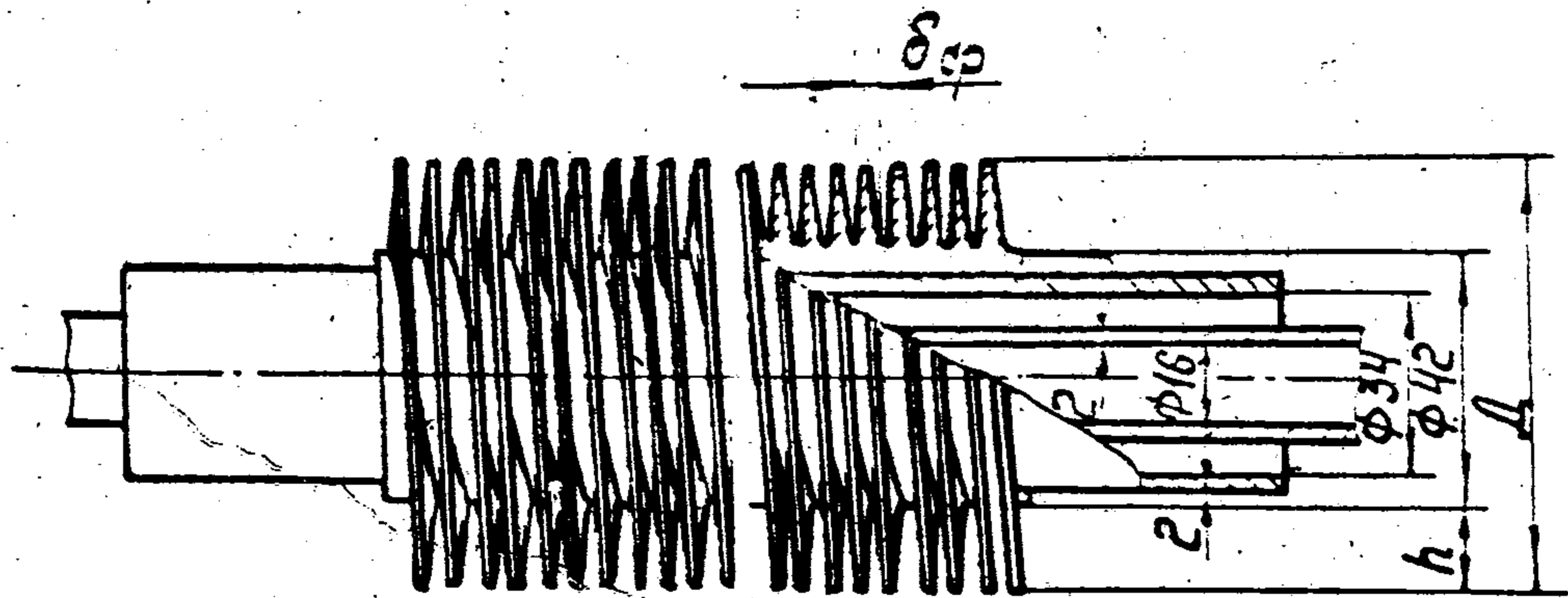


Рис. 9 Труба ребреная аппаратов АВГ-В

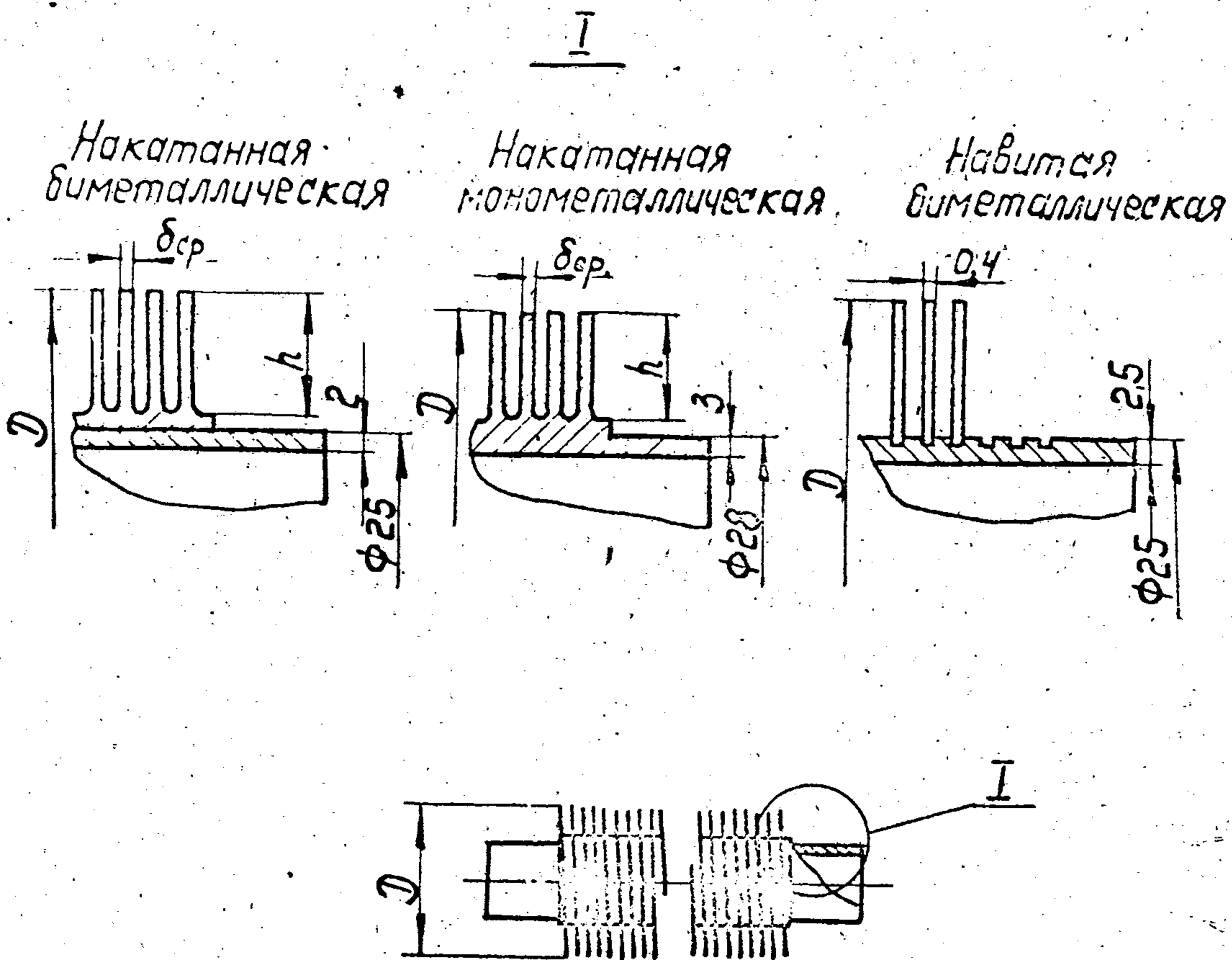


Рис. 10 Труба оребренная для аппаратов типа АВМ, АВГ и АВЗ-Д

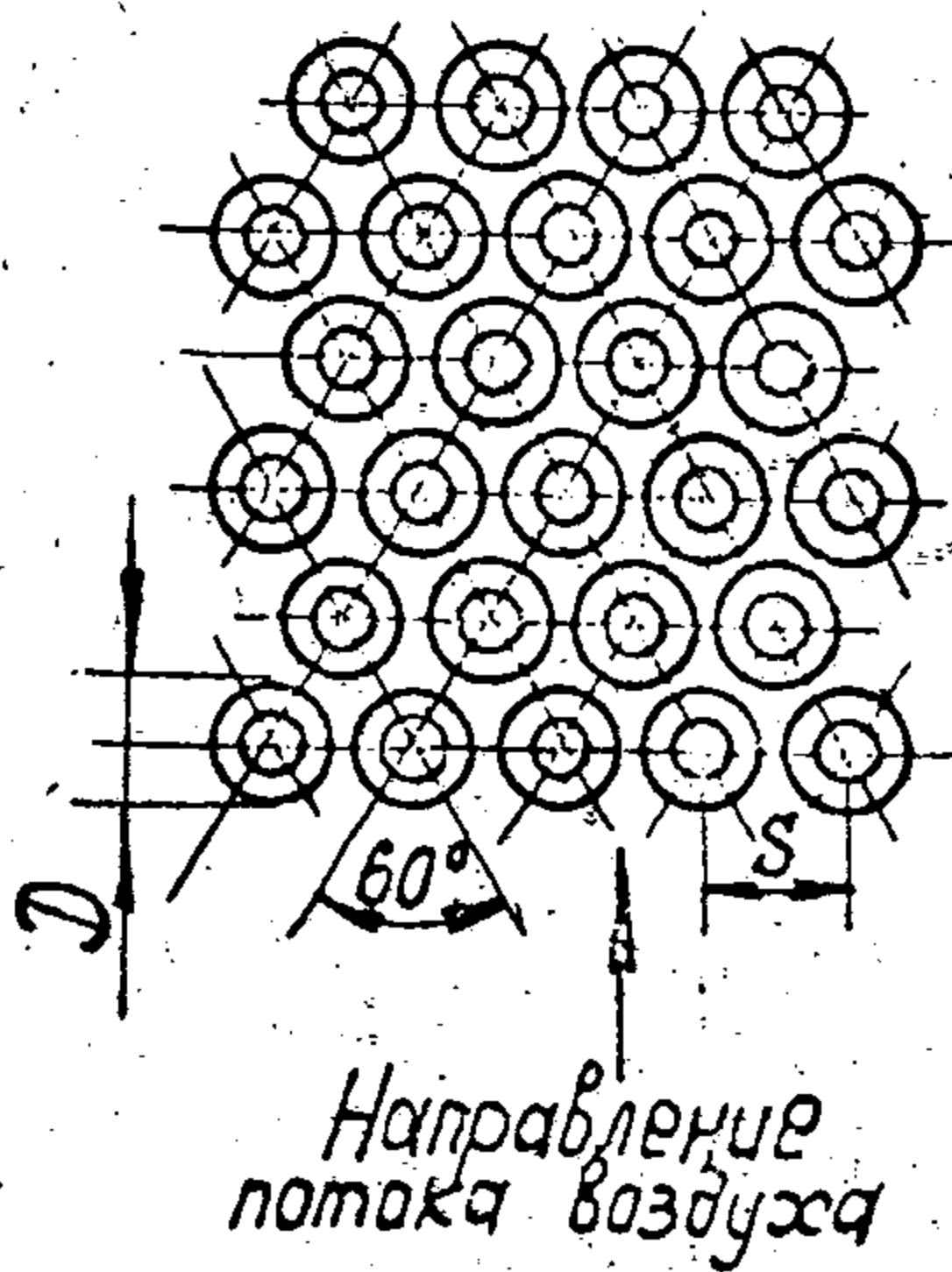


Рис. 11 Расположение оребренных труб в секции АВВ

Таблица 10

Основные геометрические размеры и поперечный шаг оребренных труб аппаратов воздушного охлаждения.

| Тип аппарата | Метод оребрения | Коэффициент оребрения | Материал и исполнение | Коэффициент увеличения поверхности | Количество ребер на 1 погметр | Размеры, мм | | | |
|--------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------------|-------------|------|-----|-----------------|
| | | | | | | Д | h | S | δ _{ср} |
| АВМ, АВГ, | накатка | 9 | 61... 65 | 12,0 | 286 ± 5 | 49 | 10,5 | 52 | 0,85 |
| | | | М1А | 11,5 | | | | | |
| | | 14,6 | 61... 65 | 19,5 | 333 ± 5 | 56 | 14 | | |
| | | | М1А | 18,5 | | | | | |
| 20 | 61... 65 | 24,7 | 400 ± 5 | 57 | 15 | 58 | 0,33 | | |
| | М1А | 23,6 | | | | | | | |
| АВЗ-Д | навивка | 22 | 61; 65 | 27,0 | 394 ± 5 | 57 | 16 | | — |
| АВГ-В | накатка | 7,8 | 61; 62 | 9,63 | 286 ± 5 | 62 | 10 | 64 | 0,95 |
| АВГ-ВВП | приварка ребер | 5,15 | 61 | 5,63 | 200 | 103 | 10 | 118 | — |

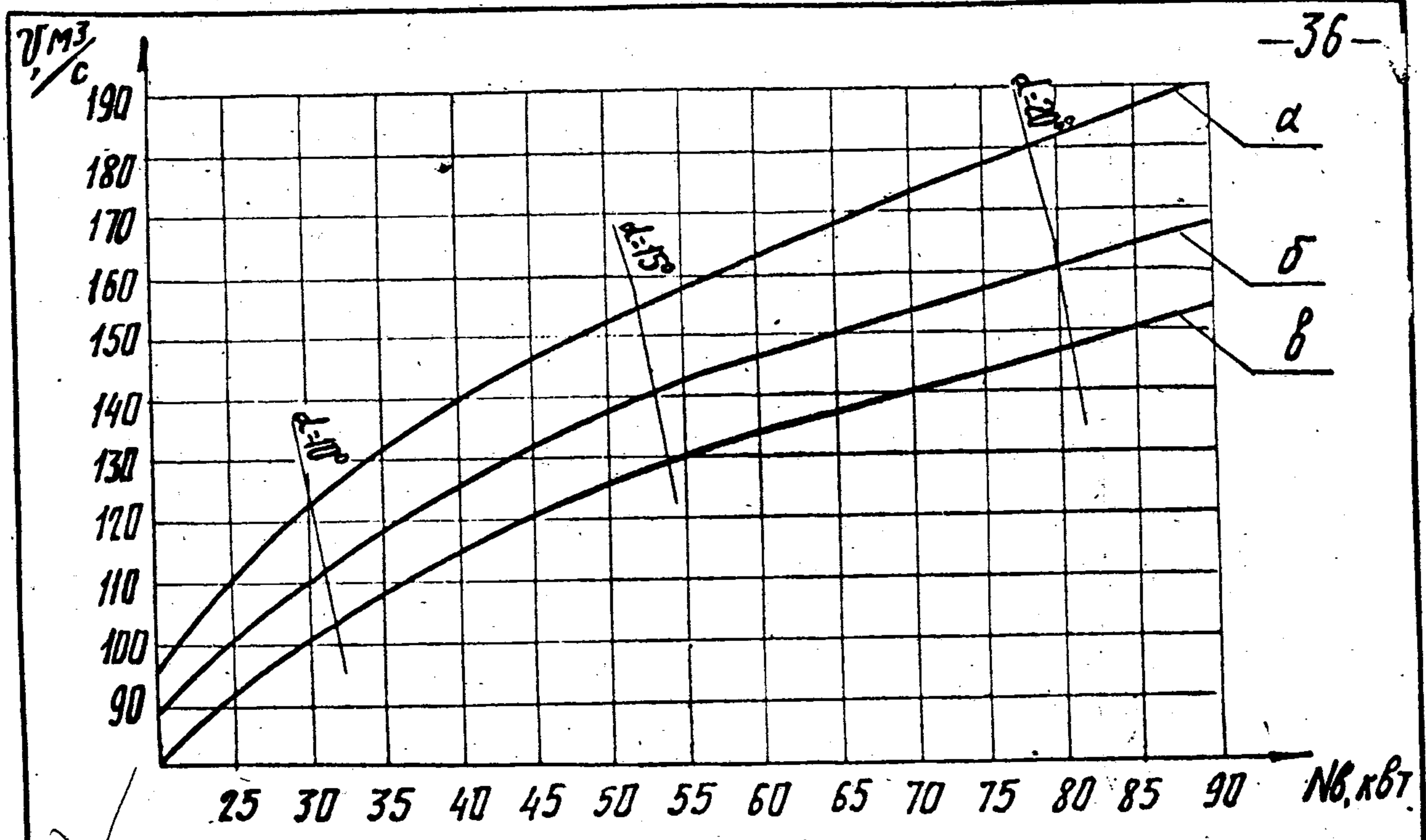


Рис. 12. Зависимость объемного расхода воздуха от мощности, потребляемой вентилятором, для аппаратов АВЗ с $\alpha = 9^\circ$
 а - 4-х рядная секция; б - 6-ти рядная секция; в - 8-ми рядная секция.

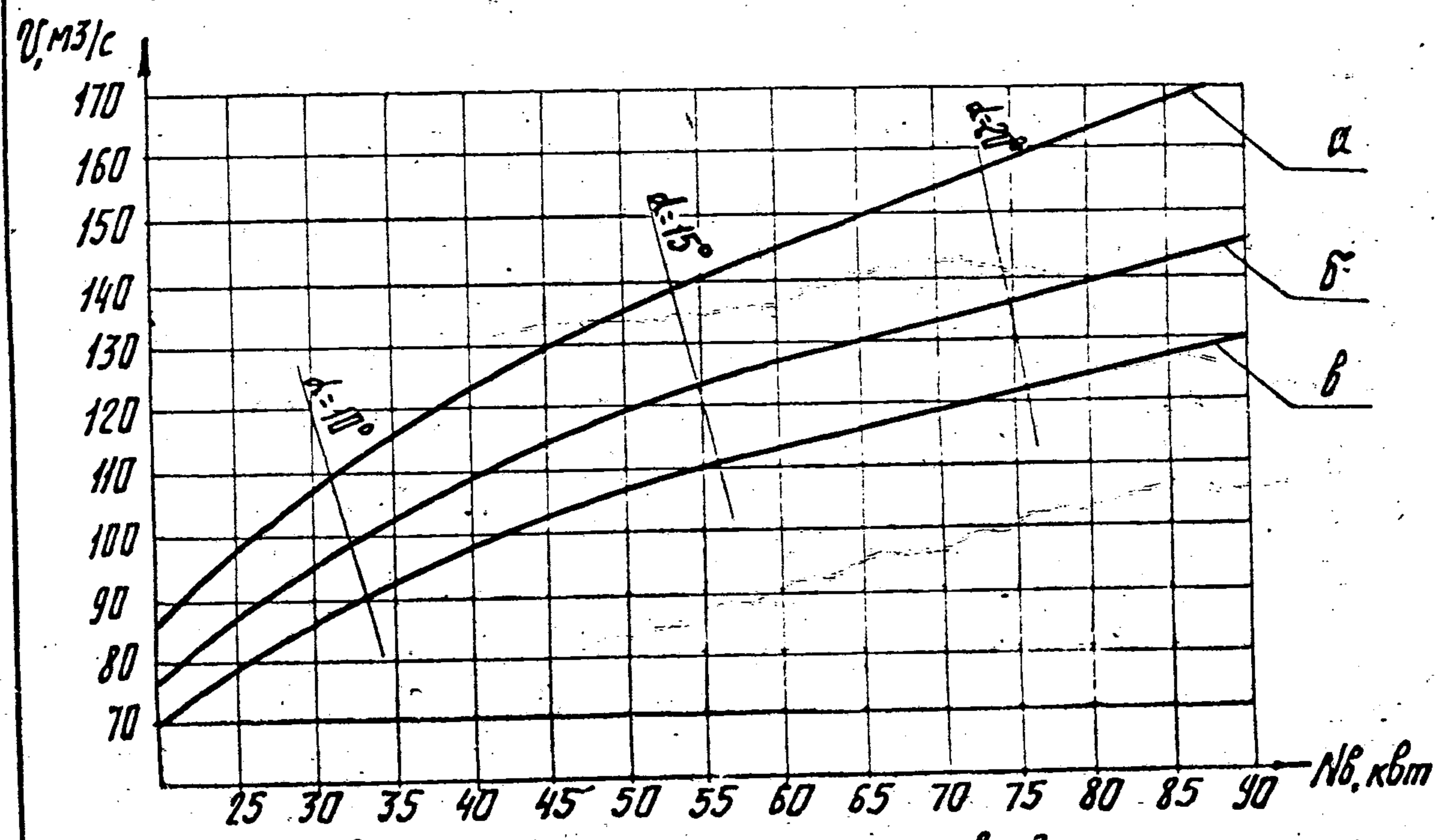


Рис. 12а. Зависимость объемного расхода воздуха от мощности, потребляемой вентилятором, для аппаратов АВЗ с $\alpha = 14.6^\circ$.
 а - 4-х рядная секция; б - 6-ти рядная секция;
 в - 8-ми рядная секция.
 α - угол установки лопастей.

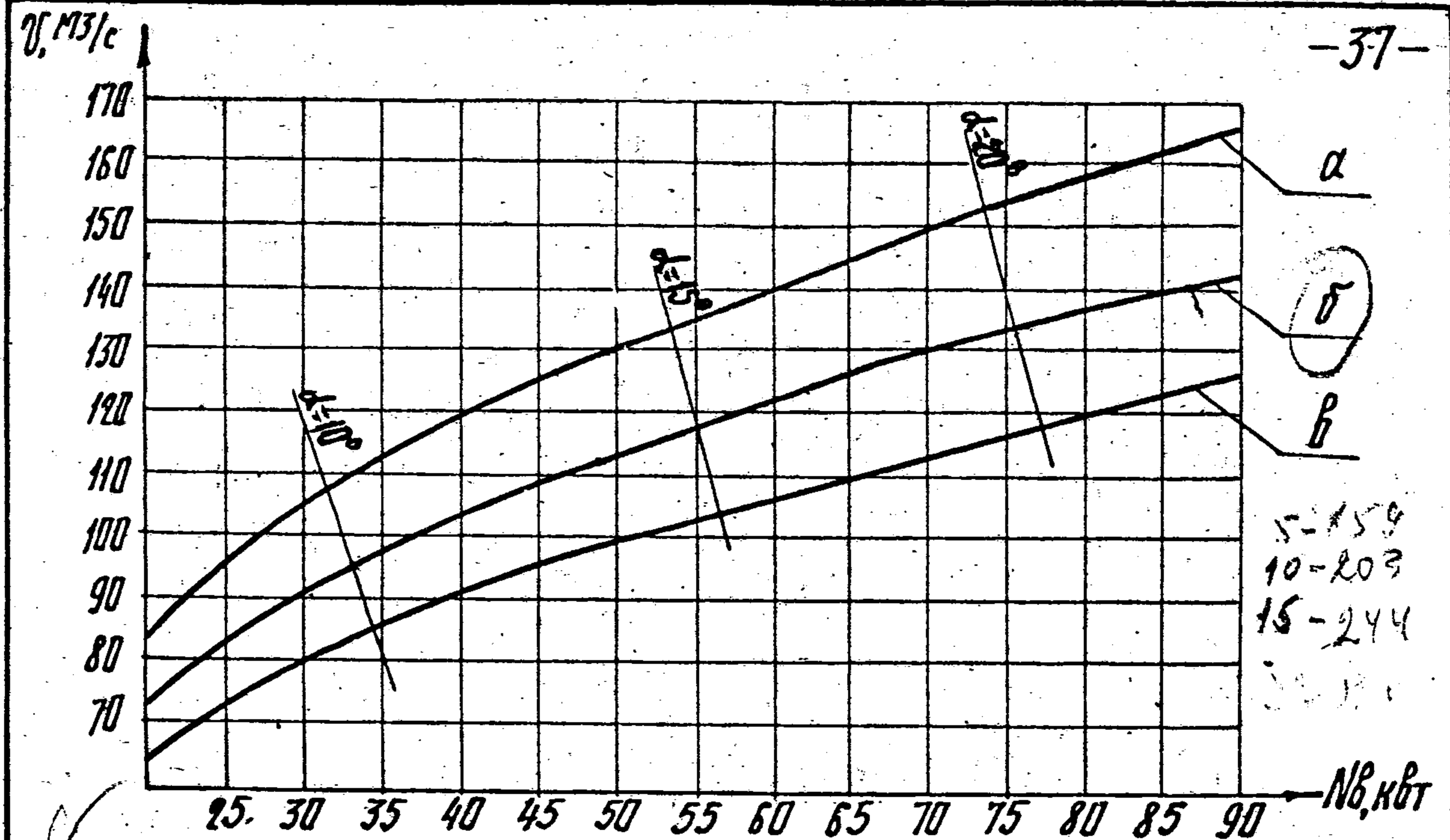


Рис.13. Зависимость объемного расхода воздуха от мощности, потребляемой вентилятором, для аппаратов АВЗ с $\alpha=20^\circ$.
 а - 4-х рядная секция; б - 6-ти рядная секция;
 в - 8-ми рядная секция.

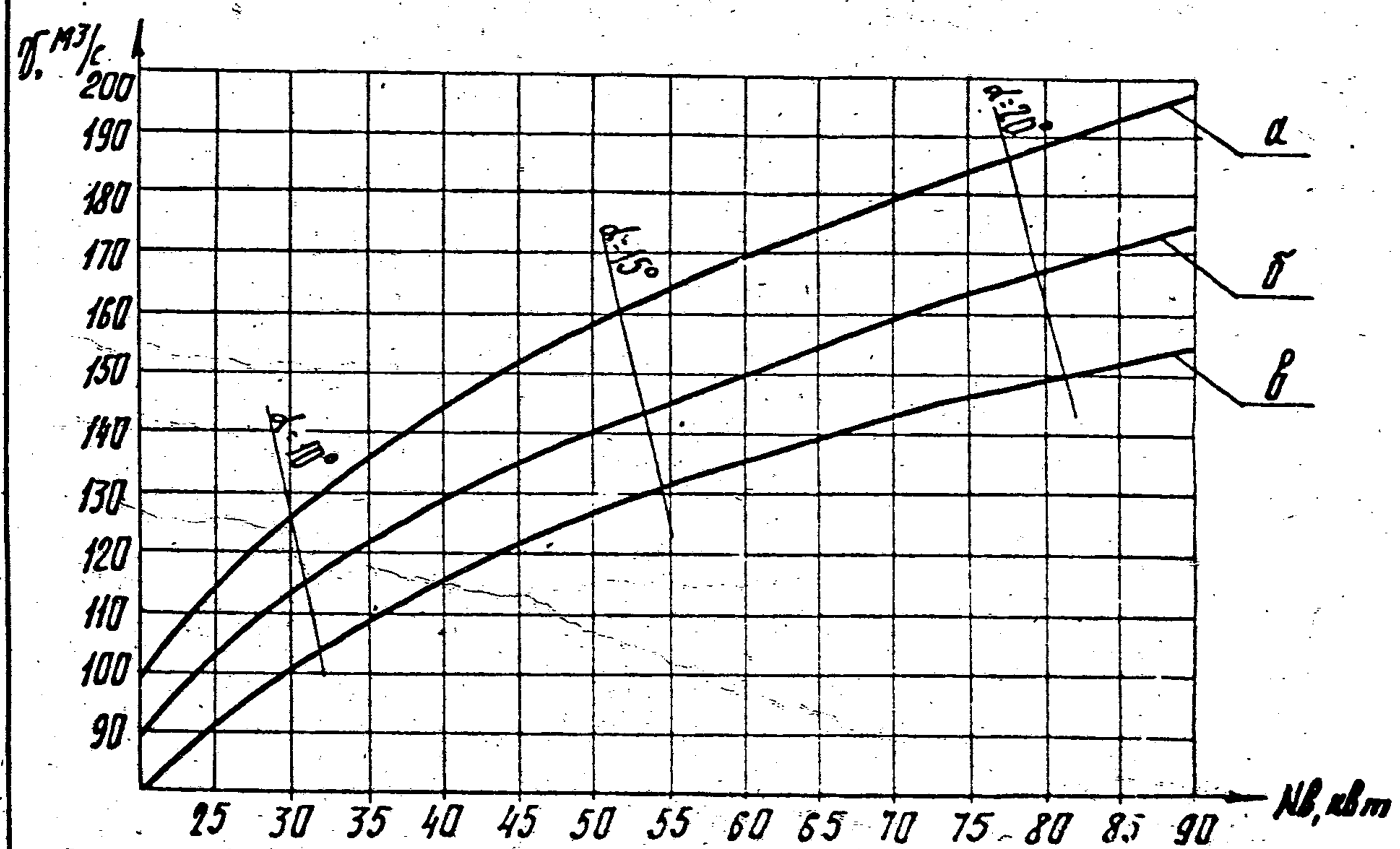


Рис.13а. Зависимость объемного расхода воздуха от мощности, потребляемой вентилятором, для аппаратов АВЗ с $\alpha=22^\circ$.
 а - 4-х рядная секция; б - 6-ти рядная секция;
 в - 8-ми рядная секция.
 α - угол установки лопастей

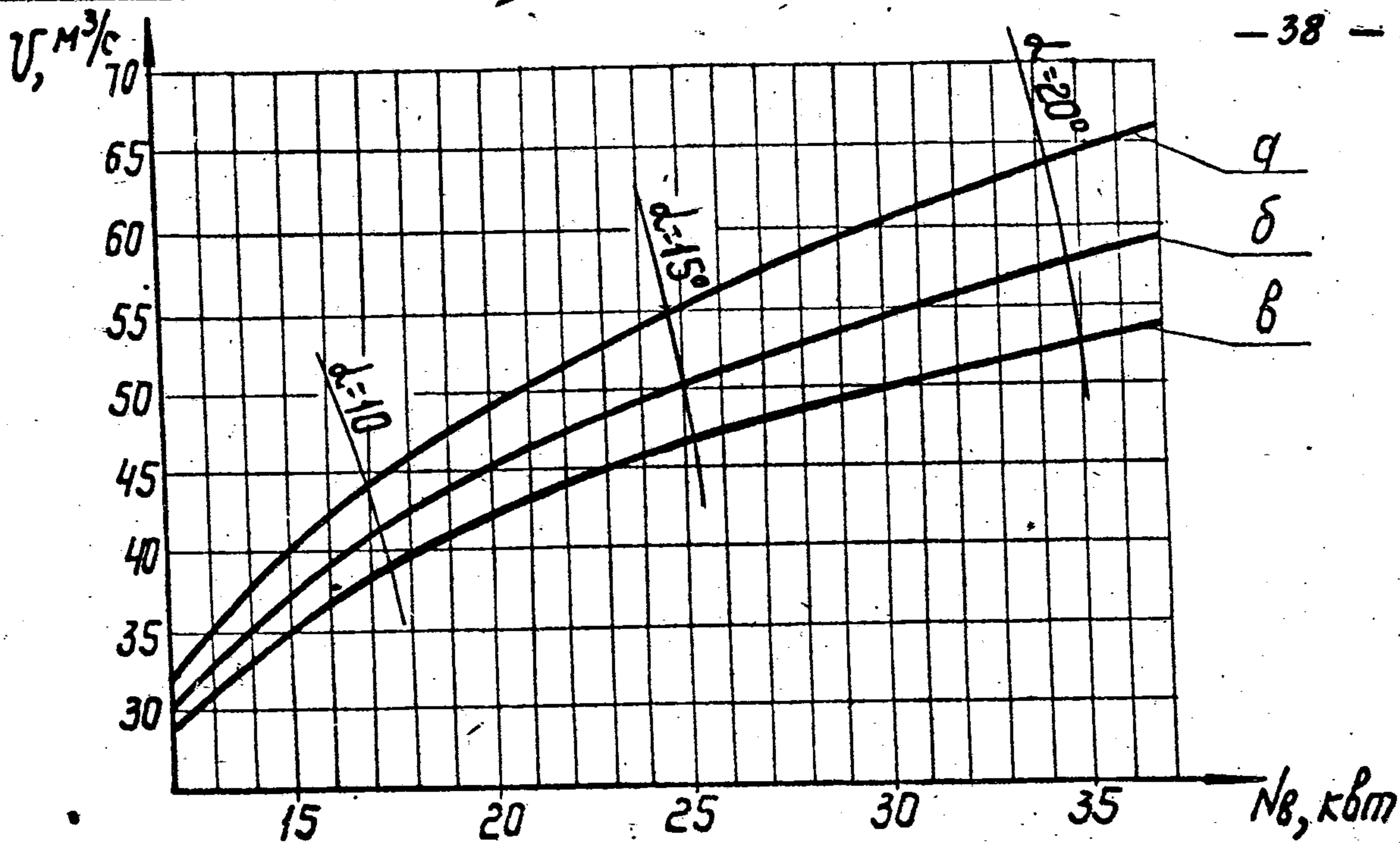


Рис. 14 Зависимость объемного расхода воздуха от мощности, потребляемой вентилятором, для аппаратов АВГ с $\varphi=9$
 а - 4-х рядная секция, б - 6-ти рядная секция
 в - 8-ми рядная секция

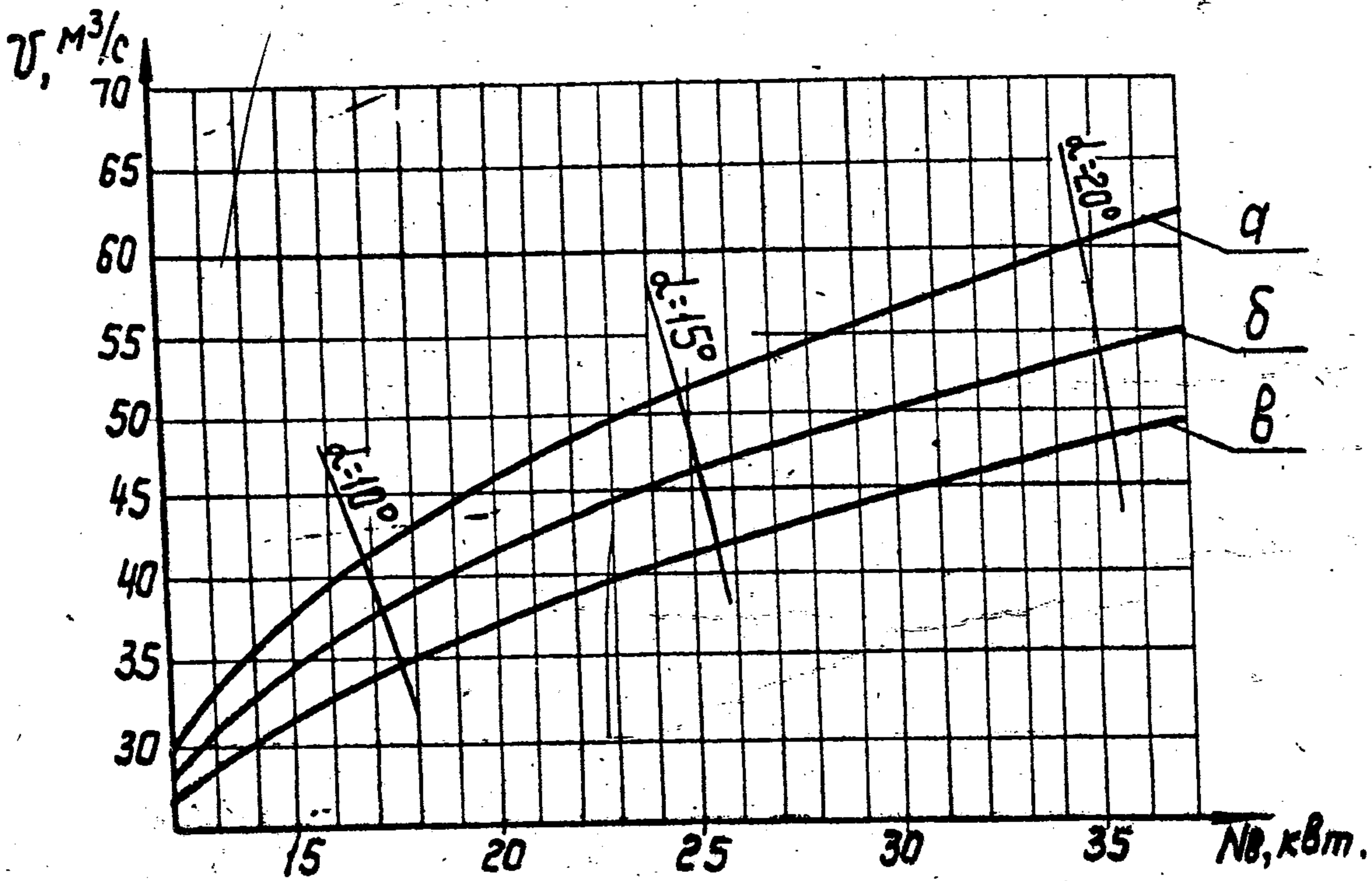


Рис. 15 Зависимость объемного расхода воздуха от мощности, потребляемой вентилятором, для аппаратов АВГ с $\varphi=14,6$
 а - 4-х рядная секция; б - 6-ти рядная секция
 в - 8-ми рядная секция
 α - угол установки лопастей

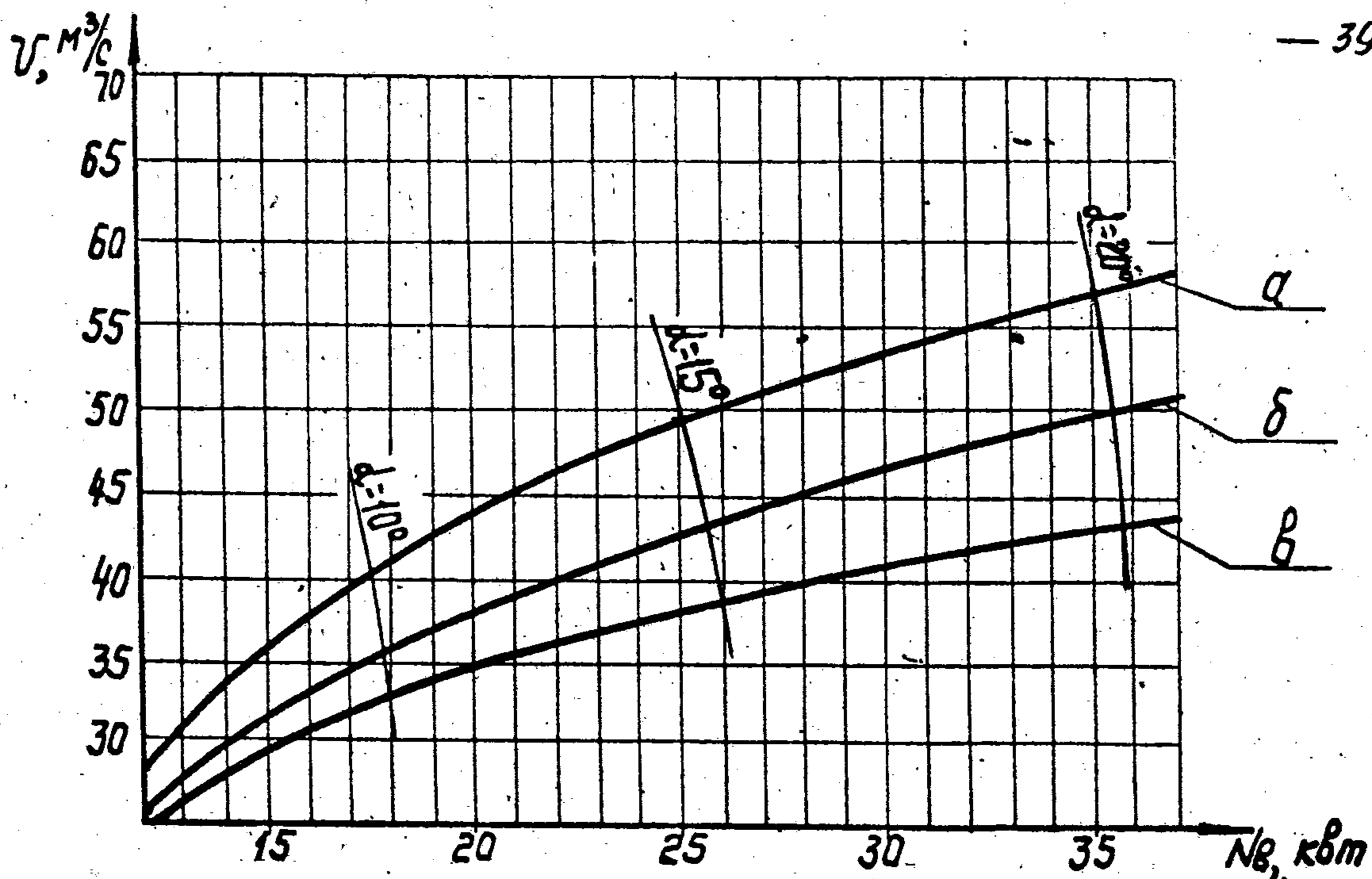


Рис.16 Зависимость объемного расхода воздуха от мощности, потребляемой вентилятором, для аппаратов АВГ с $\varphi=20$
а - 14-х рядная секция; б - 6-ти рядная секция
в - 8-ми рядная секция

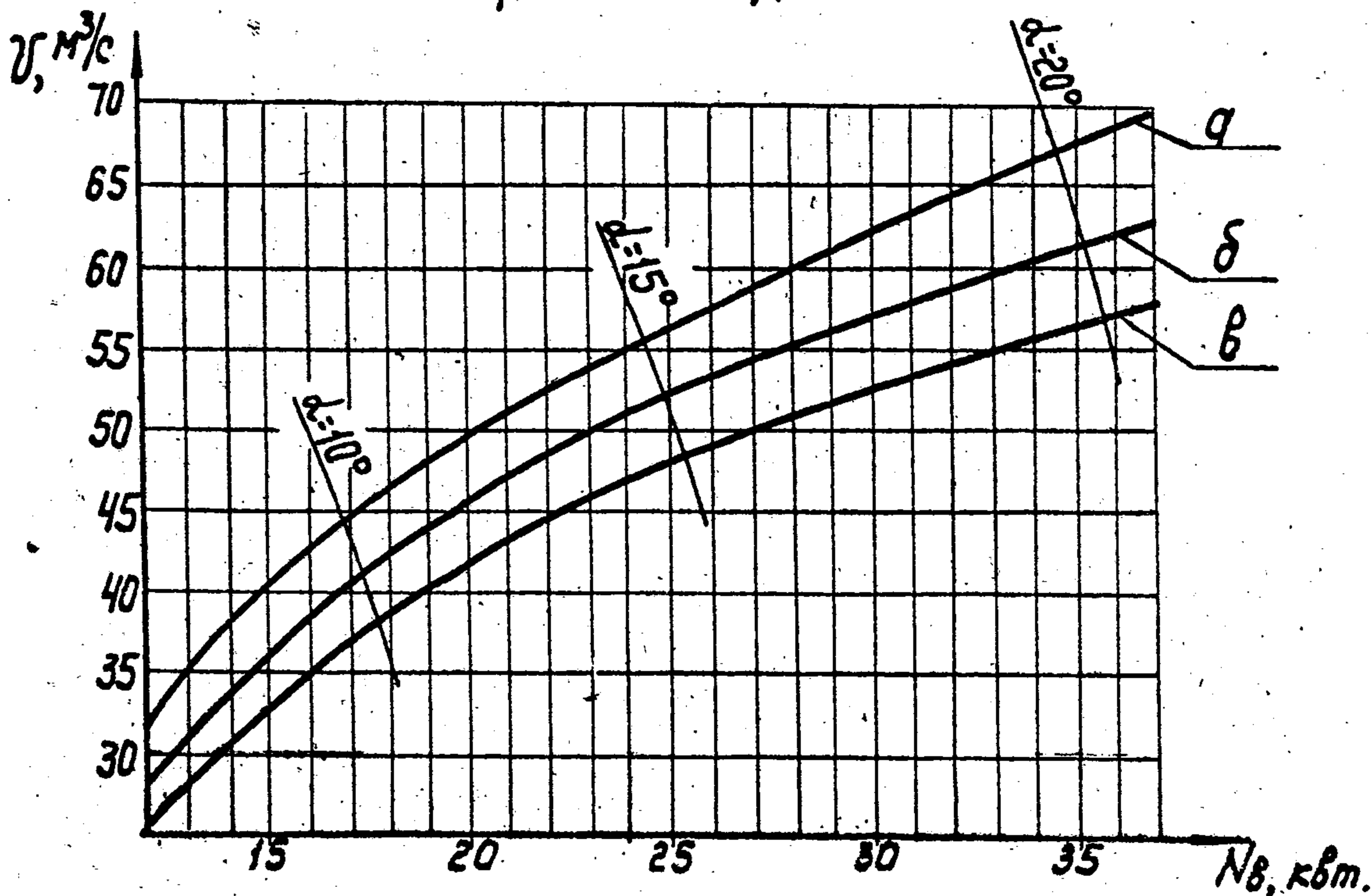


Рис.17 Зависимость объемного расхода воздуха от мощности, потребляемой вентилятором, для аппаратов АВГ с $\varphi=22$
а - 4-х рядная секция, б - 6-ти рядная секция
в - 8-ми рядная секция.
 α - угол установки лопастей

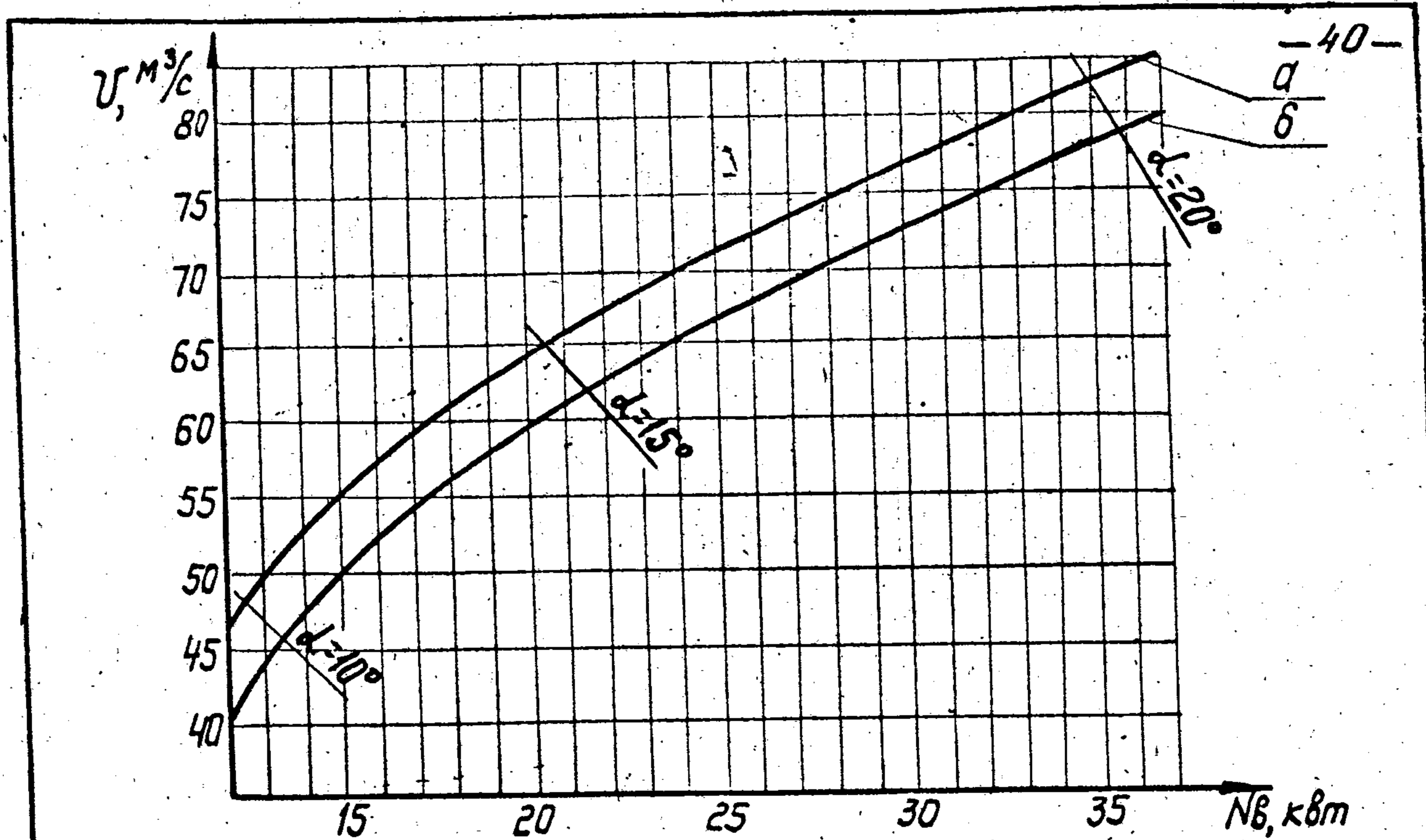


Рис.18 Зависимость объемного расхода воздуха от мощности, потребляемой вентилятором, для аппаратов АВЗ-Д с $\varphi=9$
 a - 4-х рядная секция; b - 6-ти рядная секция

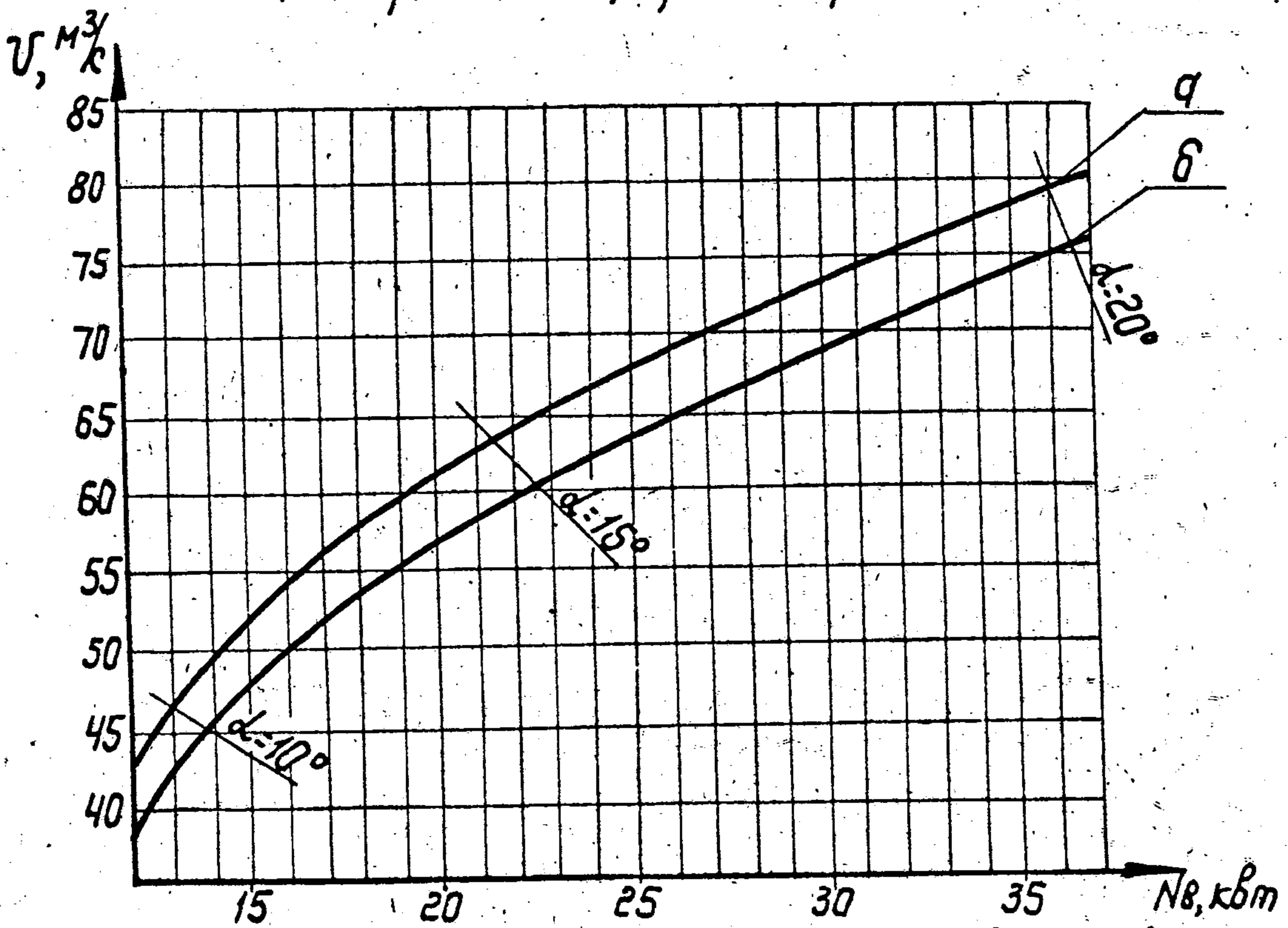


Рис.19 Зависимость объемного расхода воздуха от мощности, потребляемой вентилятором, для аппаратов АВЗ-Д с $\varphi=14,6$
 a - 4-х рядная секция; b - 6-ти рядная секция
 α - угол установки лопастей

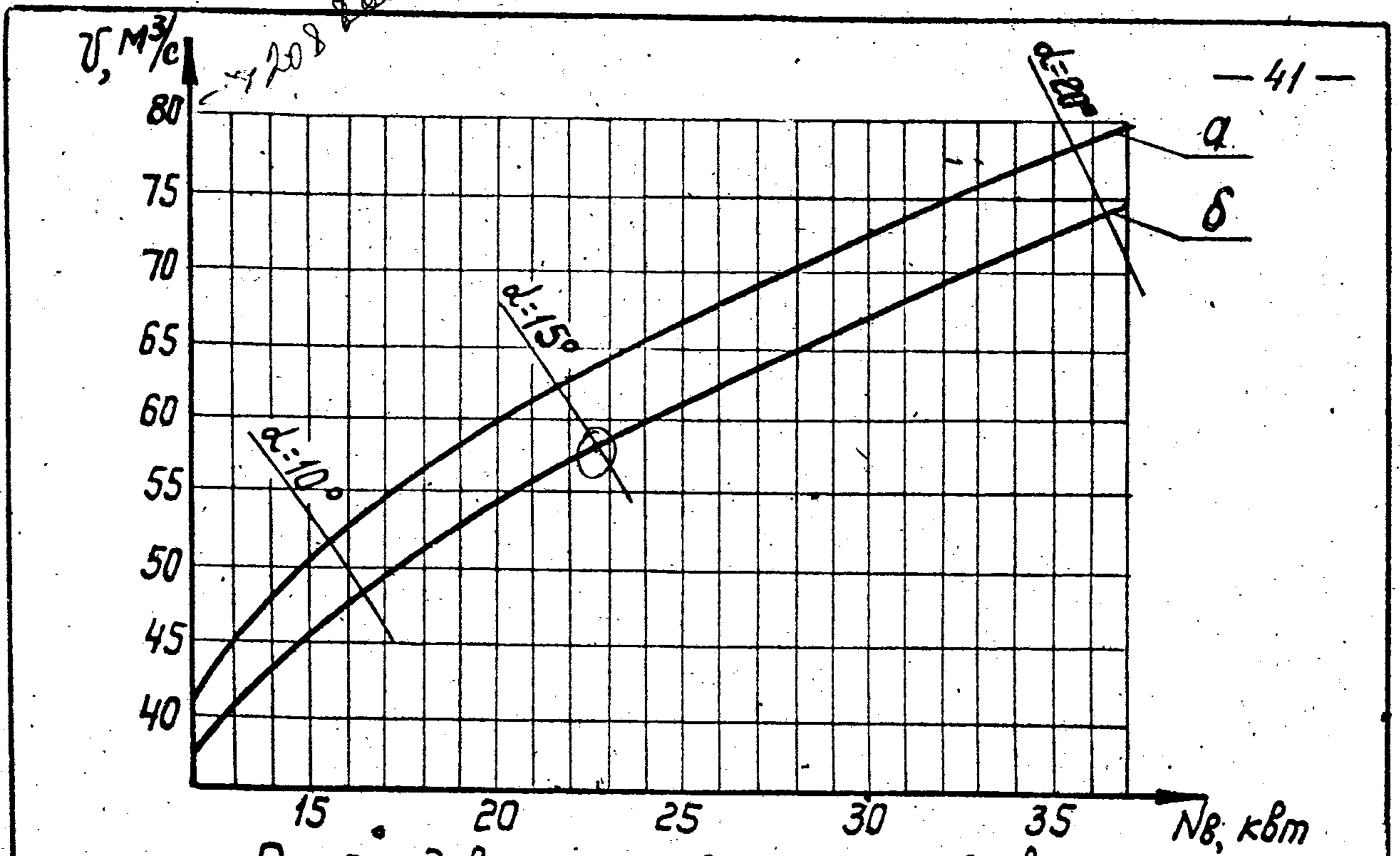


Рис. 20 Зависимость объемного расхода воздуха от мощности, потребляемой вентилятором, для аппаратов АВЗ-Д с $\psi = 20$
 a - 4-х рядная секция; δ - 6-ти рядная секция

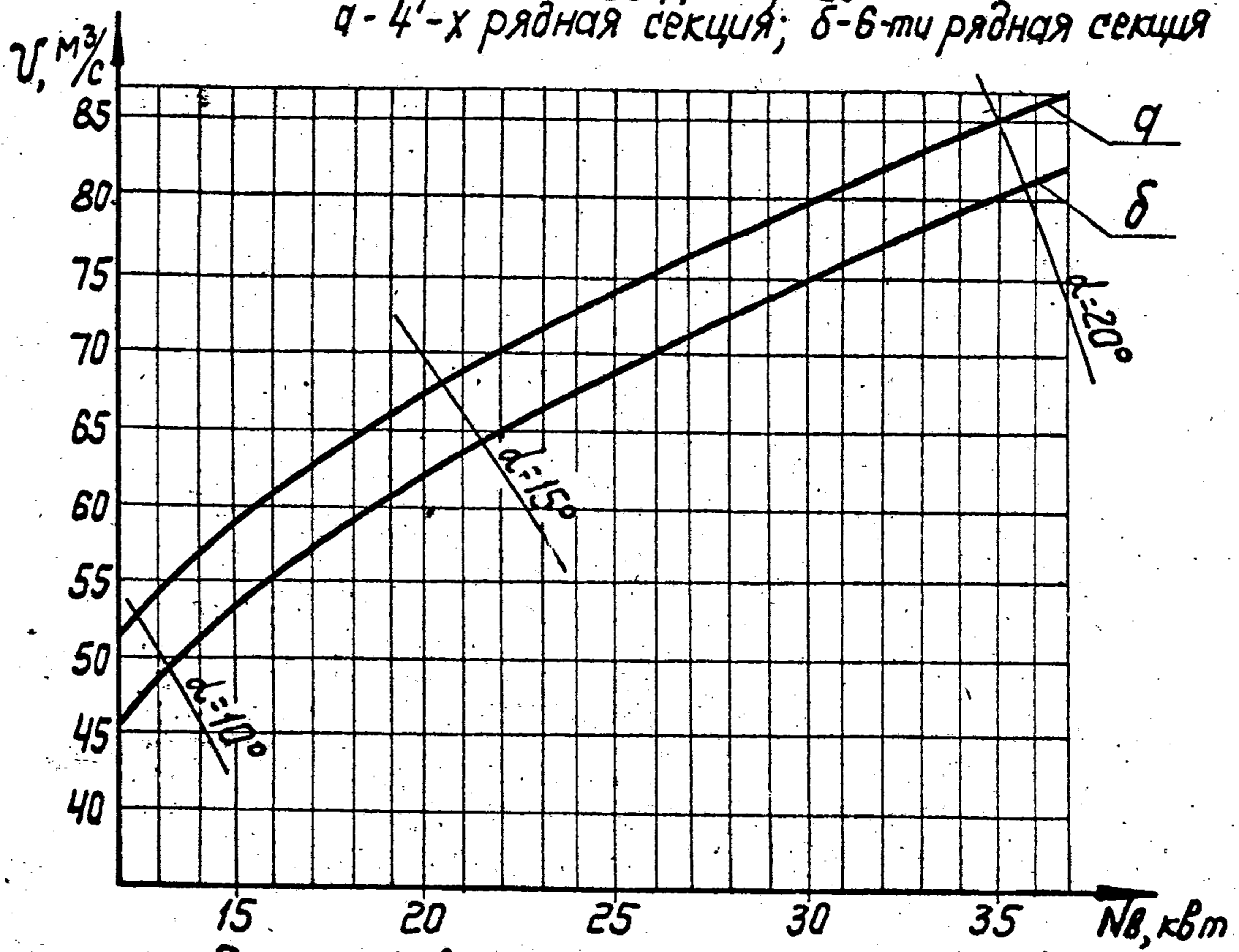


Рис. 21 Зависимость объемного расхода воздуха от мощности, потребляемой вентилятором, для аппарата АВЗ-Д с $\psi = 22$
 a - 4-х рядная секция; δ - 6-ти рядная секция;
 α - угол установки лопастей

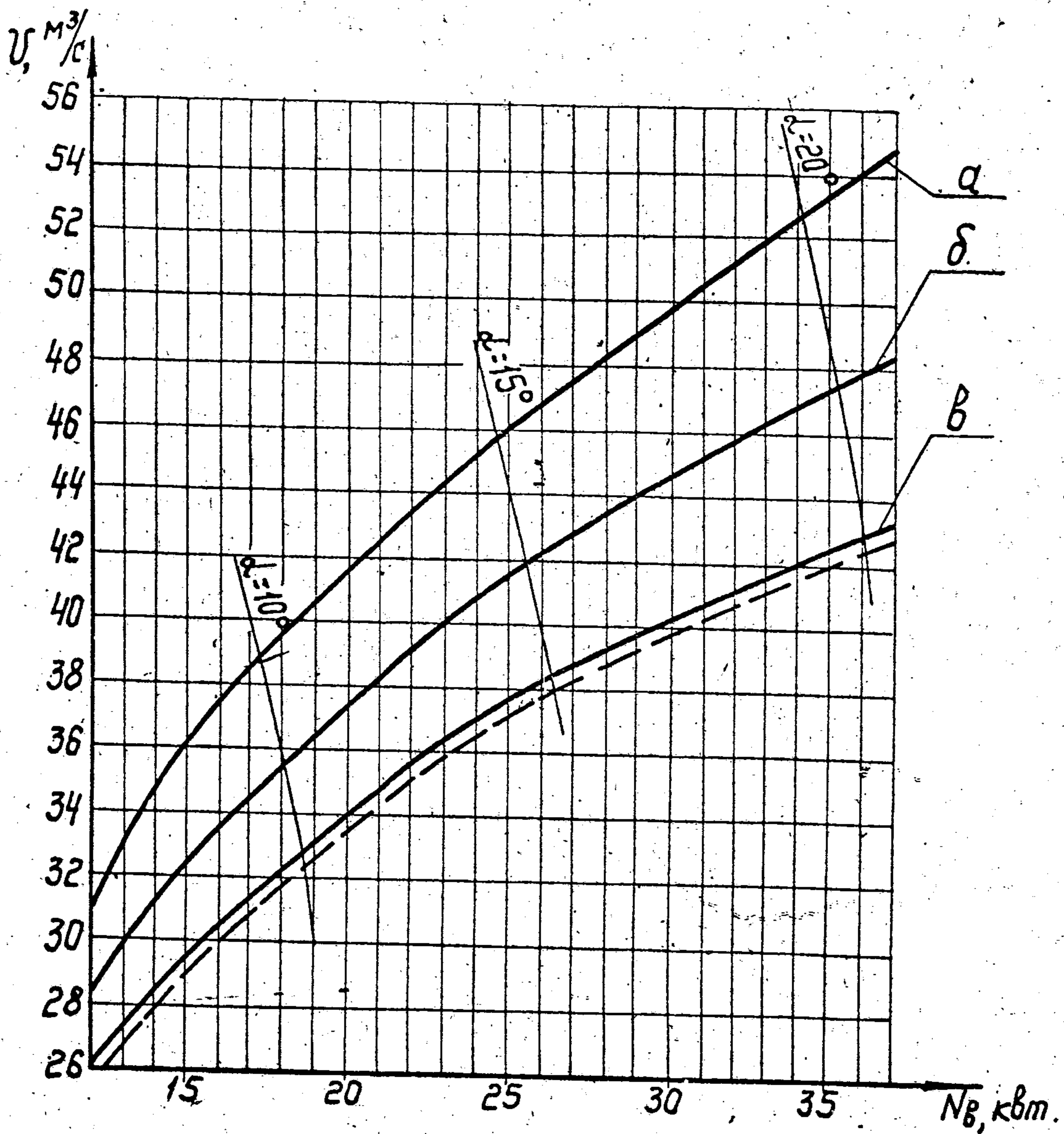
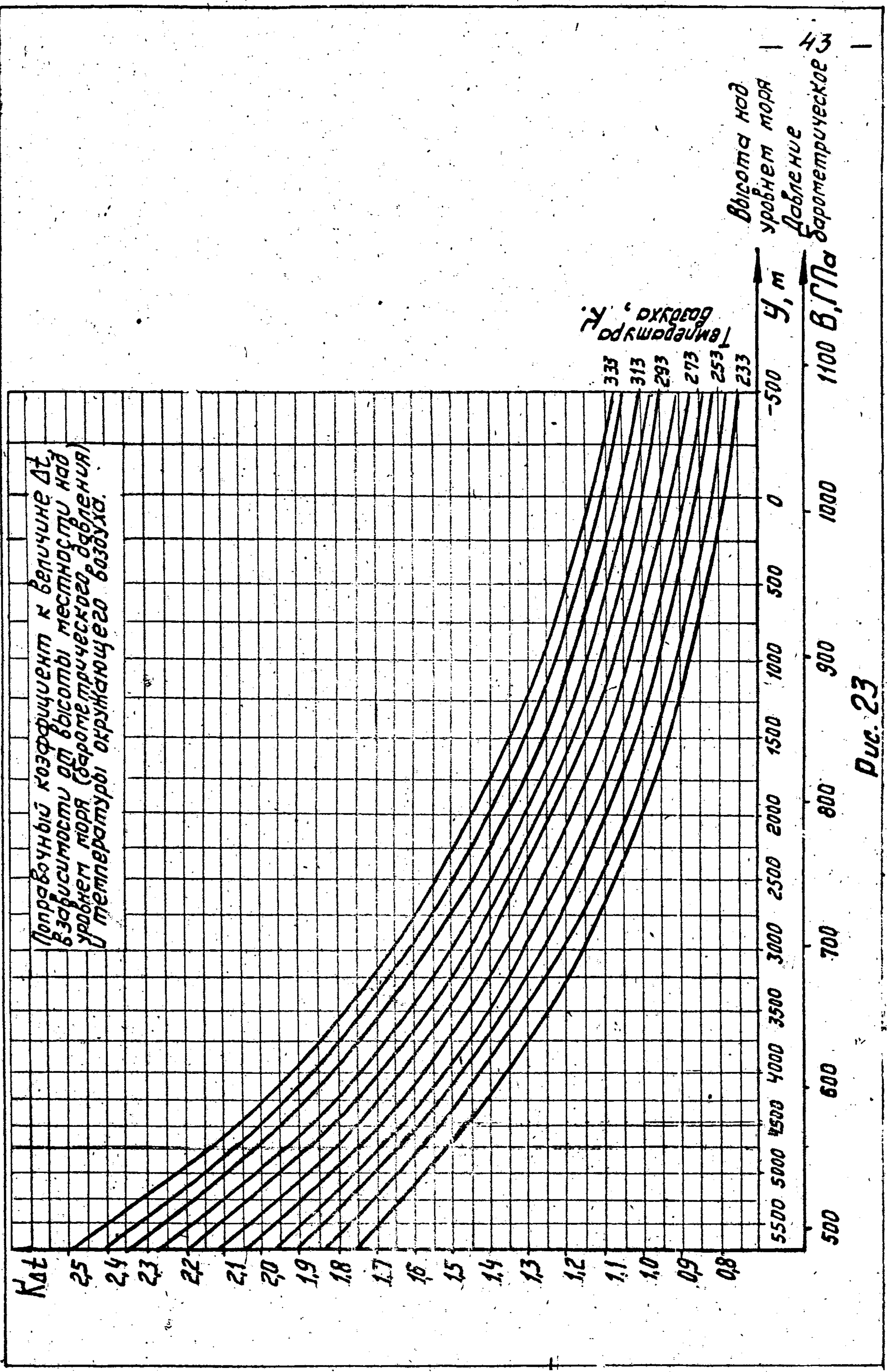


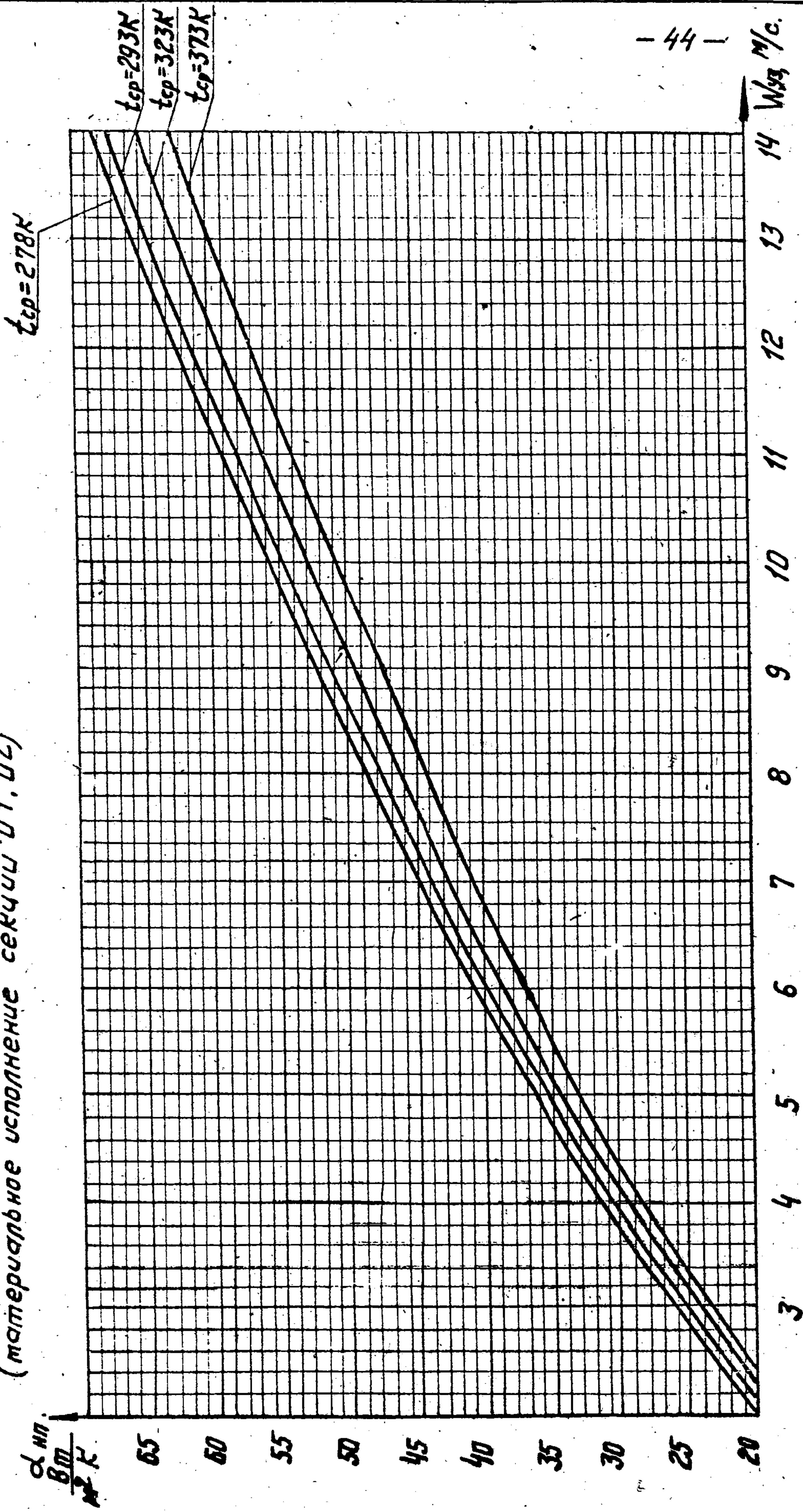
Рис. 22. Зависимость объемного расхода воздуха от мощности, потребляемой вентилятором, для аппаратов АВГ-В и АВГ-ВВП

- аппарат АВГ-В
- - - аппарат АВГ-ВВП
- a - 4-х рядная секция
- б - 6-ти рядная секция
- в - 8-ми рядная секция
- α - угол установки лопастей

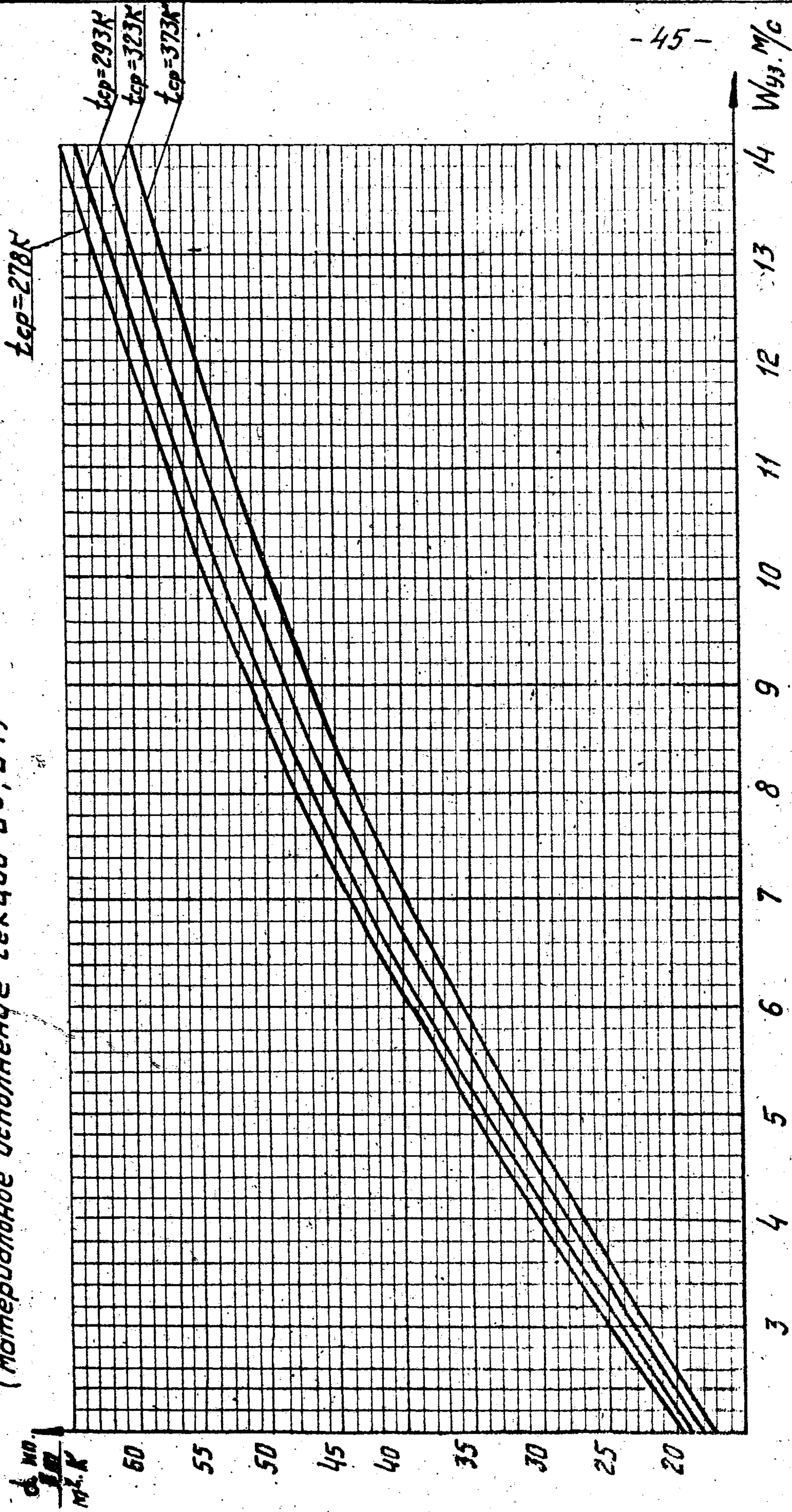
Поправочный коэффициент к величине Δt
 в зависимости от высоты местности над
 уровнем моря (барометрического, давления)
 и температуры окружающего воздуха.



Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении для труб с $\gamma=9$ (материальное исполнение секций Б1.Б2)



Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении для труб с $\gamma=9$ (материальное исполнение секции БЗ, Б4)



Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении для труб с $\varphi=9$ (материальное исполнение секций Б5)

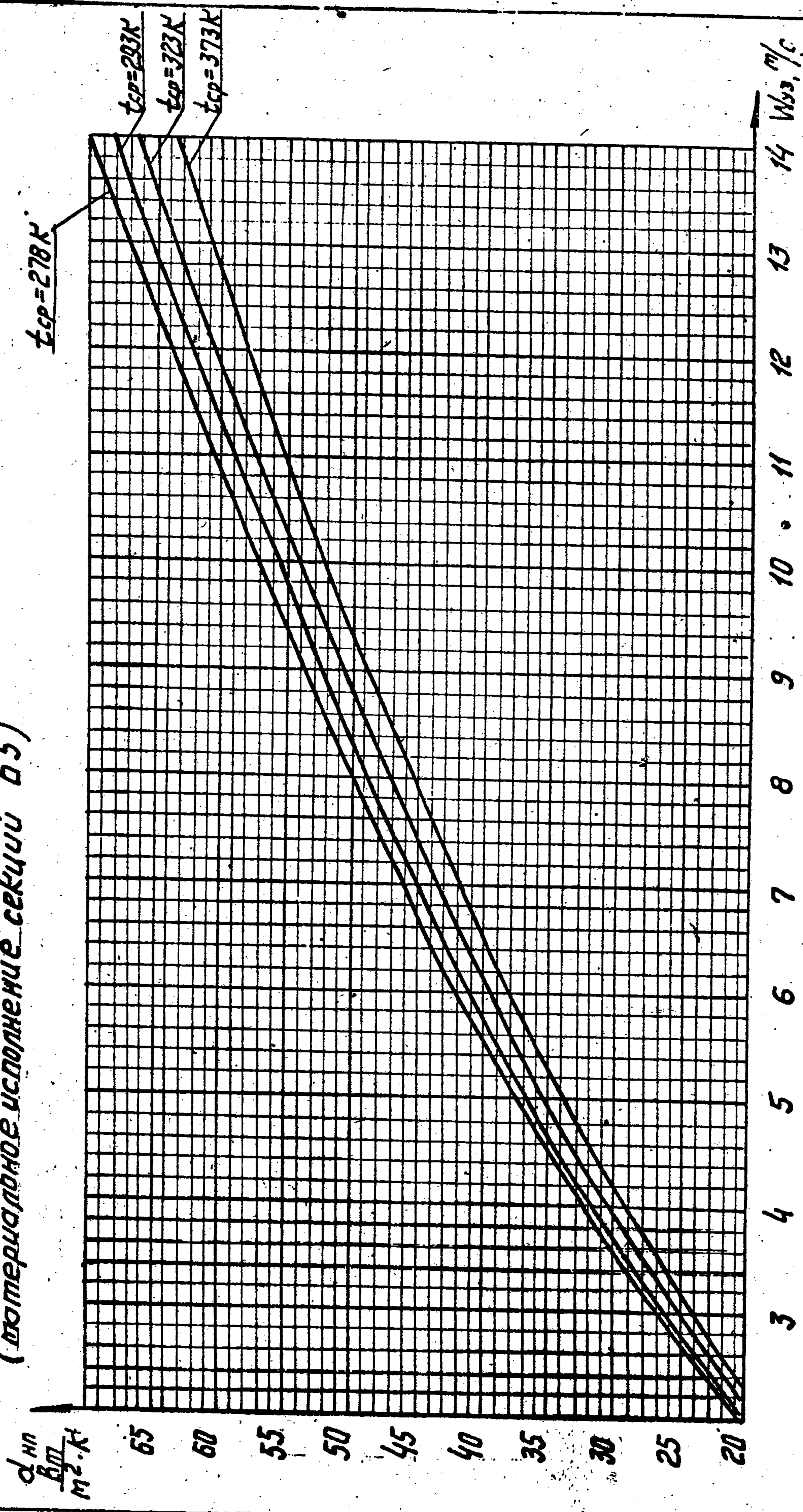
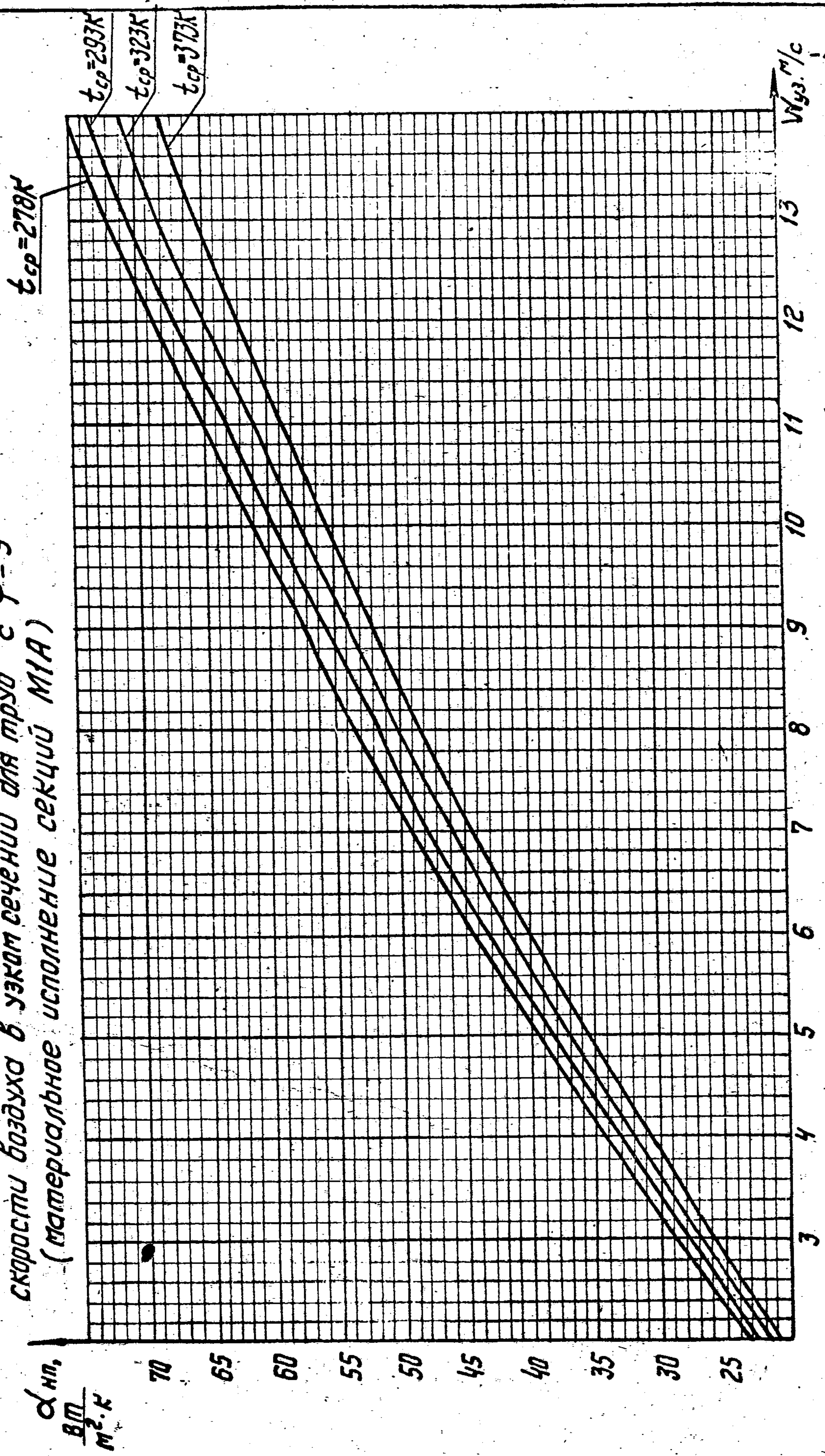


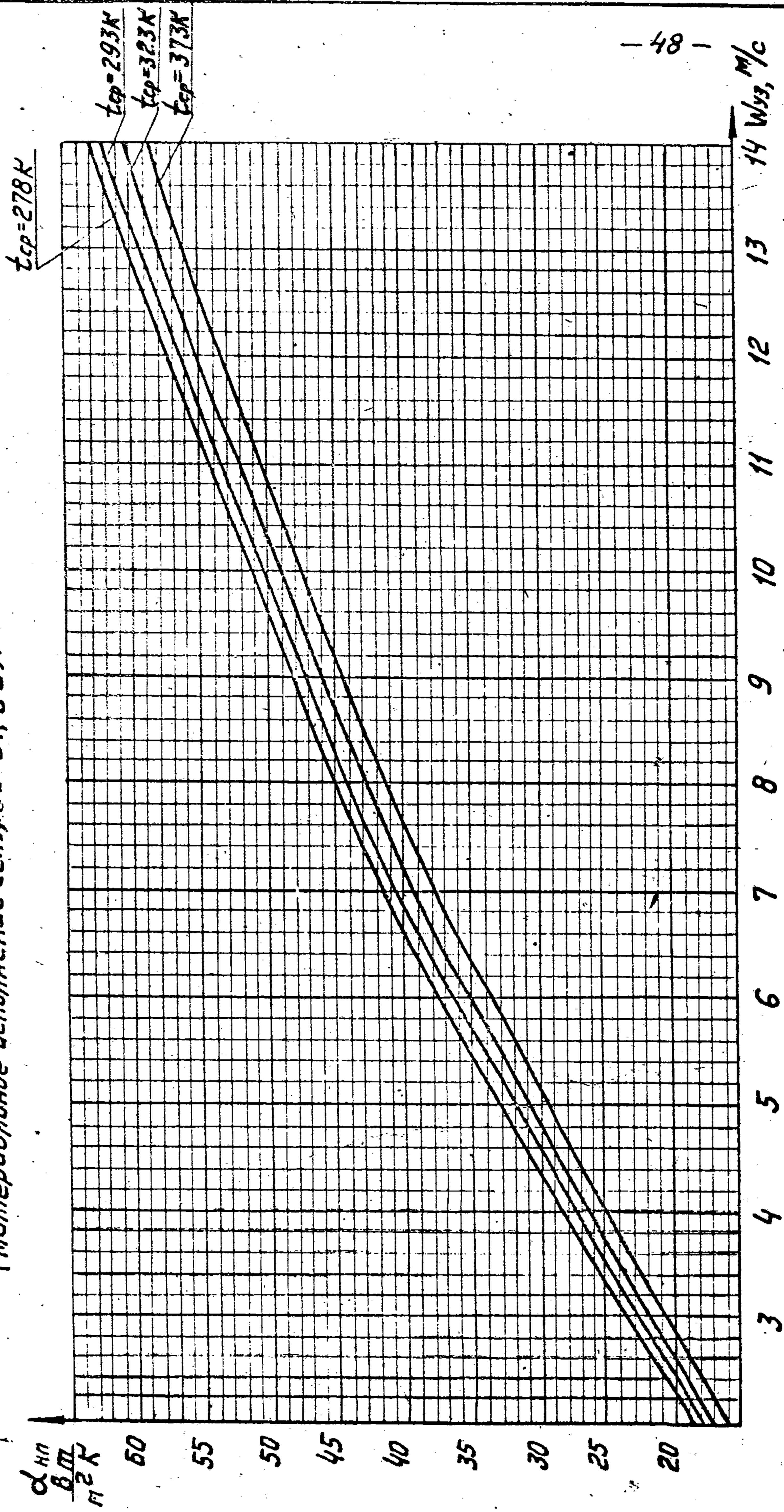
Рис. 25

Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении для труб с $\varphi=9$ (материальное исполнение секций М1А)

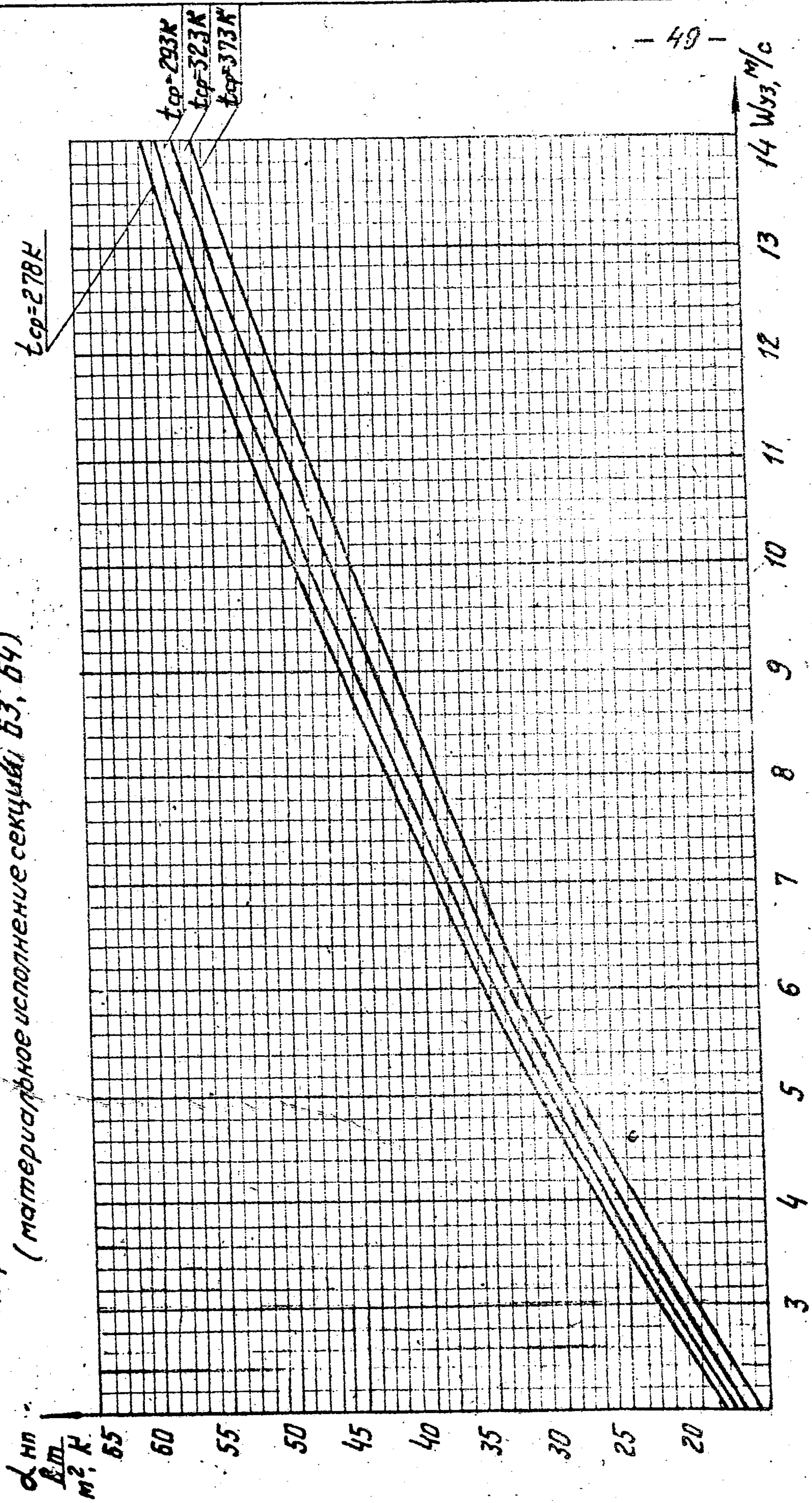


Aug. 27

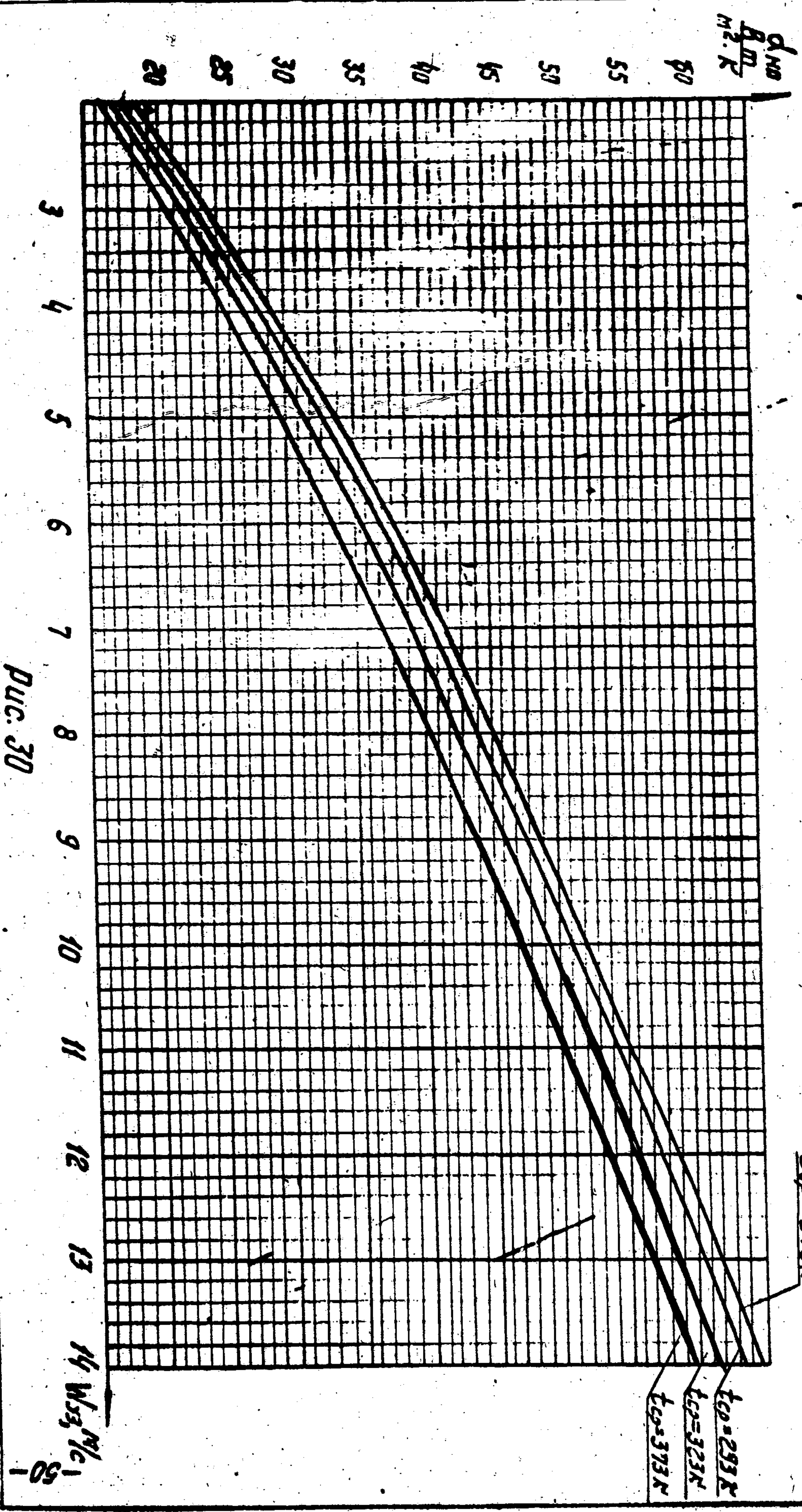
Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении для труб с $\varphi=14,6$ (материальное исполнение сечений Б1, Б2).



Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении для труб с $\gamma = 14,6$ (материальное исполнение секции БЗ, Б4)



Зависимость коэффициента теплопроводности κ воздуха от скорости воздуха в законе сечения для трубы $\varnothing=14,6$ (материальное исполнение секции Б5)



Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении для труб с $\gamma = 14,6$ (материальное исполнение секций М1А)

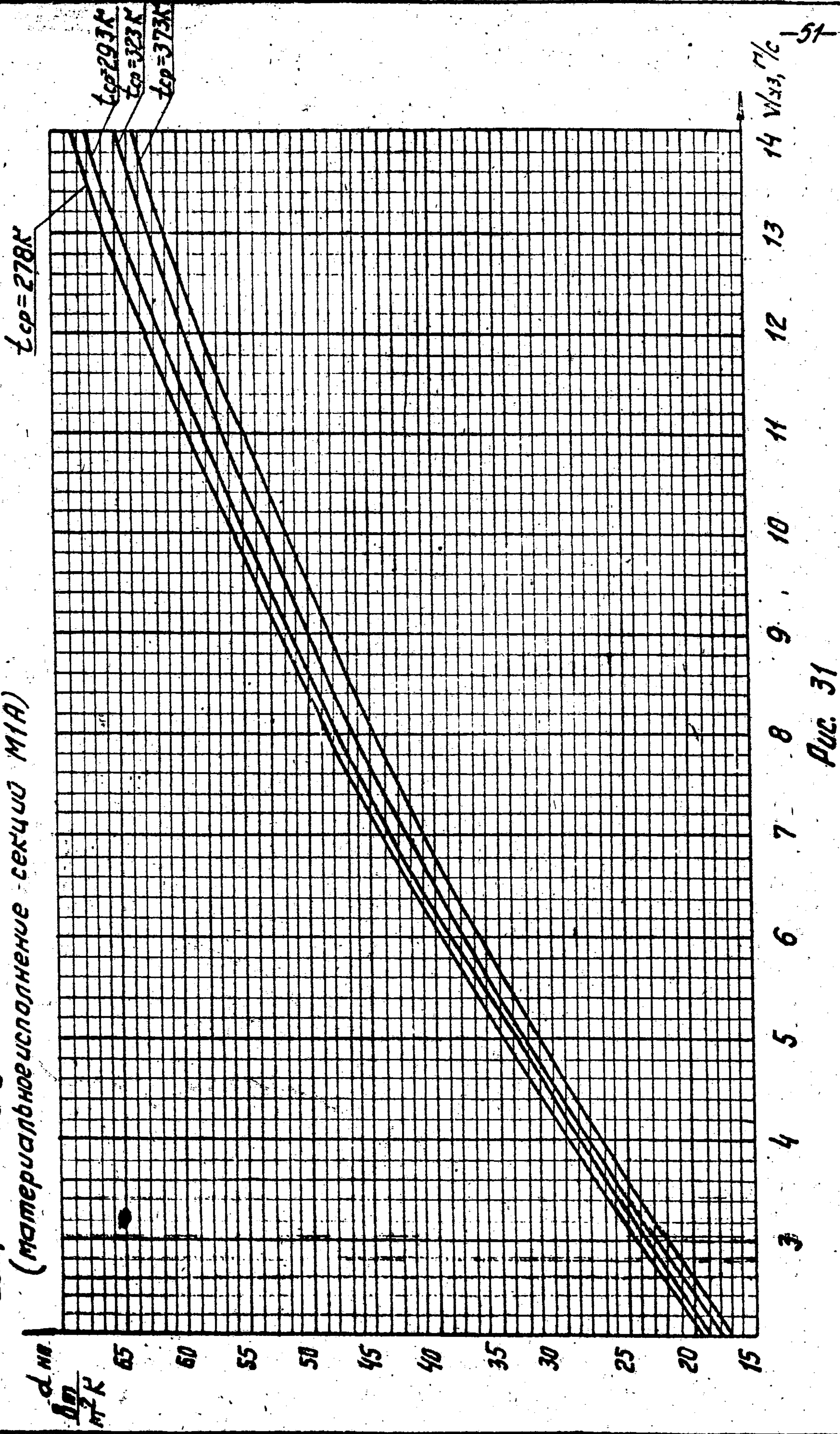


Рис. 31

Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении для труб с $\varphi=20$ (материальное исполнение секций Б1; Б2)

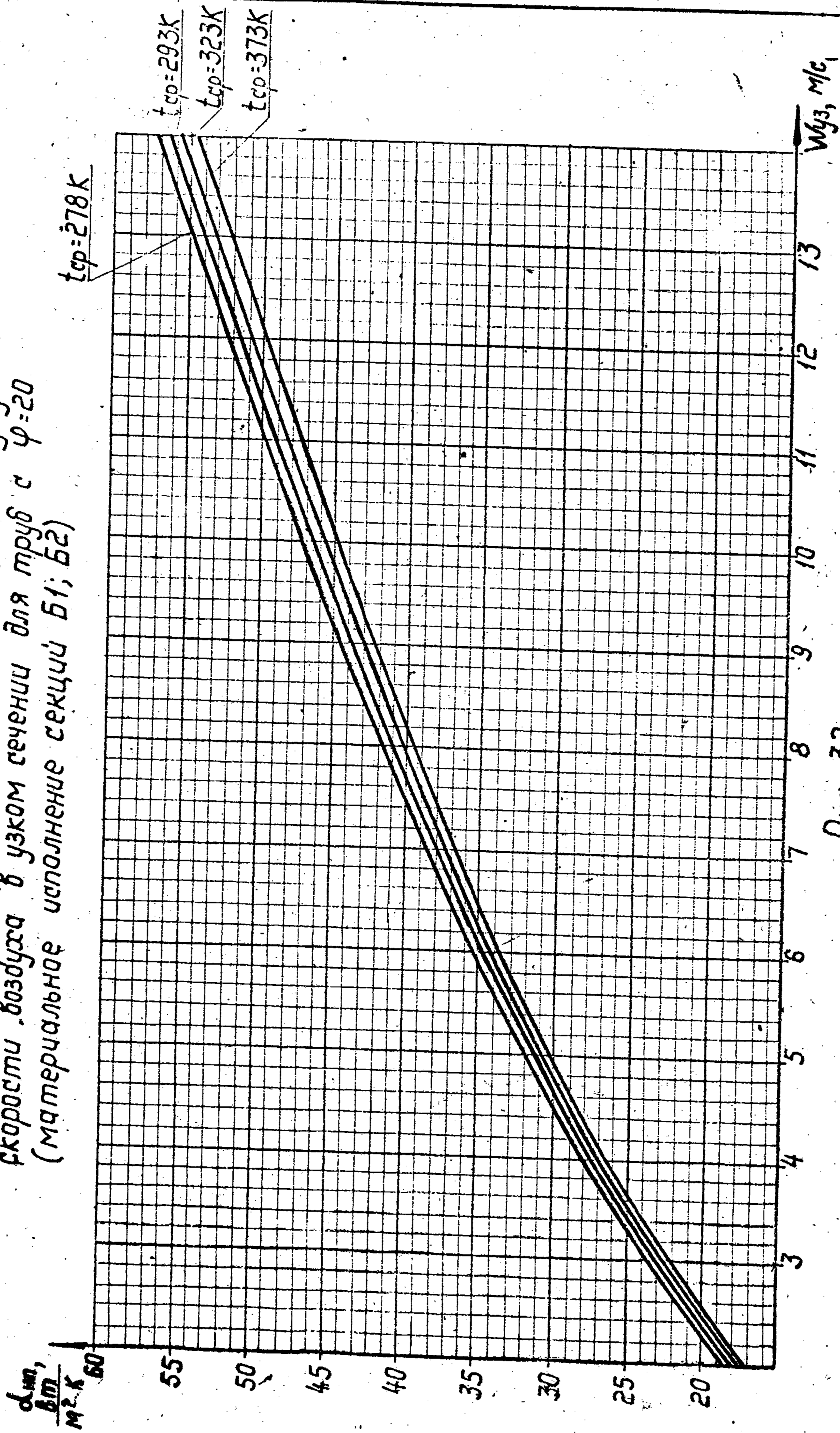
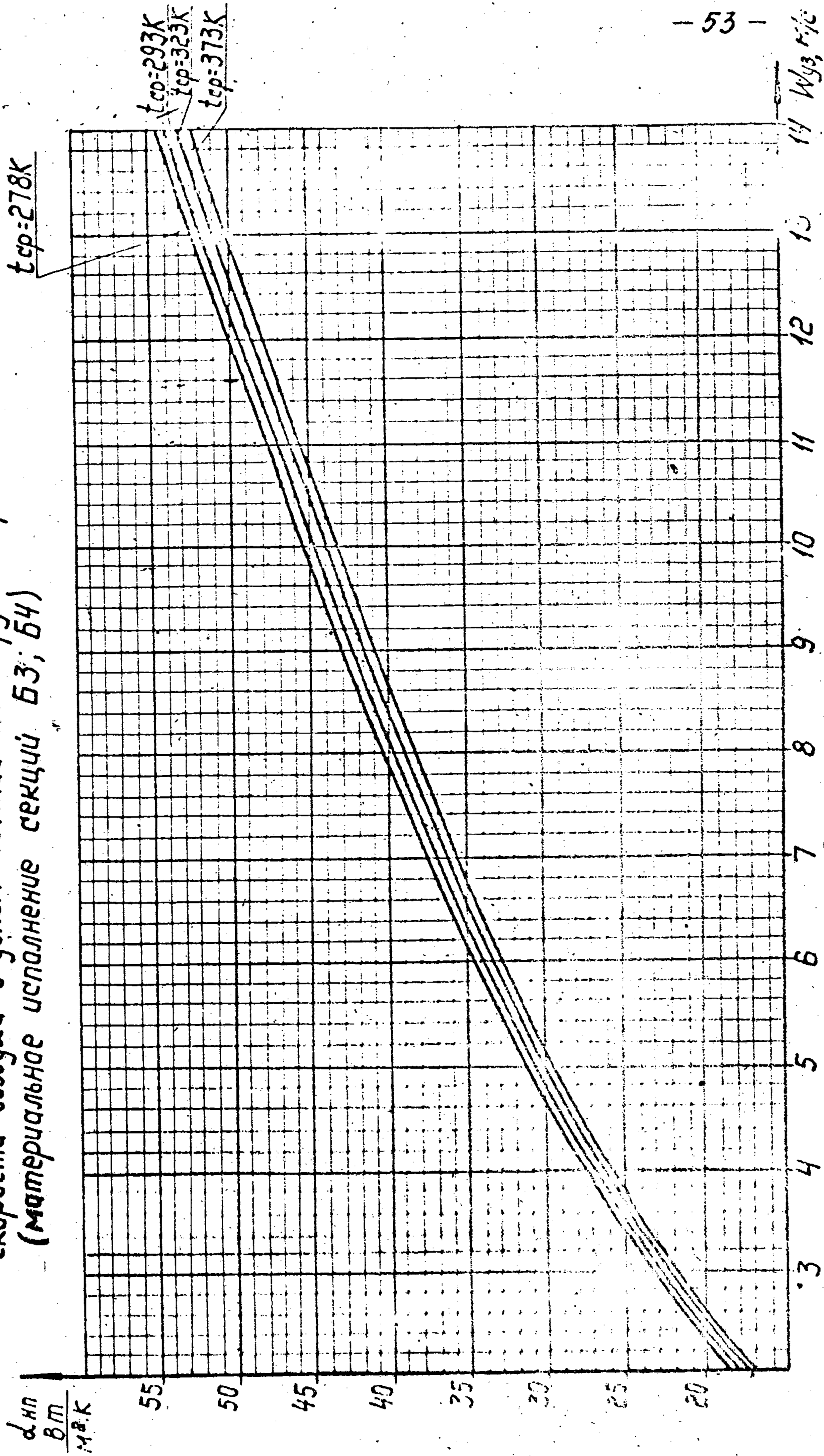


Рис. 32

Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении для труб с $\varphi = 20$ (материальное исполнение секций БЗ; БЧ)



Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении для труб с $\varphi=20$ (материальное исполнение секций Б5)

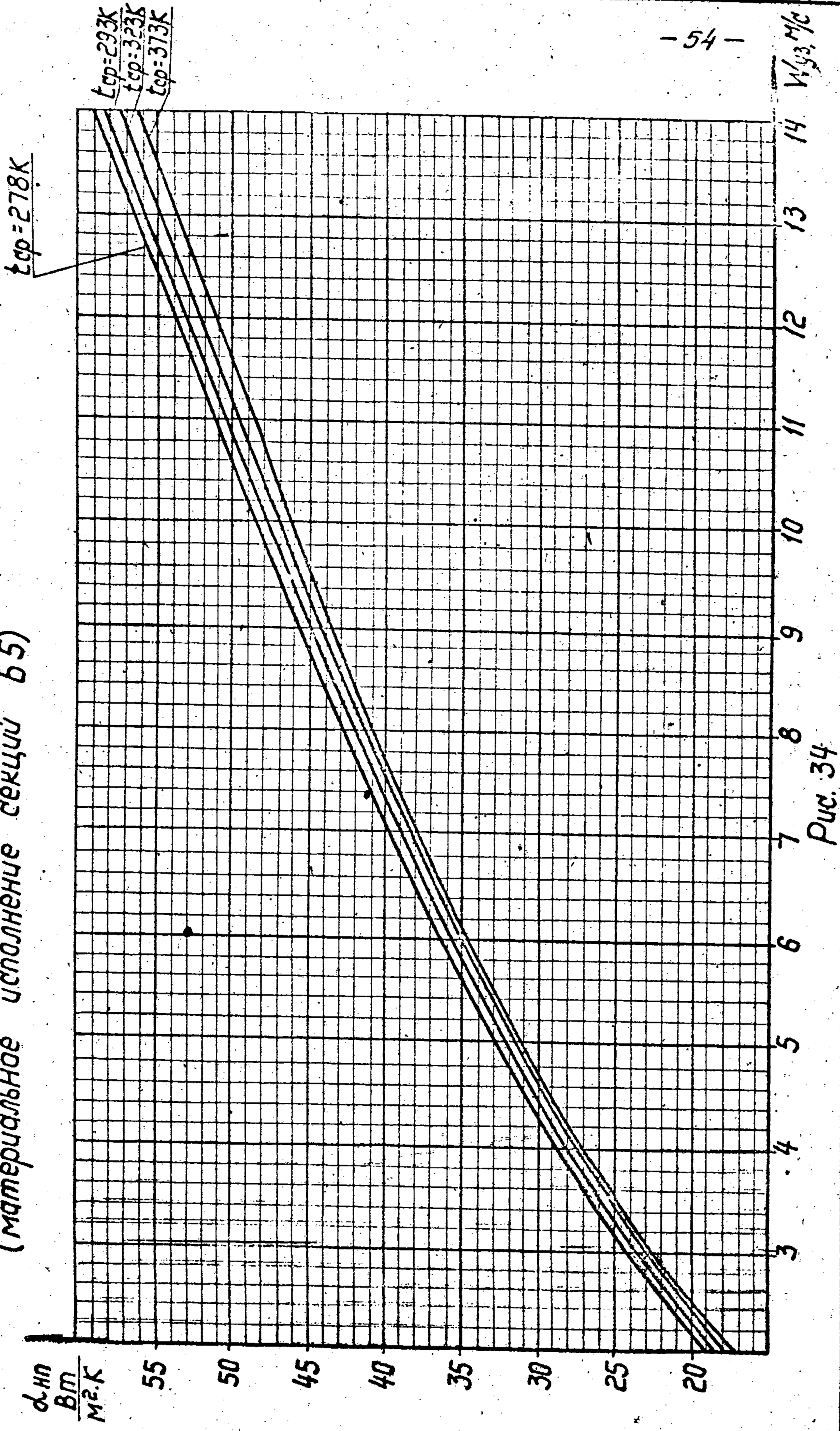


Рис. 34

Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении для труб с $\varphi=20$ (материальное исполнение секций М1А)

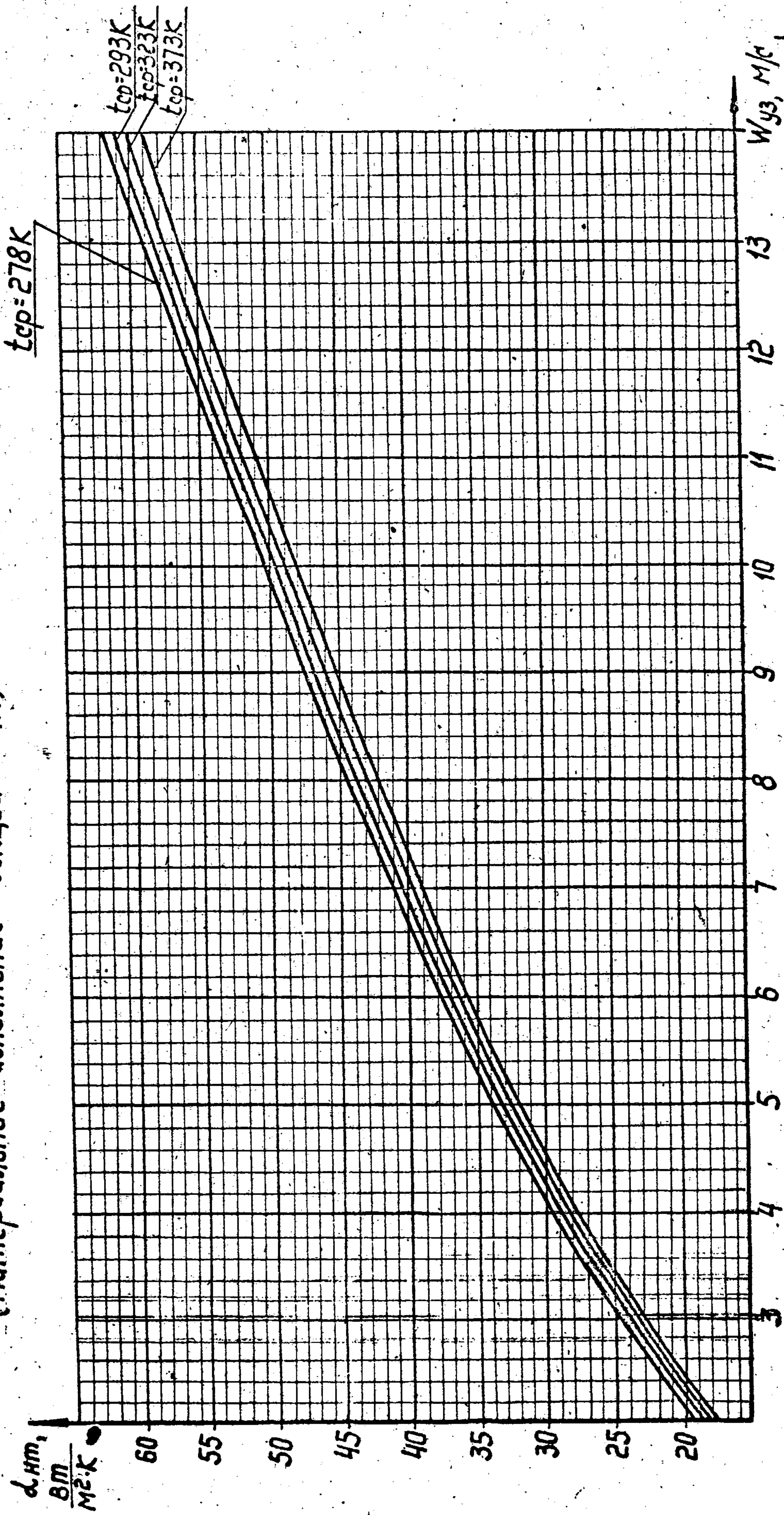


Рис. 35

Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении для труб с $\varphi=22$ (материальное исполнение секции Б1)

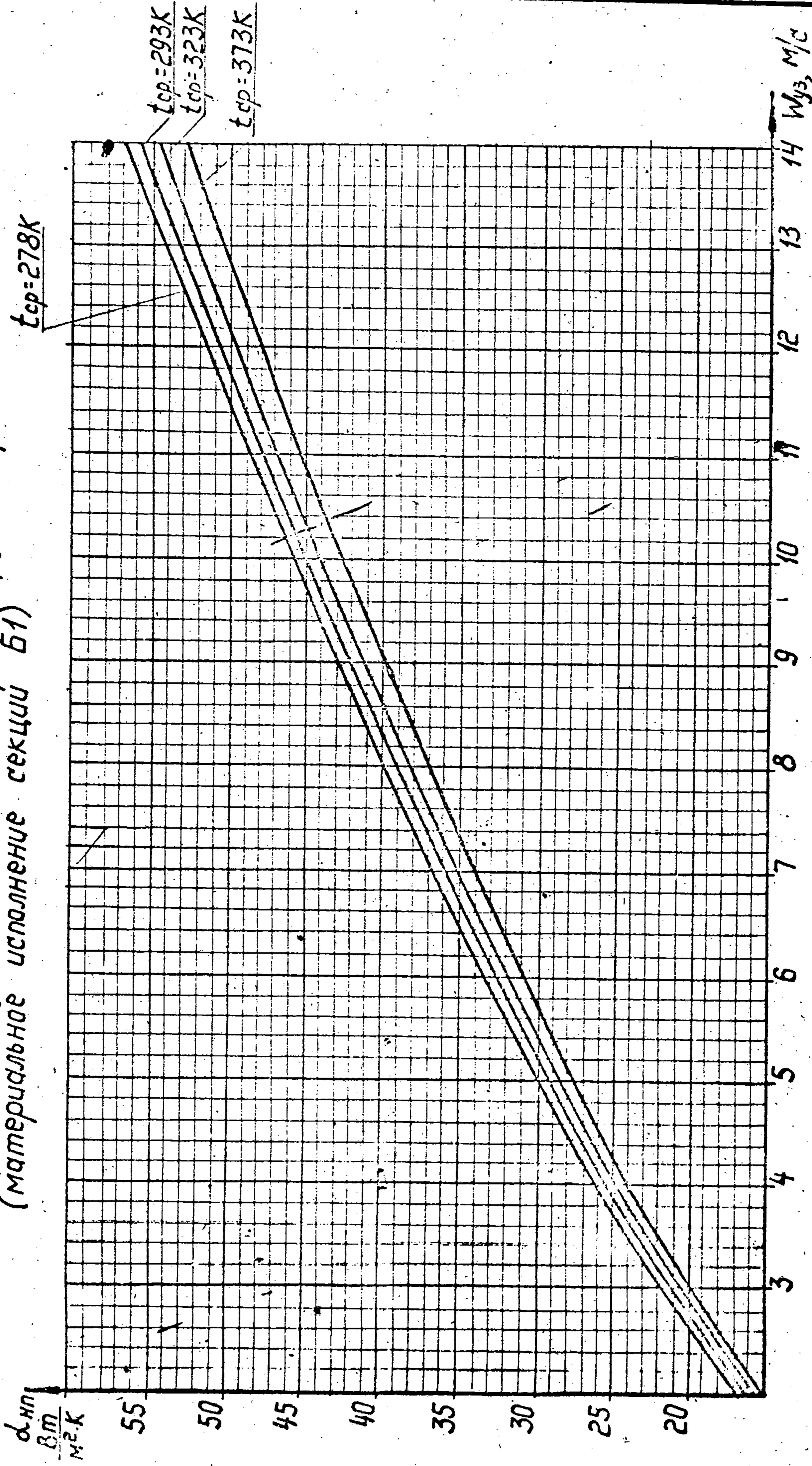
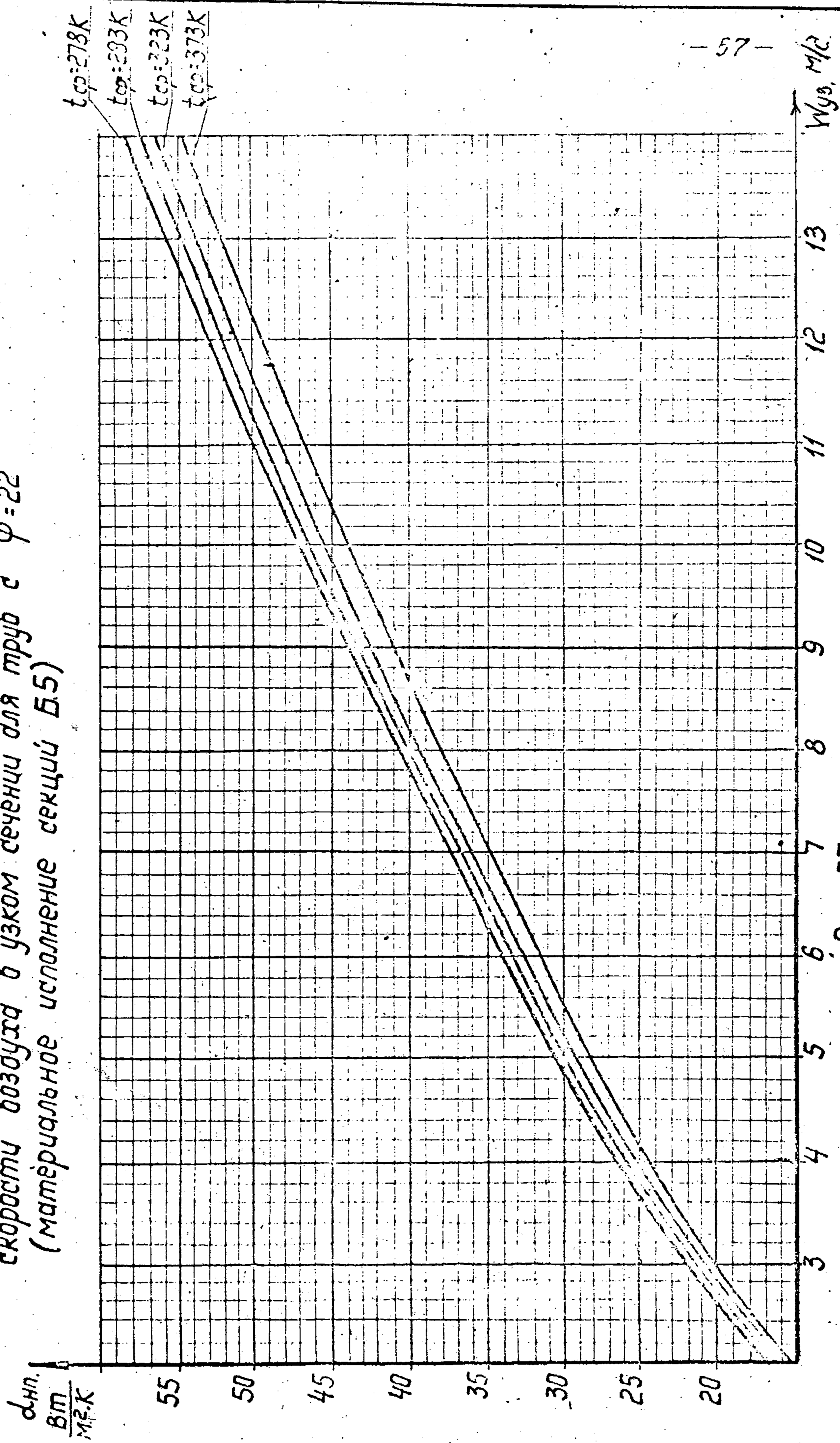


Рис. 36

Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении для труб с $\varphi = 22$ (материальное исполнение секции Б.5)



Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении в аппаратах АВГ-В

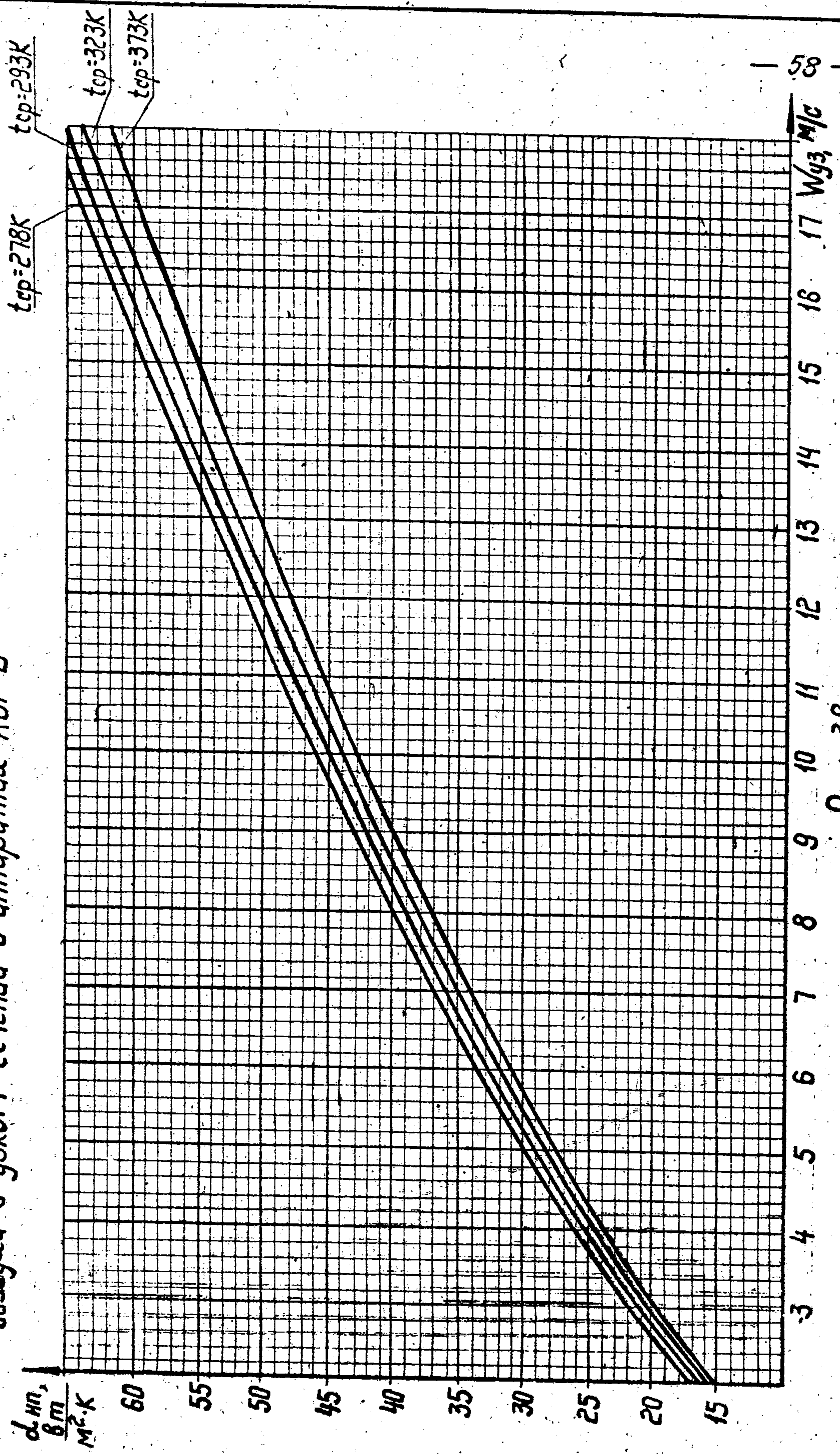


Рис. 38

Зависимость коэффициента теплоотдачи к воздуху от скорости воздуха в узком сечении в аппаратах АВГ-ВВП

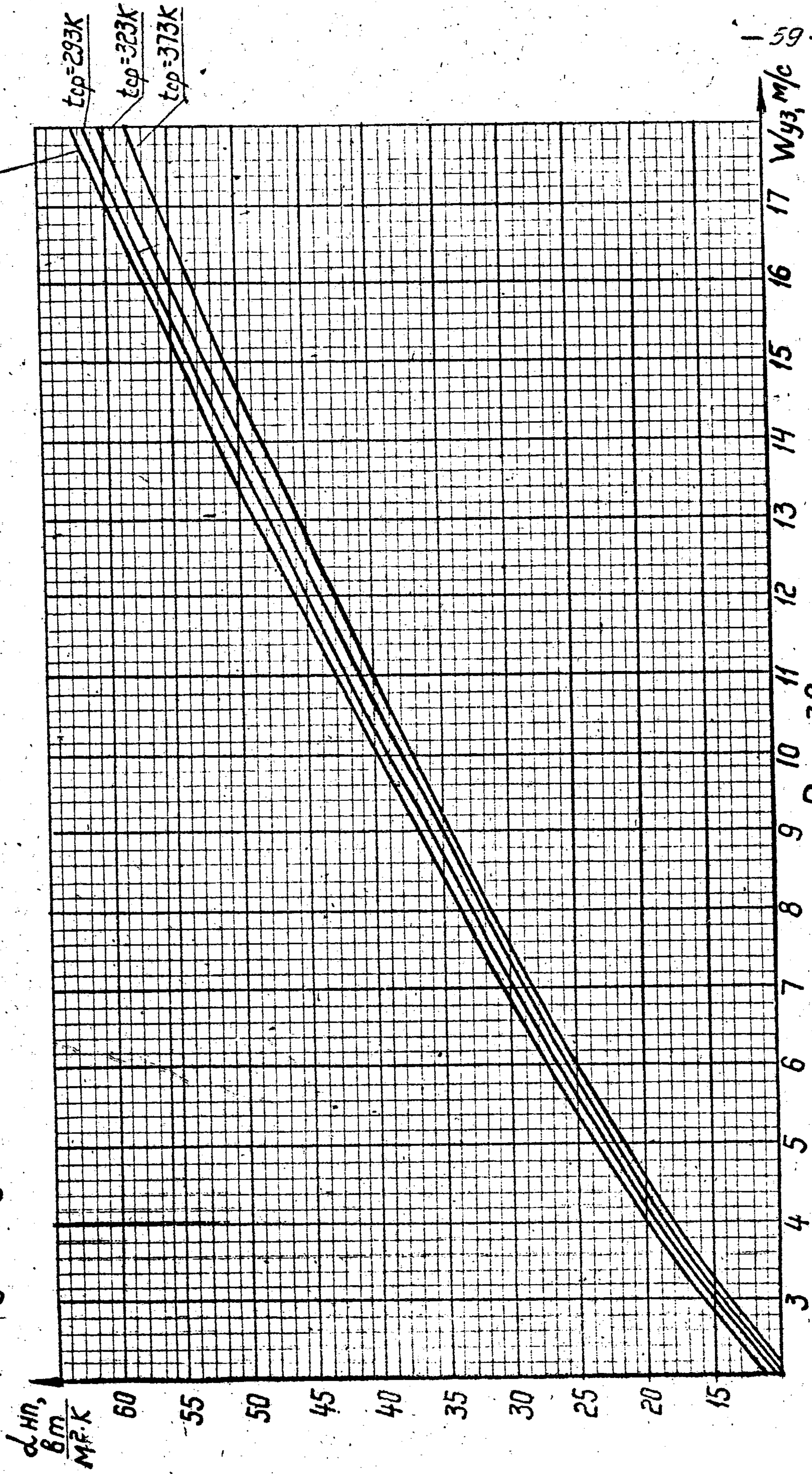


Рис. 39

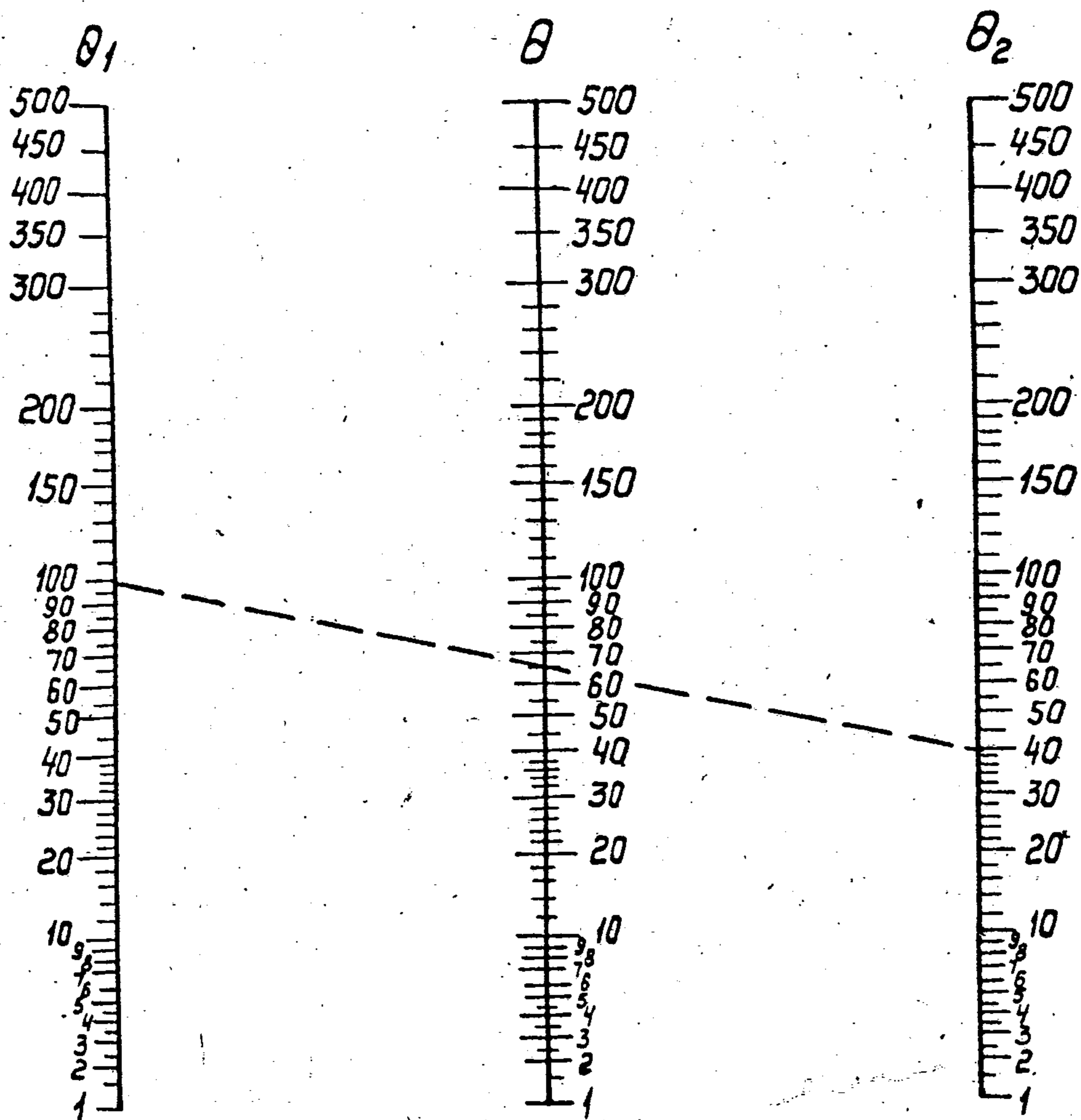


Рис. 40 Среднелогарифмический температурный напор.

$$\theta_1 = T_1 - t_2;$$

$$\theta_2 = T_2 - t_1.$$

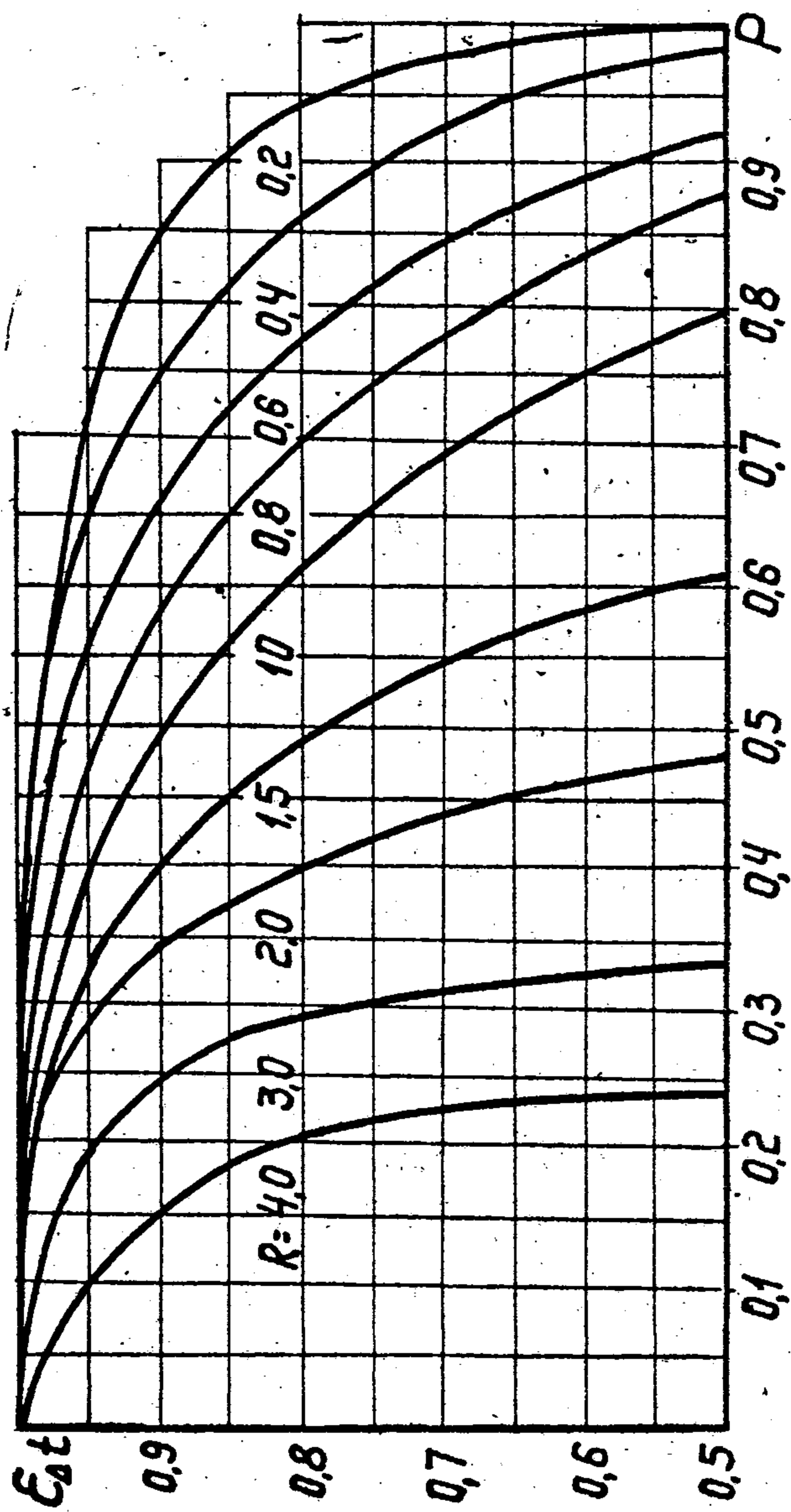


Рис. 41 Определение поправочного коэффициента ϵ_{At} при однократном перекрестном токе (один ход продукта).

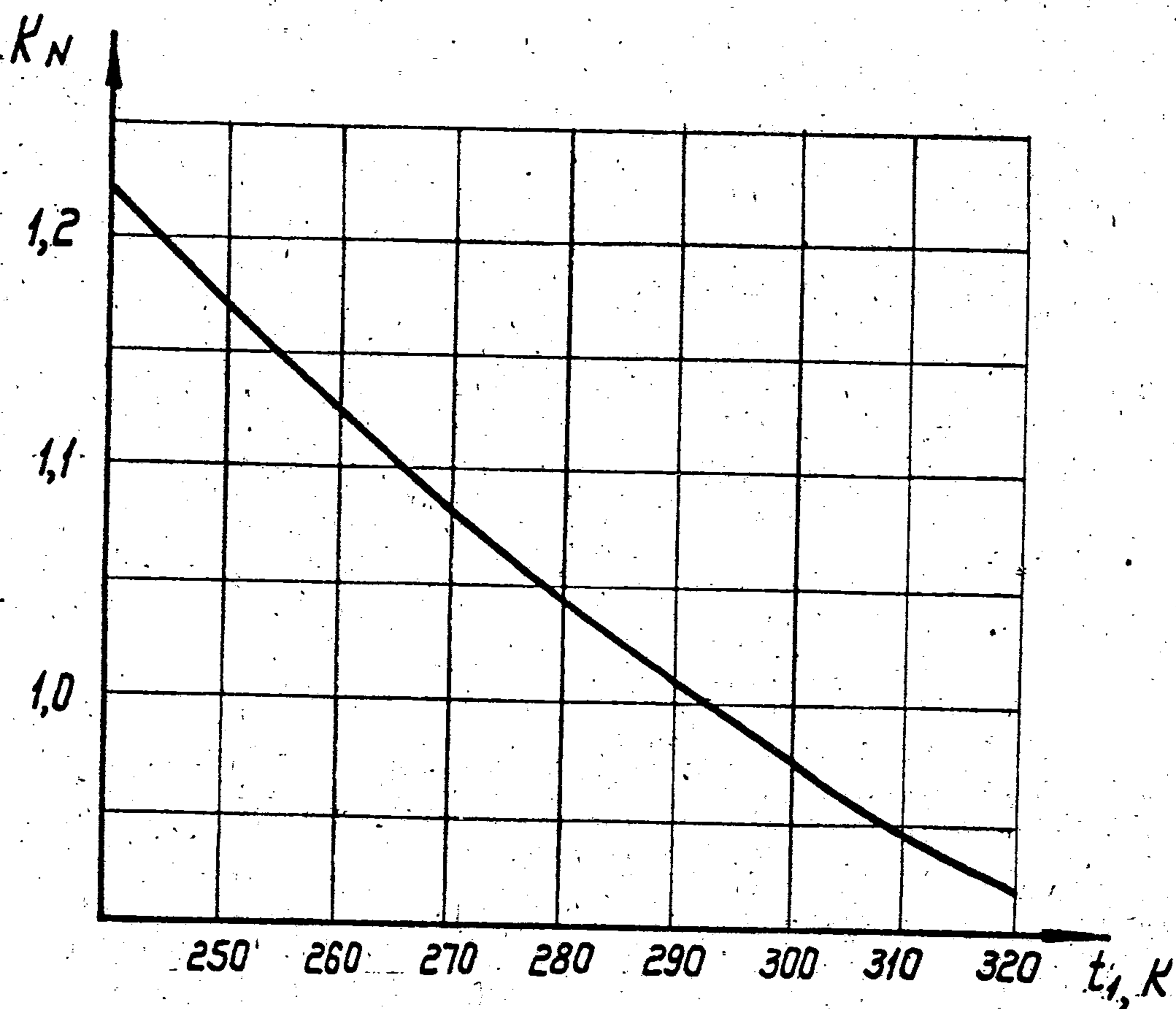


Рис. 42 Поправочный коэффициент к величине мощности, потребляемой вентилятором АВД, в зависимости от температуры окружающего воздуха.

Приложение I.

Тепловая характеристика аппаратов воздушного охлаждения.

Тепловая характеристика аппаратов воздушного охлаждения представляет собой отношение количества тепла, передаваемого в аппарате, к характеристической разности температур. Тепловая характеристика аппаратов воздушного охлаждения является функцией коэффициента теплоотдачи со стороны продукта внутри труб, характеризующего эффективность теплоотдачи с внутренней стороны; потребляемой вентилятором аппарата мощности, которая характеризует эффективность теплоотдачи со стороны воздуха, и геометрических параметров аппарата (полная поверхность аппарата по оребрению, коэффициент оребрения труб, коэффициент увеличения поверхности, компоновка трубного пучка).

Приведенная на рис. 43 + 47 зависимость тепловой характеристики аппаратов от величины $d_{вн}$ определена для аппаратов типа АВГ, АВЗ-Д, АВГ-В и АВГ-ВВП при мощности на валу электродвигателя вентилятора $N = 22$ кВт. Для аппаратов типа АВЗ зависимость тепловой характеристики от величины $d_{вн}$ определена при мощности на валу электродвигателя вентилятора аппарата $N = 37$ кВт. В случае принятия в качестве привода вентилятора электродвигателей другой мощности, приведенные на рисунках значения тепловой характеристики АВГ следует умножать на коэффициент K_2 , определяемый по следующим зависимостям:

а) для аппаратов типа АВГ, АВЗ-Д, АВГ-В и АВГ-ВВП при электродвигателях мощностью 30 кВт:

$$K_2 = 0,835 d_{вн}^{0,048}$$

б) для аппаратов типа АВГ, АВЗ-Д, АВГ-В и АВГ-ВВП при электродвигателях мощностью 37 (40) кВт:

$$K_2 = 0,775 d_{вн}^{0,068}$$

в) для аппаратов типа АВЗ при электродвигателях мощностью 75 кВт:

$$K_2 = 0,88 d_{вн}^{0,036}$$

г) для аппаратов типа АВЗ при электродвигателях мощностью 90 кВт:

$$K_2 = 0,862 d_{вн}^{0,045}$$

Приведенные на рис. 43+47 графики служат только для выбора типа аппарата при расчете в первом приближении и поэтому не могут заменить собой полный расчет АВО и его окончательный выбор.

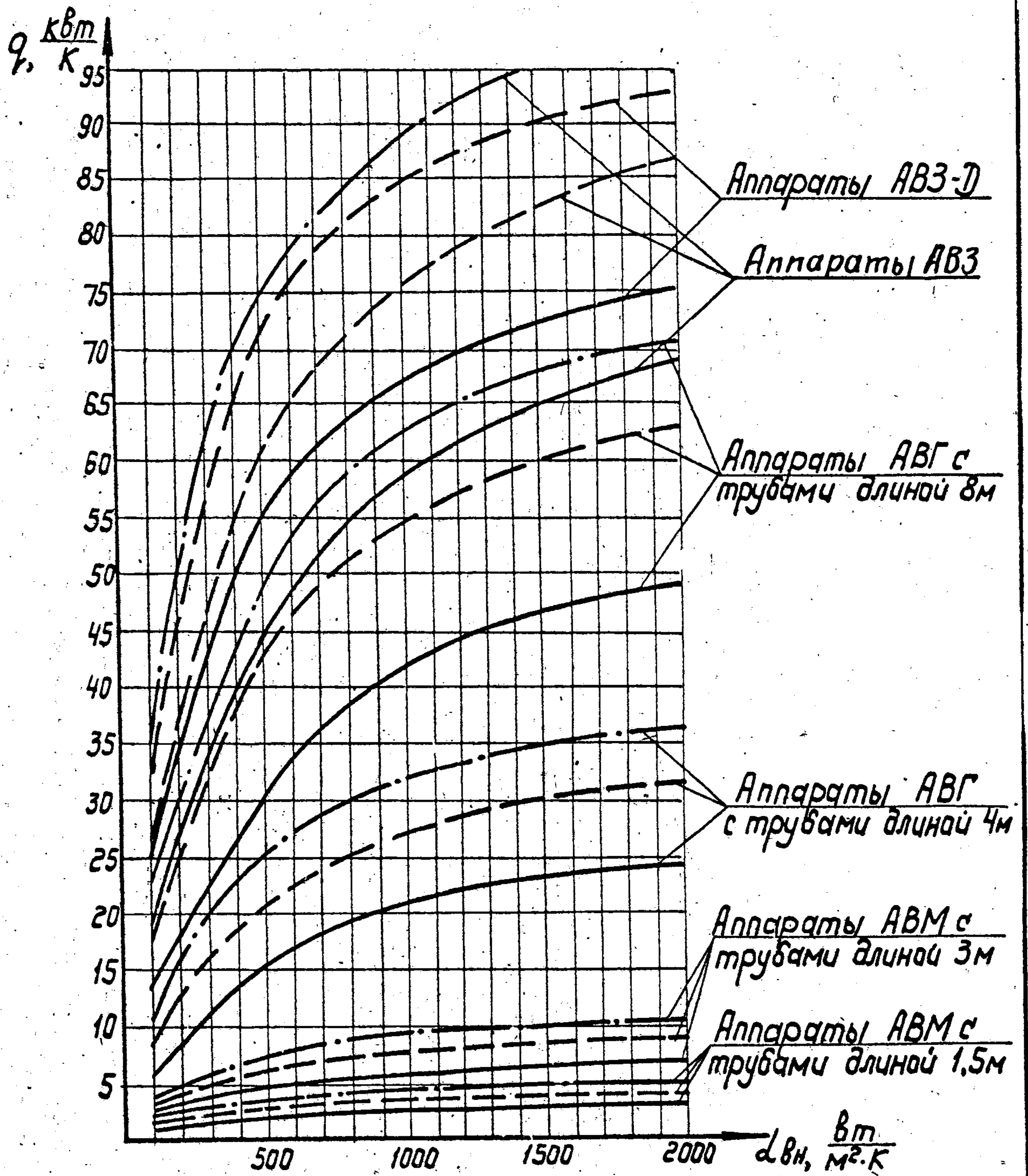


Рис. 43 Зависимость тепловой характеристики АВО с $\varphi=9$ от коэффициента теплоотдачи внутри труб

- - 8-ми рядные секции
- - 6-ти рядные секции
- - 4-х рядные секции

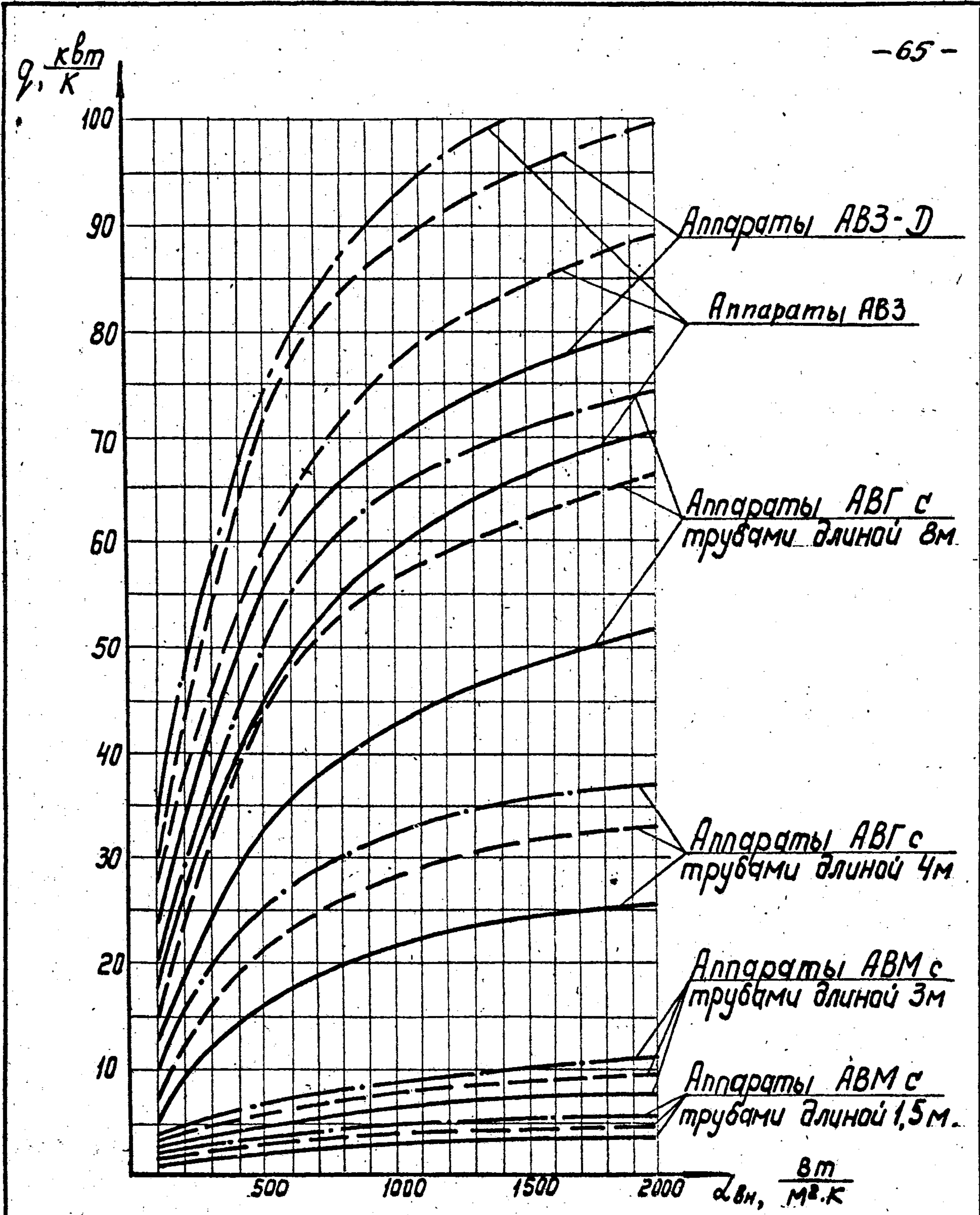


Рис. 44 Зависимость тепловой характеристики АВО с $\psi = 14,6$ от коэффициента теплоотдачи внутри труб.

- 8-ми рядные секции
- 6-ти рядные секции
- 4-х рядные секции

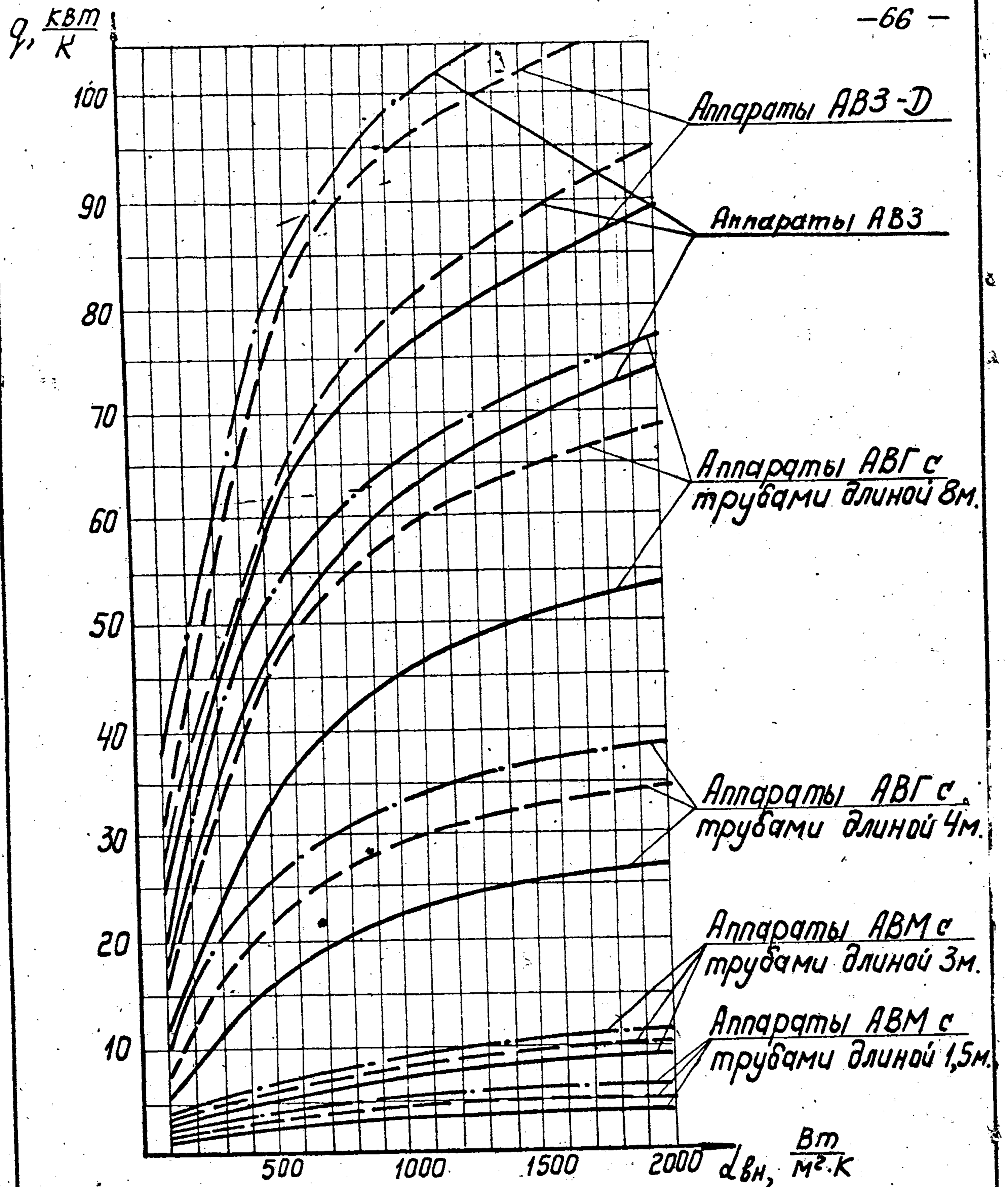


Рис. 45 Зависимость тепловой характеристики АВЗ с $\psi=20$ от коэффициента теплоотдачи внутри труб

- 8-ми рядные секции.
- - - 6-ти рядные секции
- 4-х рядные секции

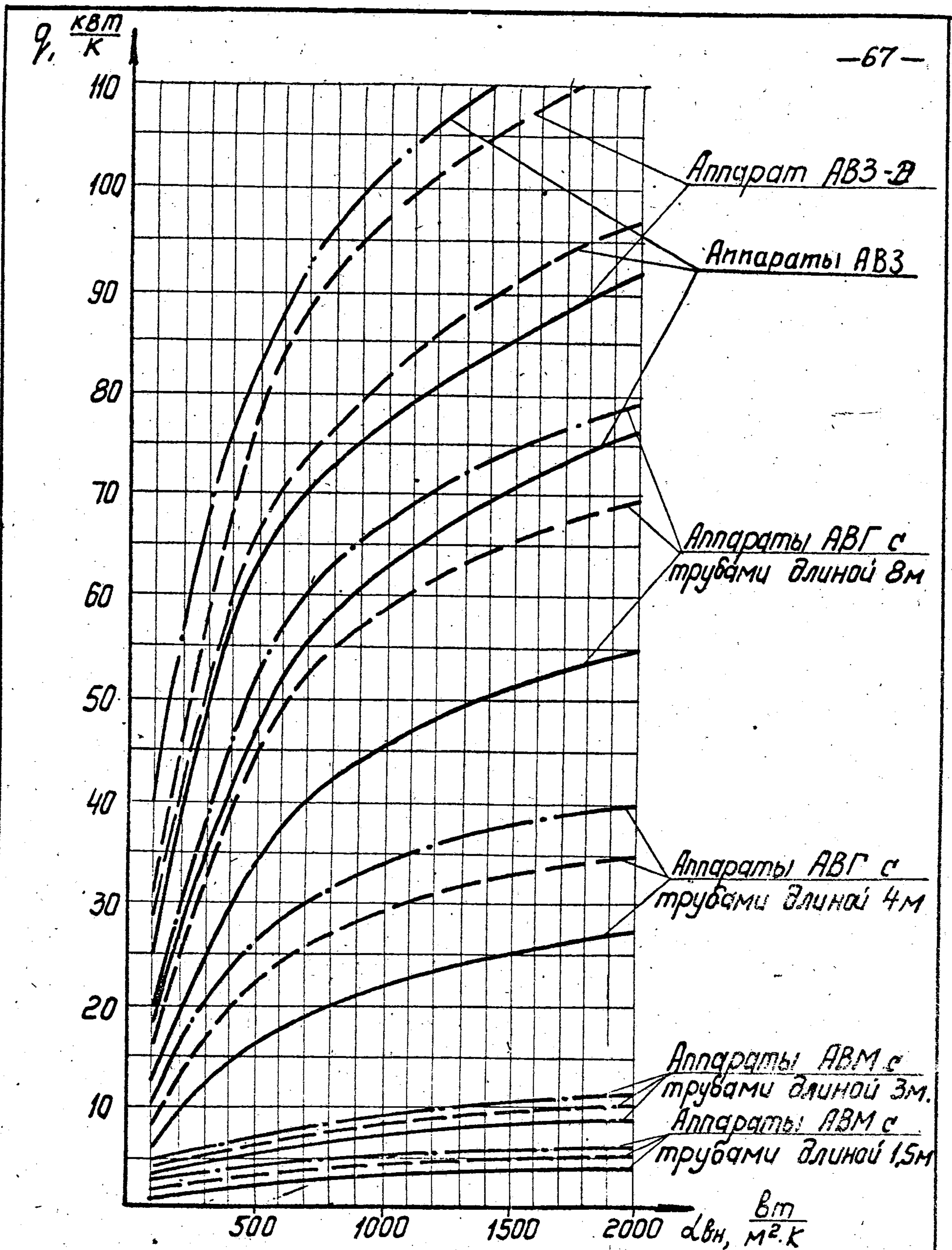


Рис. 46 Зависимость тепловой характеристики АВО с $f=22$ от коэффициента теплоотдачи внутри труб.

- · - - - - - - 8-ми рядные секции
- - - - - - - - 6-ти рядные секции
- - - - - - - - 4-х рядные секции

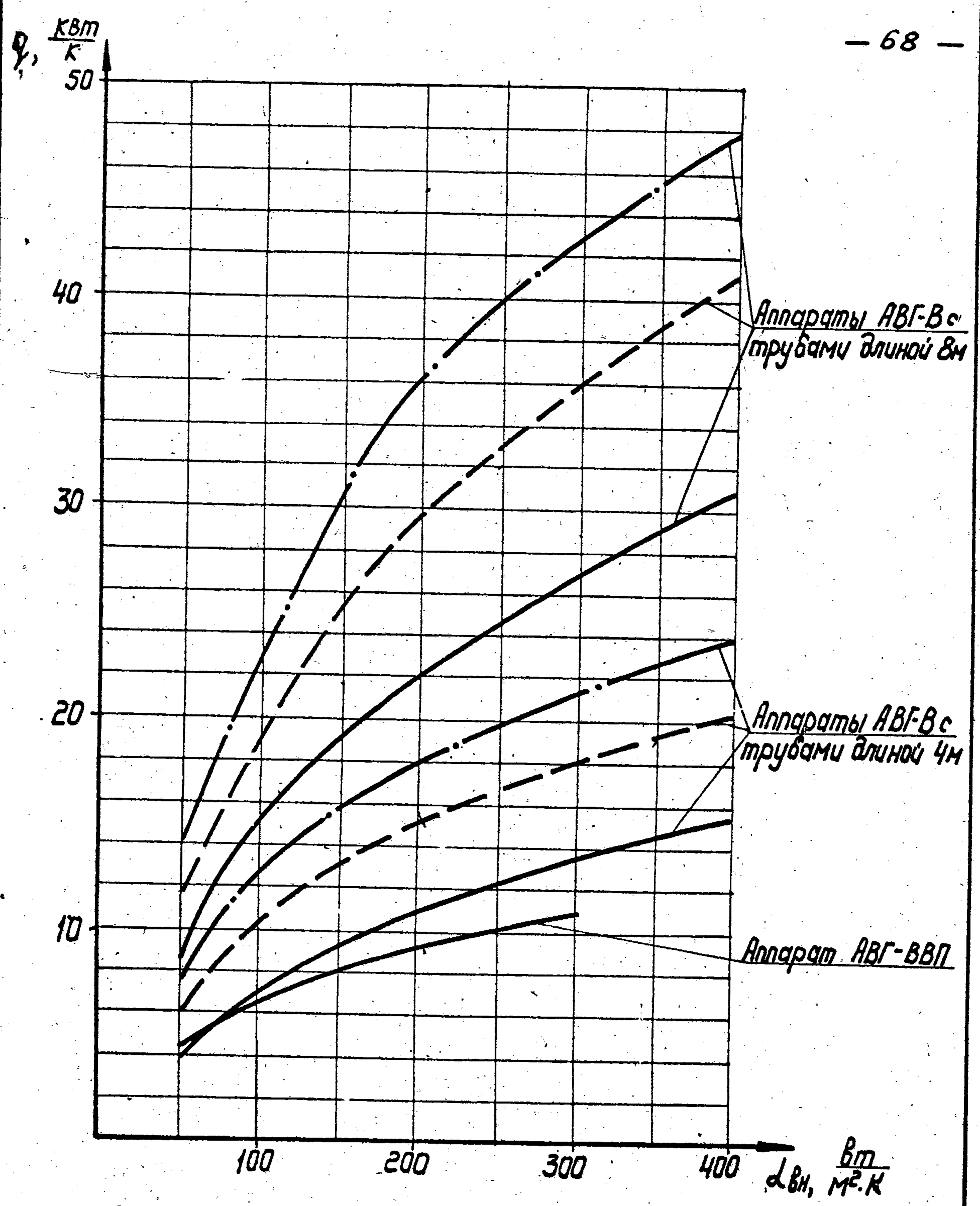


Рис. 47 Зависимость тепловой характеристики аппаратов АВГ-В и АВГ-ВВП от коэффициента теплоотдачи внутри труб.

- · — — — — 8-ми рядная секция
- - - - - 6-ти рядная секция .
- 4-х рядные секции

Приложение 2

РАСЧЕТ

коэффициента теплоотдачи со стороны продукта

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 [15] для α_k на наружной поверхности труб с введением поправочного коэффициента

$$\alpha_k = 5,623 K_1 \cdot C \sqrt{\frac{\rho \cdot g \cdot \lambda^3}{\nu}} \cdot \frac{\sqrt{\lambda}}{\sqrt{\rho(t_s - t_w)}}$$

α_k - коэффициент теплоотдачи, Вт/м²·К

K_1 - поправочный коэффициент, учитывающий особенности процесса конденсации внутри горизонтальных труб, определяются по рис. 48. При конденсации в вертикальных трубах $K_1 = 1$.

$C = 1,15$ для вертикальных труб,

$C = 0,72$ для горизонтальных труб,

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

ρ - плотность, кг/м³

λ - коэффициент теплопроводности, Вт/м·К

ν - кинематическая вязкость, м²/с

$\sqrt{\frac{\rho \lambda^3}{\nu}}$ - берется при средней температуре пленки t_m

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

t_s - температура насыщения (конденсации), К, t_w - температура стенки, К

λ - теплота парообразования, КДж/кг

$\sqrt{\lambda}$ - берется по температуре насыщения

$g = 9,81$ м/с² - ускорение свободного падения

Температуру стенки t_w рекомендуется определять методом последовательного приближения для чего первоначально задается некоторой температурой стенки, при которой производят расчет величины α_k . Затем, определяя значения $\theta_{ср}$ и $K_{ин}$ находят температуру внутренней поверхности стенки трубы по формуле:

$$T_{ст.вн} = T_{ст.н} - \frac{K \cdot \theta_{ср} \cdot \psi}{\alpha_k}$$

где $T_{cp} = \frac{T_1 + T_2}{2}$ - средняя температура охлаждаемого продукта. При расхождении величин t_w и $T_{ст.вн.}$ производится расчет во втором приближении. Расчет ведется до достижения удовлетворительной сходимости между t_w и $T_{ст.вн.}$.

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

$$\alpha_{в.п.} = (3400 + 100 \cdot W) \sqrt[3]{\frac{1.9}{l}}$$

Здесь: $\alpha_{в.п.}$ - коэффициент теплоотдачи со стороны водяного пара, Вт/м²·К

W - скорость пара на входе в трубу, м/с

l - длина трубы, м.

Для других паров конденсирующихся внутри горизонтальных труб можно принять соотношение [16]:

$$\alpha_n = \frac{\lambda_n}{\lambda_{в.п.}} \cdot \frac{\sqrt[3]{\frac{\rho_n^2}{\mu_n}}}{\sqrt[3]{\frac{\rho_{в.п.}^2}{\mu_{в.п.}}}} \cdot \alpha_{в.п.}$$

здесь: μ - динамическая вязкость, Па·с.

Физические параметры λ , ρ и μ принимаются соответственно рассчитываемых паров и водяного пара при температуре пленки t_m .

Наличие неконденсирующихся газов в составе конденсирующихся паров может учитываться в соответствии с рекомендациями [15].

3. Коэффициент теплоотдачи при охлаждении продукта

При турбулентном режиме движения продукта внутри труб коэффициент теплоотдачи определяется по следующей формуле [17]:

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

При развитом турбулентном режиме коэффициент теплоотдачи может быть определен по более простой формуле [17]

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

Для переходного режима движения ($2200 \leq Re \leq 10000$), при определении коэффициента теплоотдачи в вышеуказанные формулы необходимо вводить поправочный коэффициент $\varphi_{лс}$, который определяется по графику рис. 49.

При ламинарном режиме ($Re < 2200$), коэффициент теплоотдачи определяется по формуле [17]:

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

Здесь: $Re = \frac{W_{\text{вн.}} d_{\text{вн.}}}{\nu}$ - критерий Рейнольдса

$$Pr = \frac{\nu \cdot \rho \cdot c_p \cdot 1000}{\lambda} \quad - \text{критерий Прандтля}$$

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

β - коэффициент объемного расширения, $1/\text{K}$

Δt - разность температур продукта и стенки, K

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

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

Для аппаратов АВГ-В и АВГ-ВВ коэффициент теплоотдачи со стороны продукта может быть определен также по следующей формуле:

$$\alpha_{\text{вн.}} = 0,15 \frac{\lambda}{d_3} Re_f^{0,33} \cdot Pr_f^{0,33} \cdot Gr_f^{0,1} \left(\frac{Pr_f}{Pr_w} \right)^{0,25} \varphi$$

Значение коэффициента φ приведено на рис. 50.

d_3 - эквивалентный диаметр, равный для труб, примененных в аппарате АВГ-В:

$$d_3 = 0,018 \text{ м}$$

для труб примененных в аппарате АВГ-ВВВ:

$$d_3 = 0,051 \text{ м}$$

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

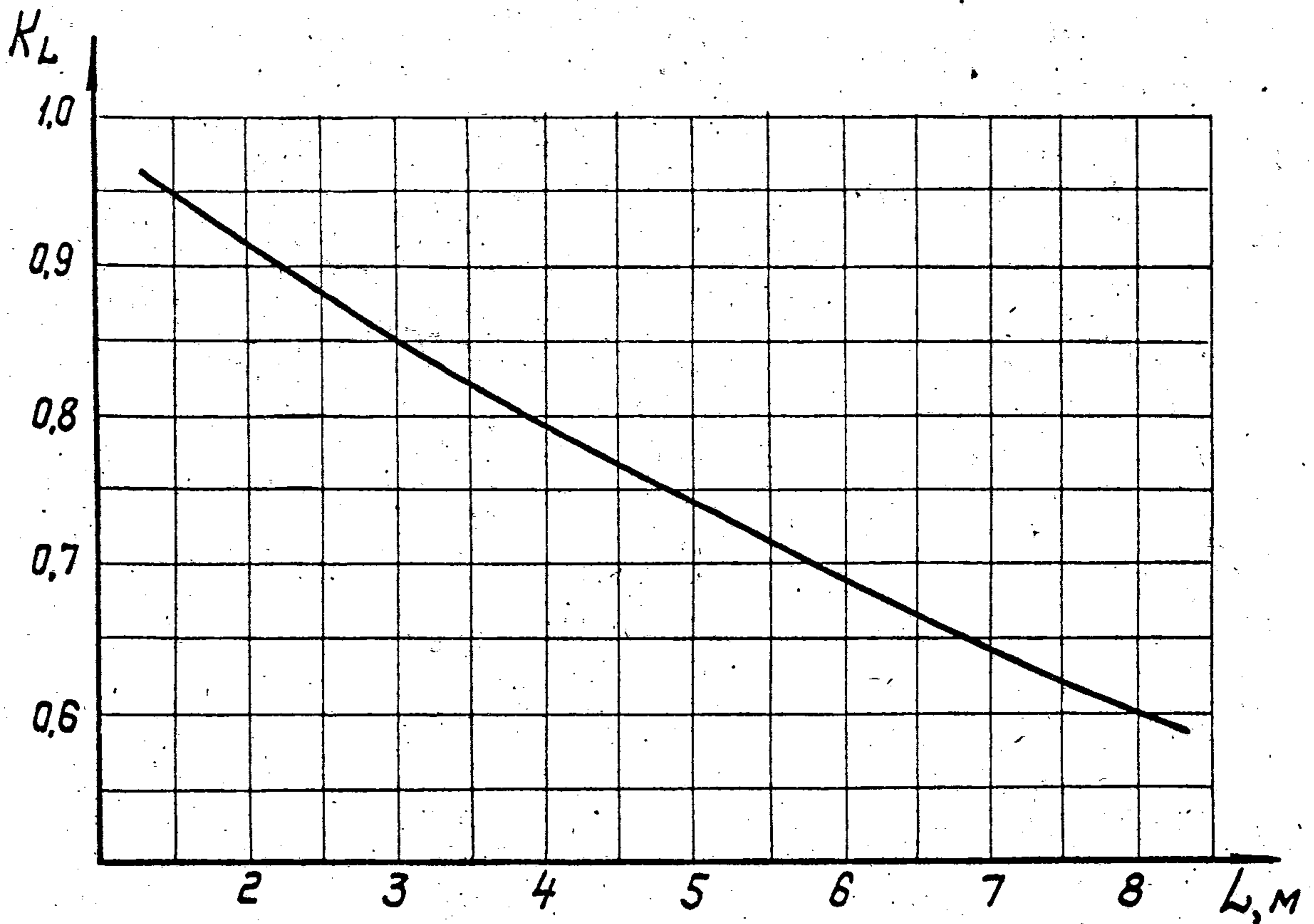
$$\alpha = \frac{d_1 \cdot G_1 + d_2 \cdot G_2 + \dots + d_n \cdot G_n}{G}$$

где: d_1, d_2, \dots, d_n - коэффициенты теплоотдачи отдельных компонентов (фракций), $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{K}$

G_1, G_2, \dots, G_n - расход отдельных компонентов, $\text{кг}/\text{с}$

G - полный весовой расход продукта, $\text{кг}/\text{с}$.

Коэффициенты теплоотдачи при охлаждении продуктов можно рассчитывать также по формулам, приведенным в [18].



L - длина горизонтальной трубы

Рис. 48 Поправочный коэффициент, учитывающий наличие пленки конденсата при конденсации внутри горизонтальных труб.

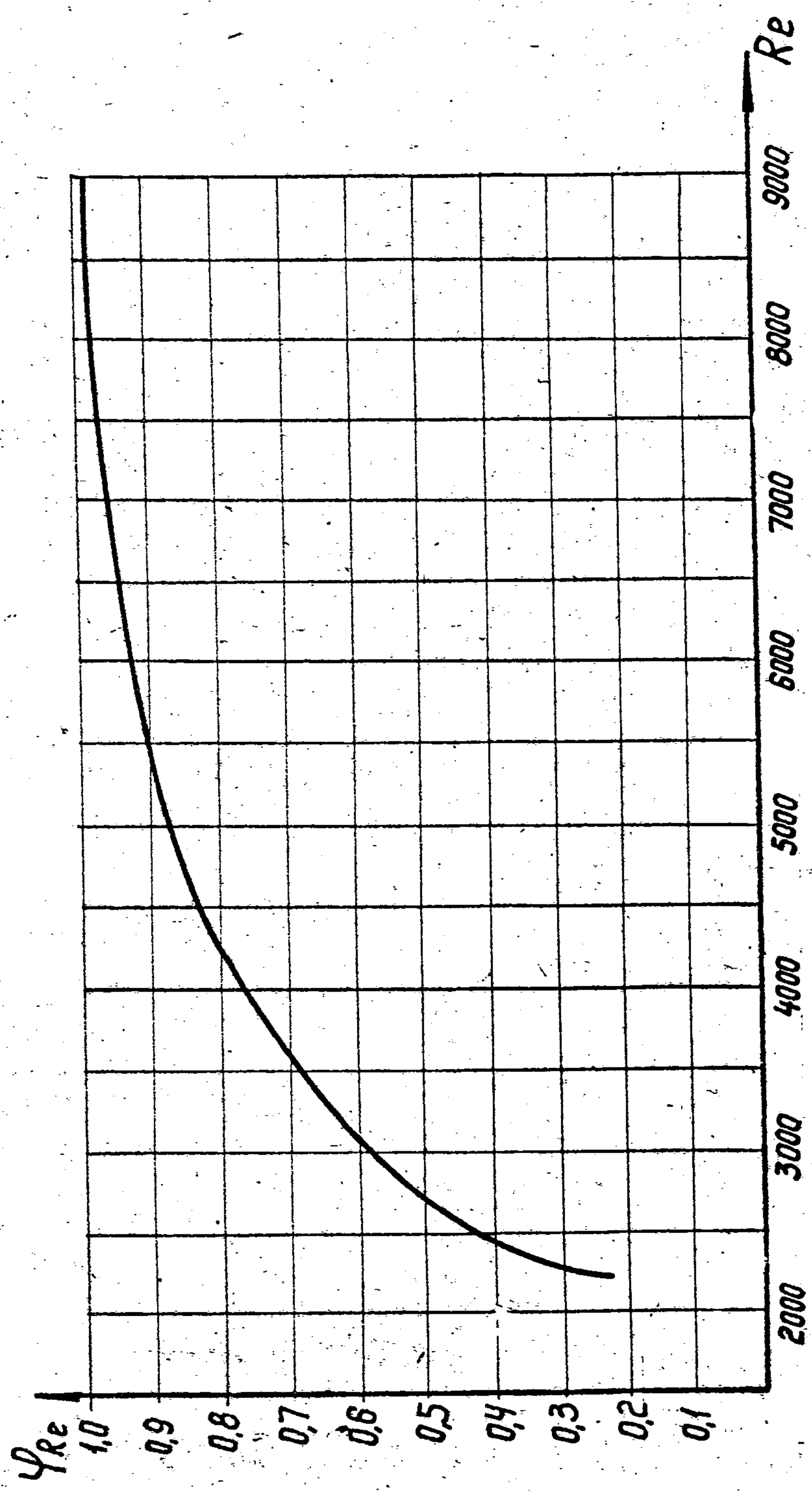


Рис. 49 Поправочный коэффициент ψ_{Re} для переходного режима ($2000 < Re < 10000$).

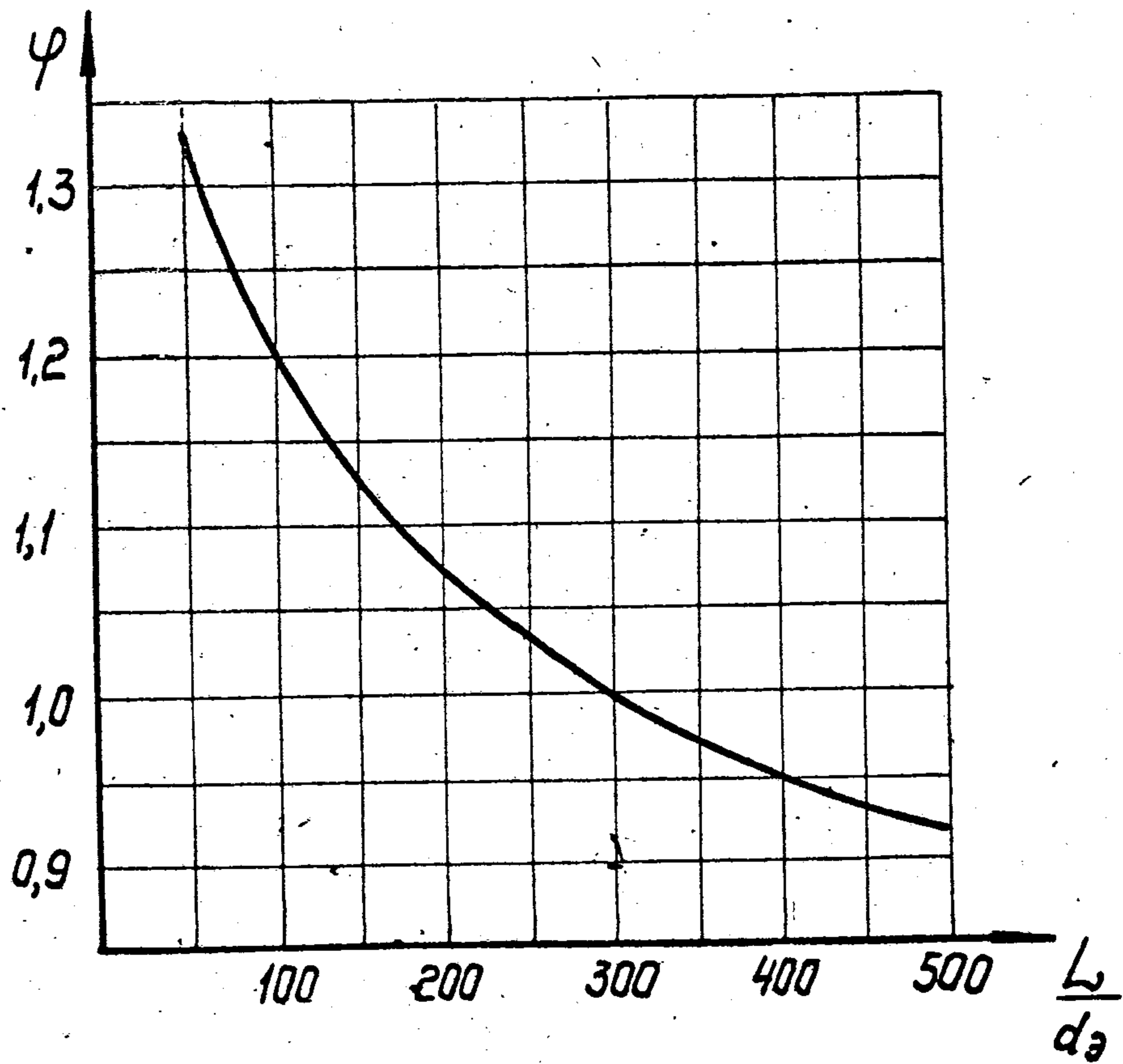


Рис. 50 Поправка на относительную длину
трубы (канала).

L - длина труб

d_a - эквивалентный диаметр

Четко рассчитать для
труб
перегородки

Какие трубы использовать, а какие нет

-75-

Приложение 3

Гидродинамический расчет

Гидродинамическое сопротивление при движении продукта внутри труб складывается из потерь на трение и местные сопротивления и определяется по следующей общеизвестной формуле 17 :

$$\Delta P_{\text{вн.}} = \sum \xi \frac{L}{d_{\text{вн.}}} \cdot \frac{w_{\text{вн.}}^2 \rho}{2} + \sum \xi \frac{w_{\text{вн.}}^2 \rho}{2}$$

Здесь: $\Delta P_{\text{вн.}}$ — суммарные гидравлические потери, Па

L — длина труб, м

$w_{\text{вн.}}$ — скорость (средняя) продукта в трубах, м/с

ρ — плотность продукта при $T_{\text{ср}}$, кг/м³

ξ — коэффициент сопротивления трения.

При ламинарном режиме движения жидкости

$$\xi = \frac{64}{Re} \quad Re = \frac{w_{\text{вн.}} \cdot d_{\text{вн.}}}{\nu}$$

ν — кинематическая вязкость при $T_{\text{ср}}$, м²/с.

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

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

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

Здесь: z — 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 | 0,1 |
| Стальные, с некорродирующими газами и парами (водяной пар, воздух) | 0,1 |
| Стальные, с некорродирующими жидкостями (вода, нефть, спирт) | 0,2 |
| Стальные, со слабо корродирующими жидкостями (NH_3 , артезианская вода) | 0,3-0,5 |
| Стальные с сильно корродирующими жидкостями ($NaCl$, $CaCl_2$) и газами | 0,8 |

ξ - коэффициент местных сопротивлений
Рекомендуемые значения ξ , отнесенные к средним скоростям
продукта в трубах :

1. Входная и выходная камера (удар и поворот)

$$\xi_1 = 1,5$$

2. Поворот на 180° между ходами и секциями

$$\xi_2 = 2,5$$

3. Вход в трубы или выход из них

$$\xi_3 = 1,0$$

Физические параметры сухого воздуха

при $B = 1013$ ГПа

Таблица 14

| K | ρ кг/м ³ | C_p кДж/кг·К | $\lambda \cdot 10^2$ Вт/(м·К) | $\alpha \cdot 10^4$ м ² /с | $\mu \cdot 10^5$ Па·с | $\nu \cdot 10^6$ м ² /с | ρ_r |
|------|-----------------------------|-------------------|----------------------------------|--|--------------------------|---------------------------------------|----------|
| 223 | 1,584 | 1,013 | 2,04 | 0,126 | 1,49 | 9,23 | 0,728 |
| 233 | 1,515 | 1,013 | 2,12 | 0,138 | 1,55 | 10,04 | 0,728 |
| 243 | 1,453 | 1,013 | 2,20 | 0,149 | 1,60 | 10,80 | 0,723 |
| 253 | 1,395 | 1,009 | 2,28 | 0,162 | 1,65 | 12,79 | 0,716 |
| 263 | 1,342 | 1,009 | 2,36 | 0,174 | 1,70 | 12,43 | 0,712 |
| 273 | 1,293 | 1,005 | 2,44 | 0,188 | 1,75 | 13,28 | 0,707 |
| 283 | 1,247 | 1,005 | 2,51 | 0,20 | 1,80 | 14,16 | 0,705 |
| 293 | 1,205 | 1,005 | 2,59 | 0,214 | 1,85 | 15,06 | 0,703 |
| 303 | 1,165 | 1,005 | 2,67 | 0,229 | 1,90 | 16,00 | 0,701 |
| 313 | 1,128 | 1,005 | 2,76 | 0,249 | 1,95 | 16,96 | 0,699 |
| 323 | 1,093 | 1,005 | 2,83 | 0,257 | 2,0 | 17,95 | 0,698 |
| 333 | 1,060 | 1,005 | 2,89 | 0,272 | 2,05 | 18,97 | 0,696 |
| 343 | 1,029 | 1,009 | 2,96 | 0,286 | 2,10 | 20,02 | 0,694 |
| 353 | 1,000 | 1,009 | 3,05 | 0,302 | 2,16 | 21,09 | 0,692 |
| 363 | 0,972 | 1,009 | 3,13 | 0,319 | 2,19 | 22,10 | 0,690 |
| 373 | 0,946 | 1,009 | 3,21 | 0,336 | 2,23 | 23,13 | 0,688 |
| 393 | 0,898 | 1,009 | 3,34 | 0,368 | 2,33 | 25,45 | 0,686 |
| 413 | 0,854 | 1,013 | 3,49 | 0,403 | 2,42 | 27,80 | 0,684 |
| 433 | 0,815 | 1,017 | 3,64 | 0,438 | 2,50 | 30,09 | 0,682 |
| 453 | 0,779 | 1,022 | 3,78 | 0,475 | 2,58 | 32,49 | 0,681 |
| 473 | 0,746 | 1,025 | 3,93 | 0,513 | 2,65 | 34,85 | 0,680 |
| 523 | 0,674 | 1,038 | 4,27 | 0,610 | 2,79 | 40,61 | 0,677 |
| 573 | 0,615 | 1,047 | 4,61 | 0,715 | 3,03 | 48,33 | 0,674 |
| 623 | 0,566 | 1,059 | 4,91 | 0,818 | 3,20 | 55,45 | 0,676 |
| 673 | 0,524 | 1,068 | 5,21 | 0,931 | 3,37 | 63,09 | 0,678 |
| 773 | 0,456 | 1,093 | 5,74 | 1,153 | 3,69 | 79,38 | 0,687 |
| 873 | 0,404 | 1,114 | 6,22 | 1,382 | 3,99 | 96,89 | 0,699 |
| 973 | 0,362 | 1,135 | 6,71 | 1,634 | 4,26 | 115,4 | 0,706 |
| 1073 | 0,329 | 1,156 | 7,18 | 1,887 | 4,52 | 134,8 | 0,713 |

Физические параметры сухого воздуха

-78-

при $P = 981$ ГПа

Таблица 15

| K | $\rho_{\text{кг/м}^3}$ | C_p кДж/(кг·К) | $\lambda \cdot 10^2$ Вт/м·К | $\alpha \cdot 10^4$ м ² /с | $\mu \cdot 10^5$ Па·с | $\nu \cdot 10^6$ м ² /с | P_r |
|------|------------------------|---------------------|--------------------------------|--|--------------------------|---------------------------------------|-------|
| 223 | 1,534 | 1,013 | 2,04 | 0,131 | 1,49 | 9,54 | 0,726 |
| 253 | 1,365 | 1,009 | 2,25 | 0,165 | 1,66 | 11,93 | 0,724 |
| 273 | 1,252 | 1,005 | 2,37 | 0,187 | 1,75 | 13,70 | 0,723 |
| 283 | 1,206 | 1,005 | 2,45 | 0,201 | 1,81 | 14,70 | 0,722 |
| 293 | 1,164 | 1,013 | 2,52 | 0,213 | 1,86 | 15,70 | 0,722 |
| 313 | 1,092 | 1,013 | 2,65 | 0,24 | 1,96 | 17,60 | 0,722 |
| 333 | 1,025 | 1,017 | 2,80 | 0,268 | 2,05 | 19,60 | 0,722 |
| 353 | 0,968 | 1,022 | 2,93 | 0,295 | 2,14 | 21,70 | 0,722 |
| 373 | 0,916 | 1,022 | 3,07 | 0,327 | 2,22 | 23,78 | 0,722 |
| 393 | 0,870 | 1,025 | 3,20 | 0,358 | 2,32 | 26,20 | 0,722 |
| 413 | 0,827 | 1,025 | 3,33 | 0,39 | 2,40 | 28,45 | 0,722 |
| 433 | 0,789 | 1,030 | 3,44 | 0,424 | 2,46 | 30,60 | 0,722 |
| 453 | 0,755 | 1,034 | 3,58 | 0,458 | 2,55 | 33,17 | 0,722 |
| 473 | 0,723 | 1,034 | 3,70 | 0,494 | 2,64 | 35,82 | 0,722 |
| 523 | 0,653 | 1,042 | 3,97 | 0,588 | 2,85 | 42,8 | 0,722 |
| 573 | 0,596 | 1,047 | 4,29 | 0,688 | 3,03 | 49,9 | 0,722 |
| 623 | 0,549 | 1,055 | 4,57 | 0,788 | 3,21 | 57,5 | 0,722 |
| 673 | 0,508 | 1,059 | 4,85 | 0,9 | 3,36 | 64,9 | 0,722 |
| 773 | 0,450 | 1,072 | 5,40 | 1,11 | 3,69 | 80,4 | 0,722 |
| 873 | 0,400 | 1,089 | 5,82 | 1,36 | 4,00 | 98,1 | 0,723 |
| 1073 | 0,325 | 1,114 | 6,69 | 1,88 | 4,54 | 137,0 | 0,725 |

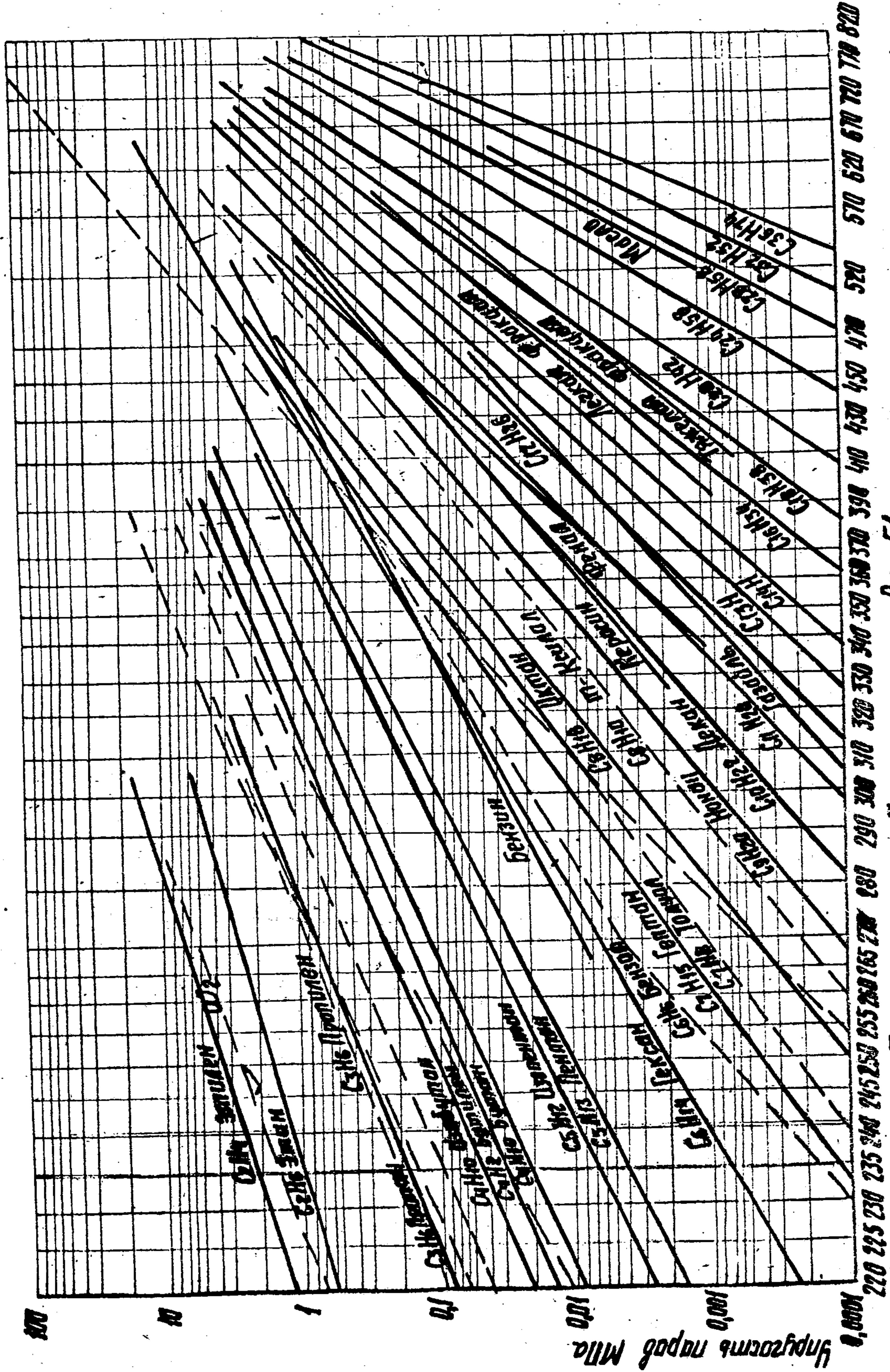


Рис. 51

Температура, °С

100
50

800
700
600
500
400
300
200

Глубина в метрах
0
100
200
300
400
500
600
700
800

220 225 230 235 240 245 250 255 260 265 270 280 290 300 310 320 330 340 350 360 370 380 390 400 410 420 430 440 450 460 470 480 490 500 510 520 530 540 550 560 570 580 590 600 610 620 630 640 650 660 670 680 690 700 710 720 730 740 750 760 770 780 790 800 810 820

Плотность продуктов прямойгонки
парафинистой сернистой нефти

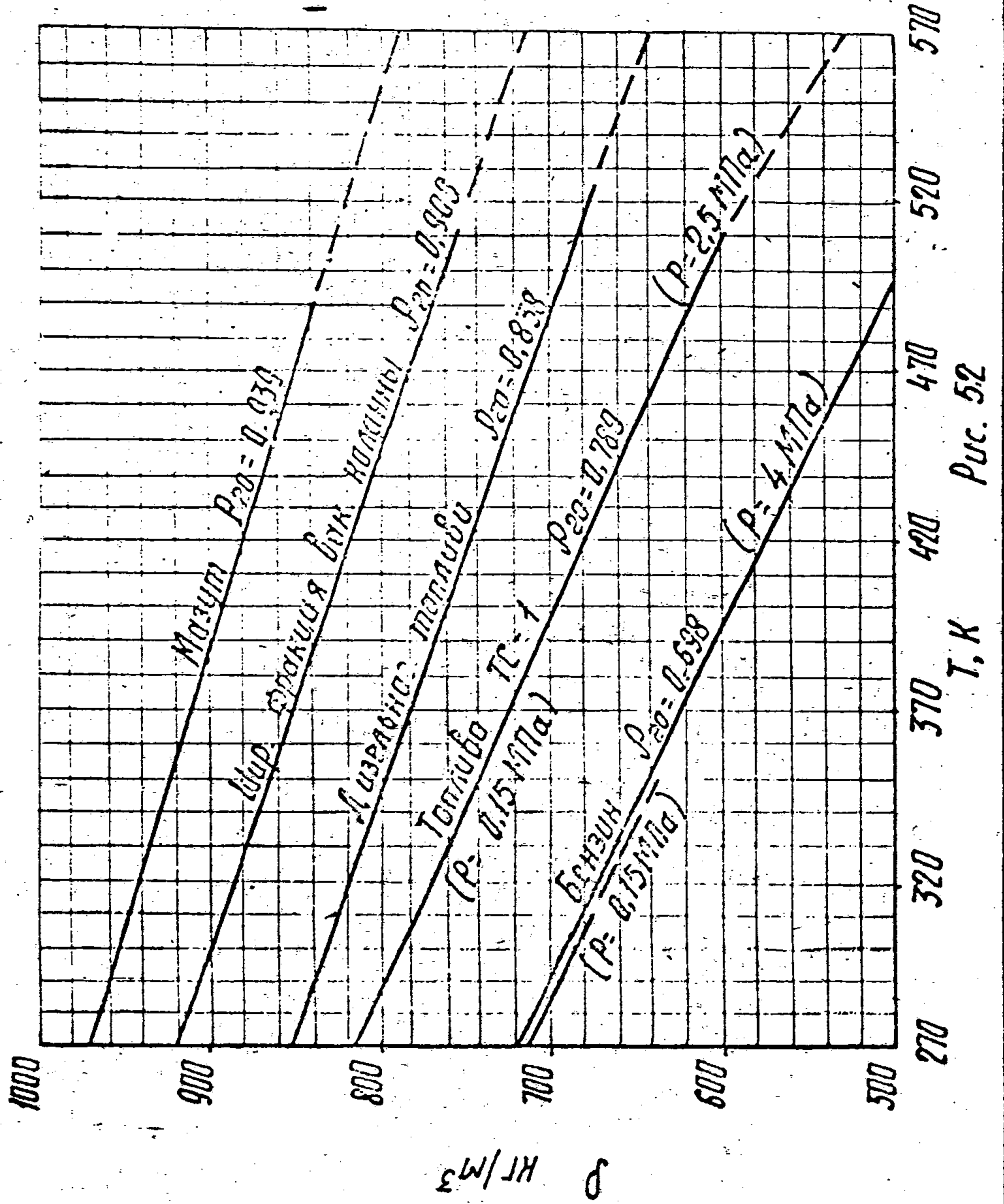
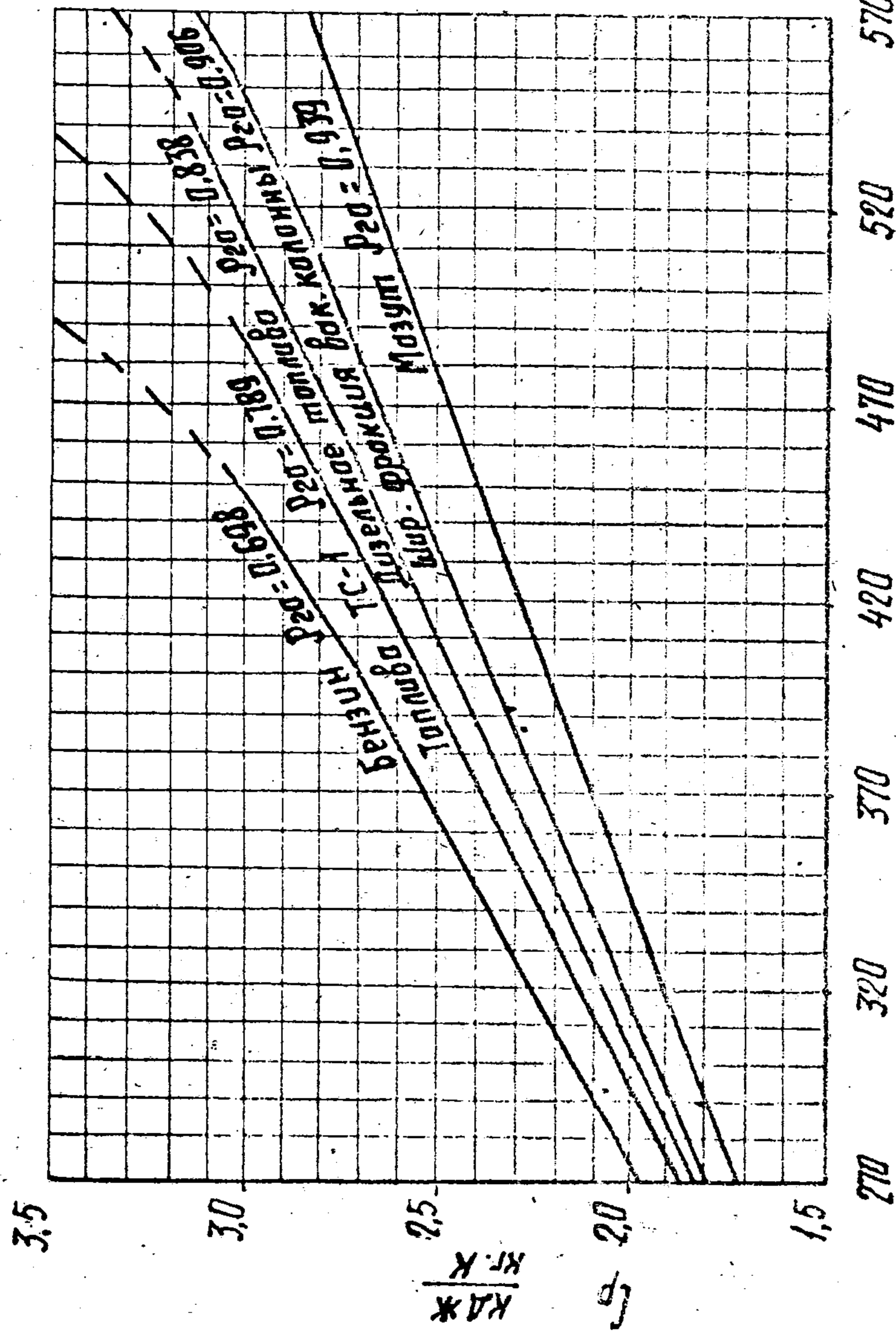


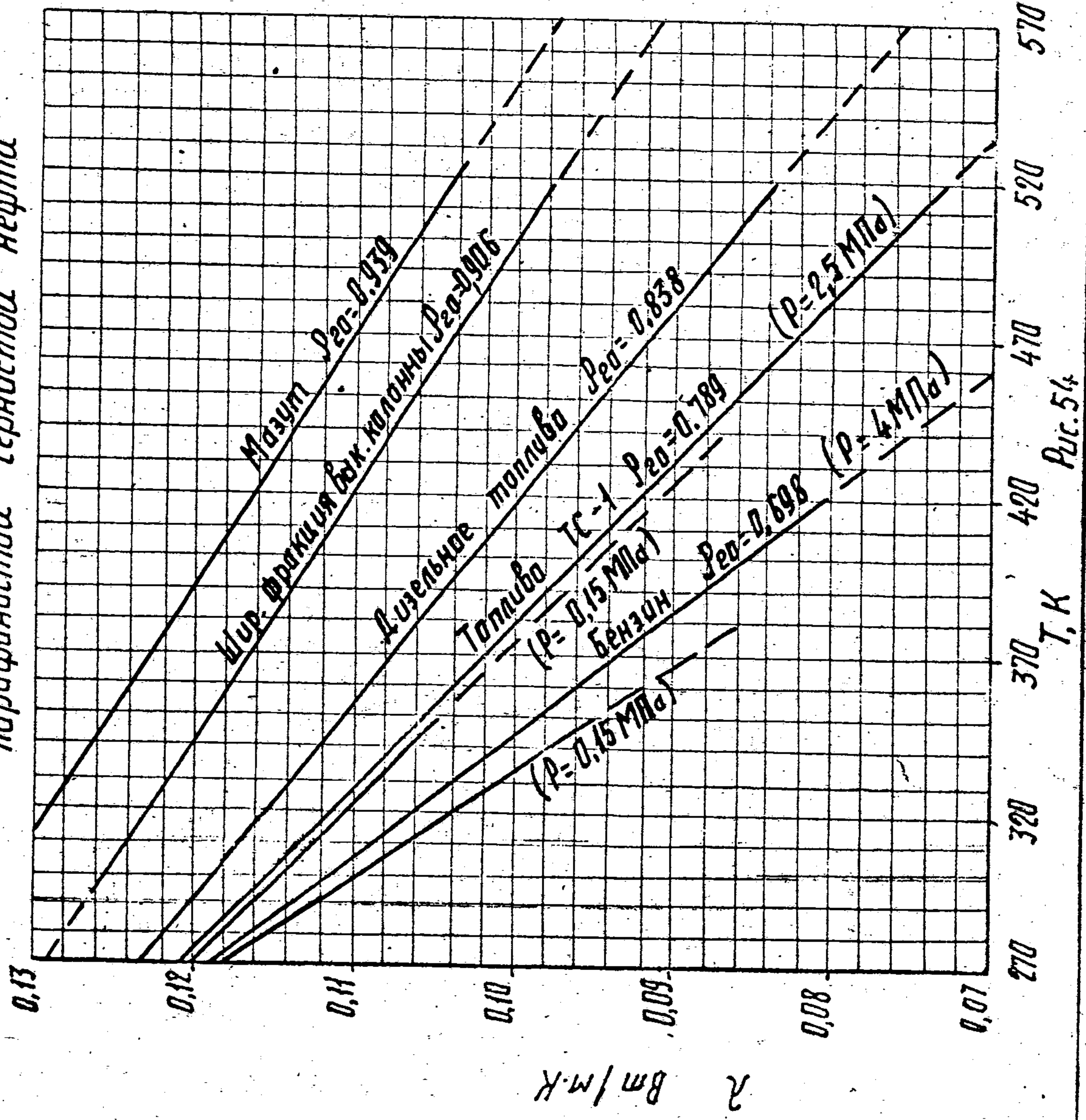
Рис. 52

Теплоемкость пробунтов прямой гонки
парафинистой сернистой нефти



Т. К. Риг 53

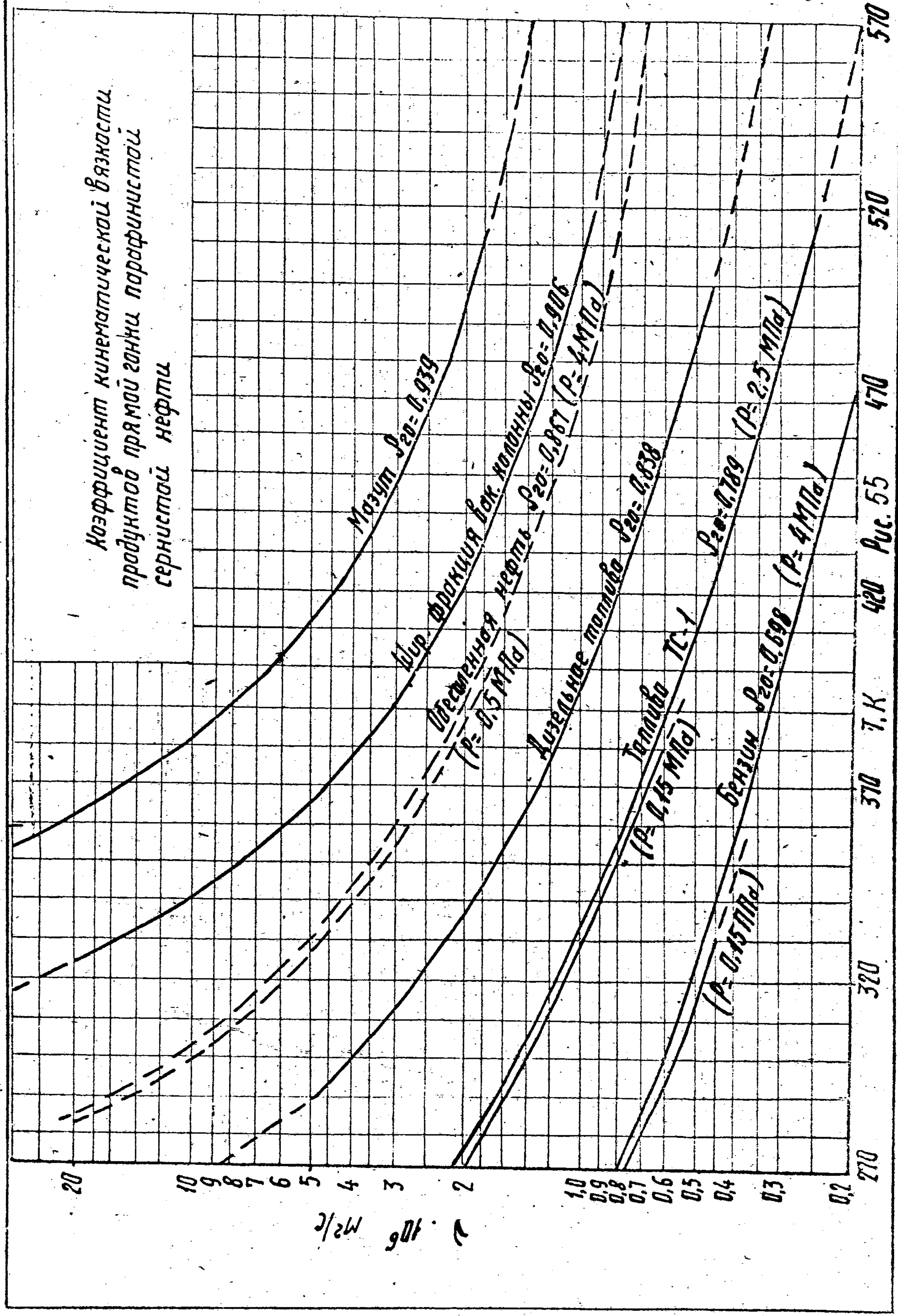
Коэффициент теплопроводности продуктов прямой перегонки парафинистой сернистой нефти



λ Вт/м.К

Рис. 54

Коэффициент кинематической вязкости
продуктов прямой гонки парафинистой
сернистой нефти



270 320 370 420 470 520 570

Т.К

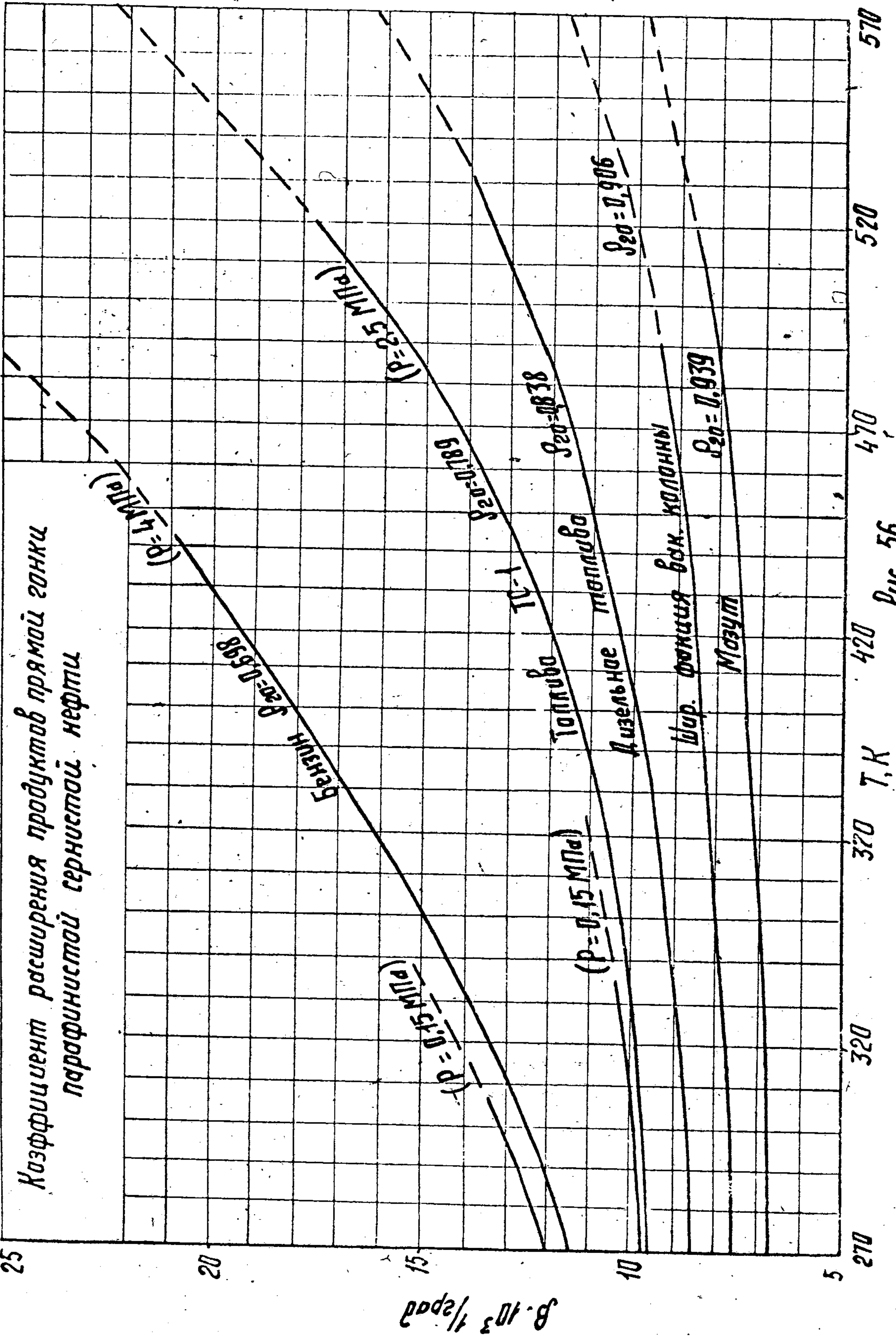
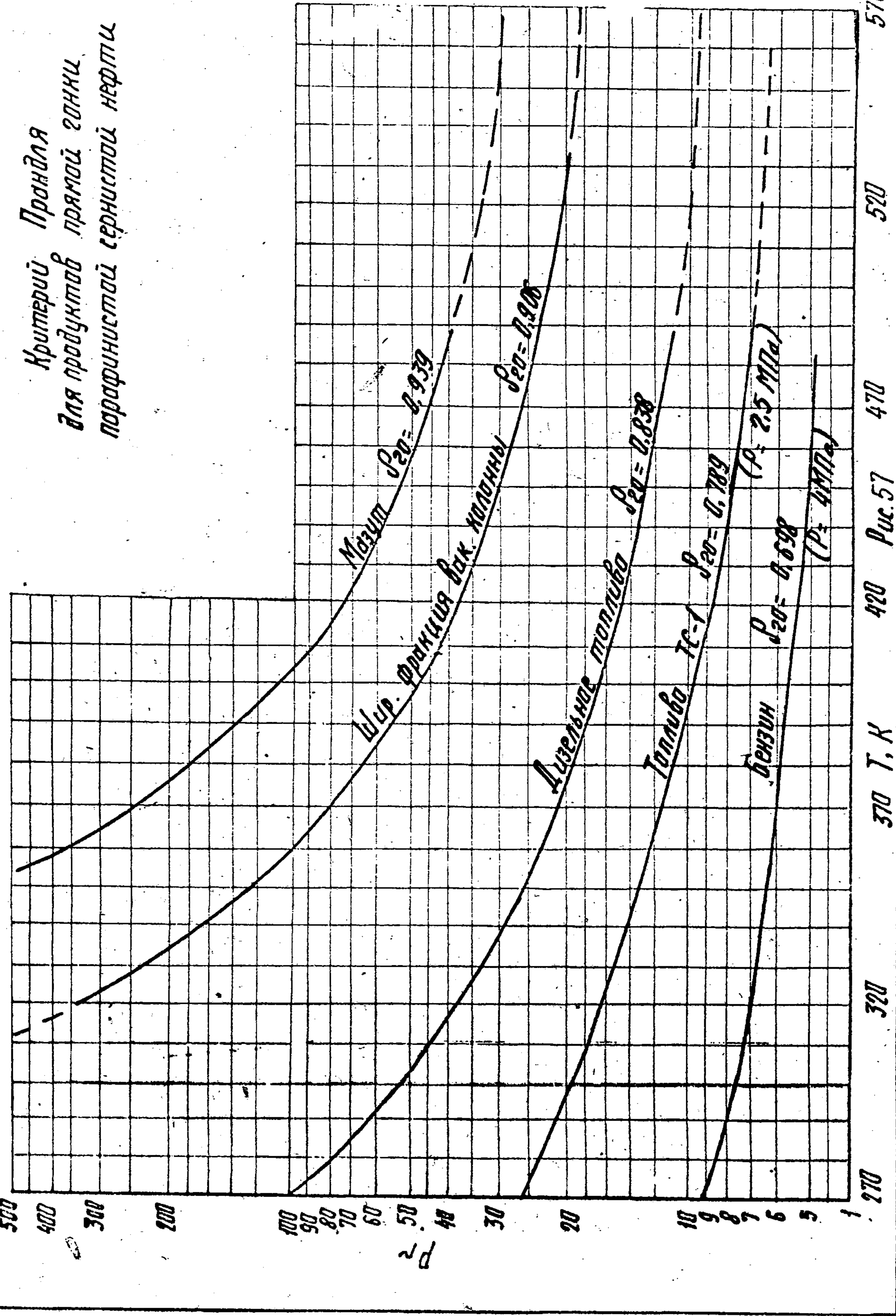


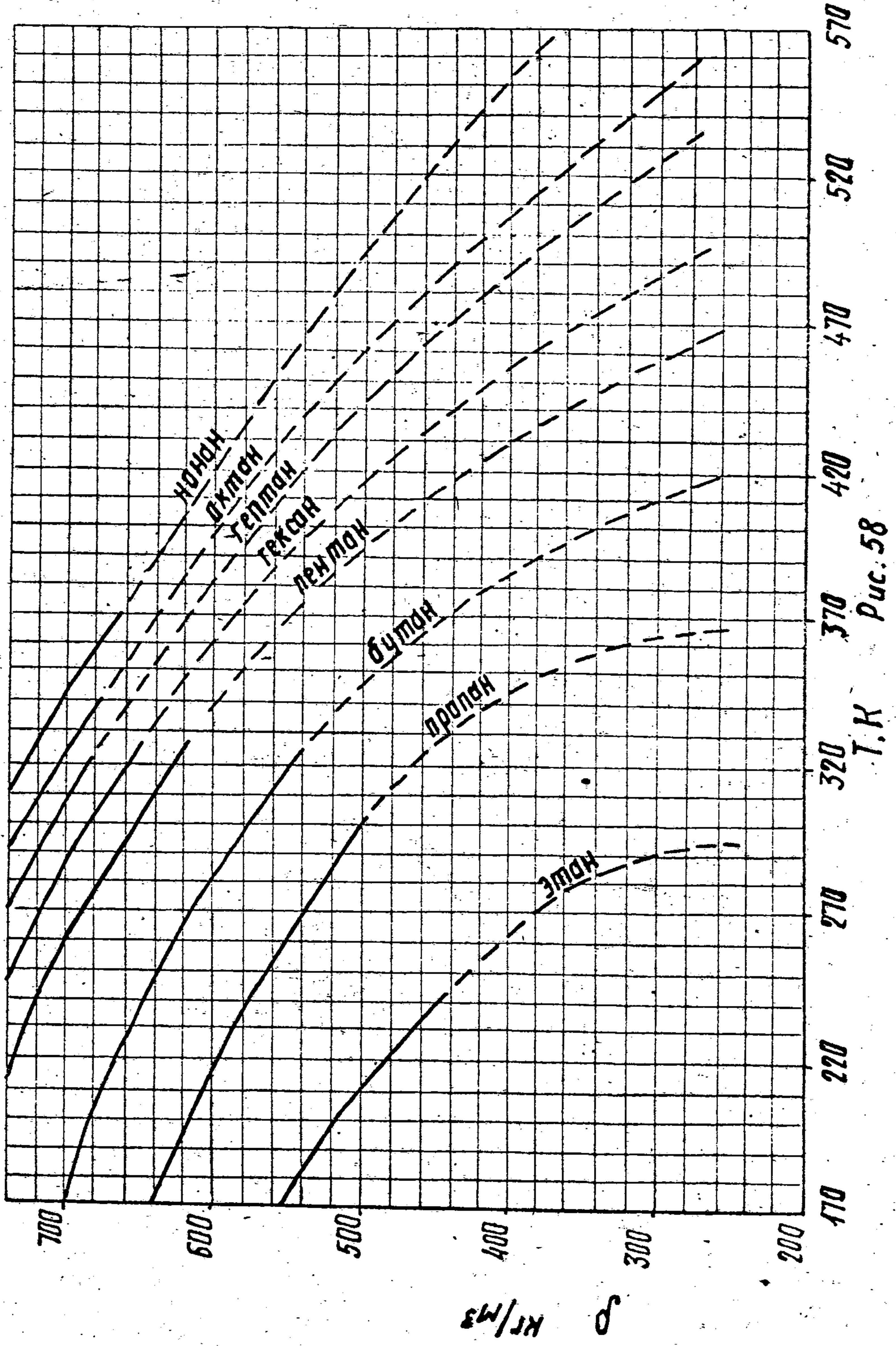
Рис. 56

Handwritten notes and markings on the right margin of the page.

Критерий Прандля
 для продуктов прямойгонки
 парафинистой сернистой нефти



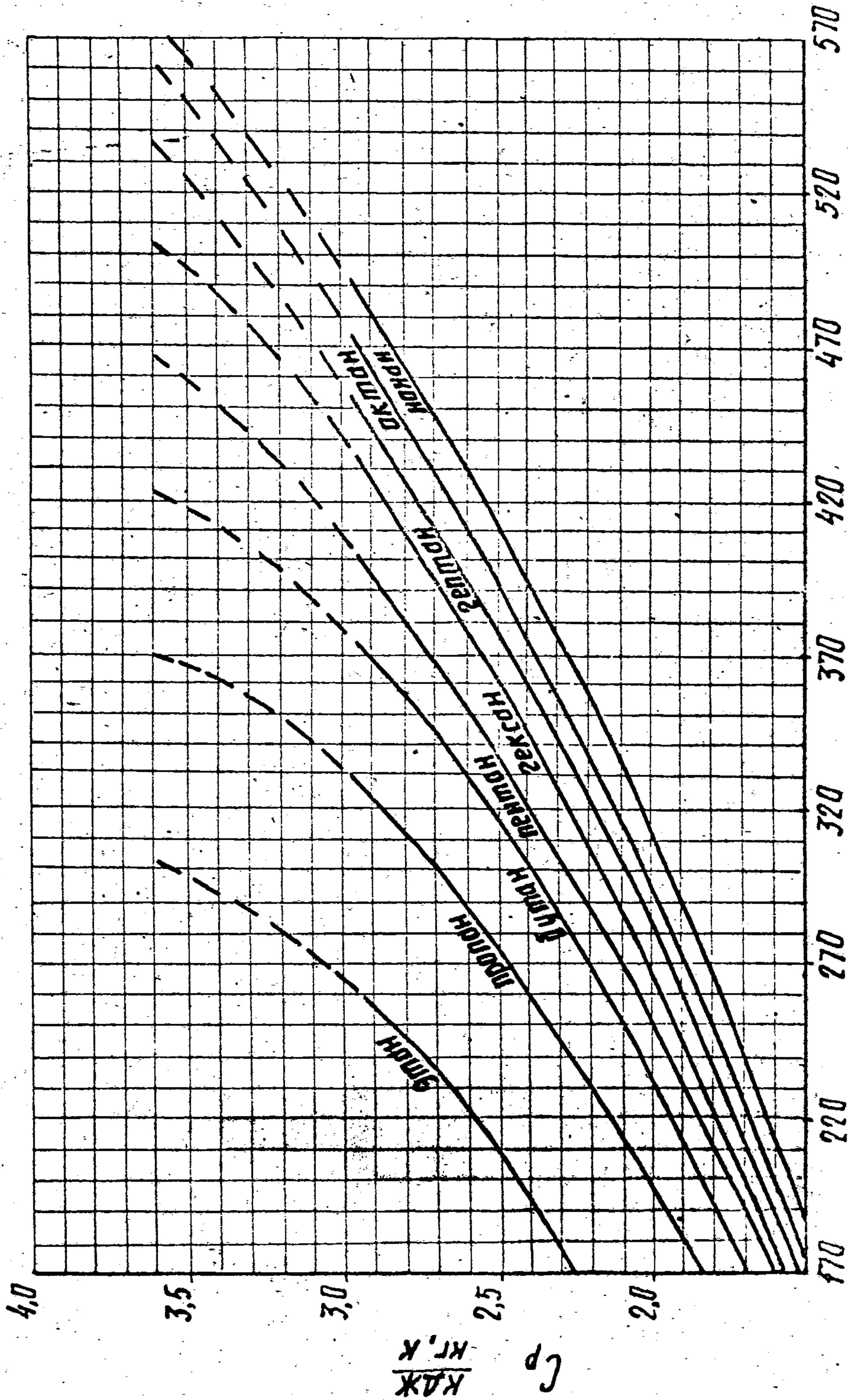
Плотность жидких алканов



Т.К. Рис. 58

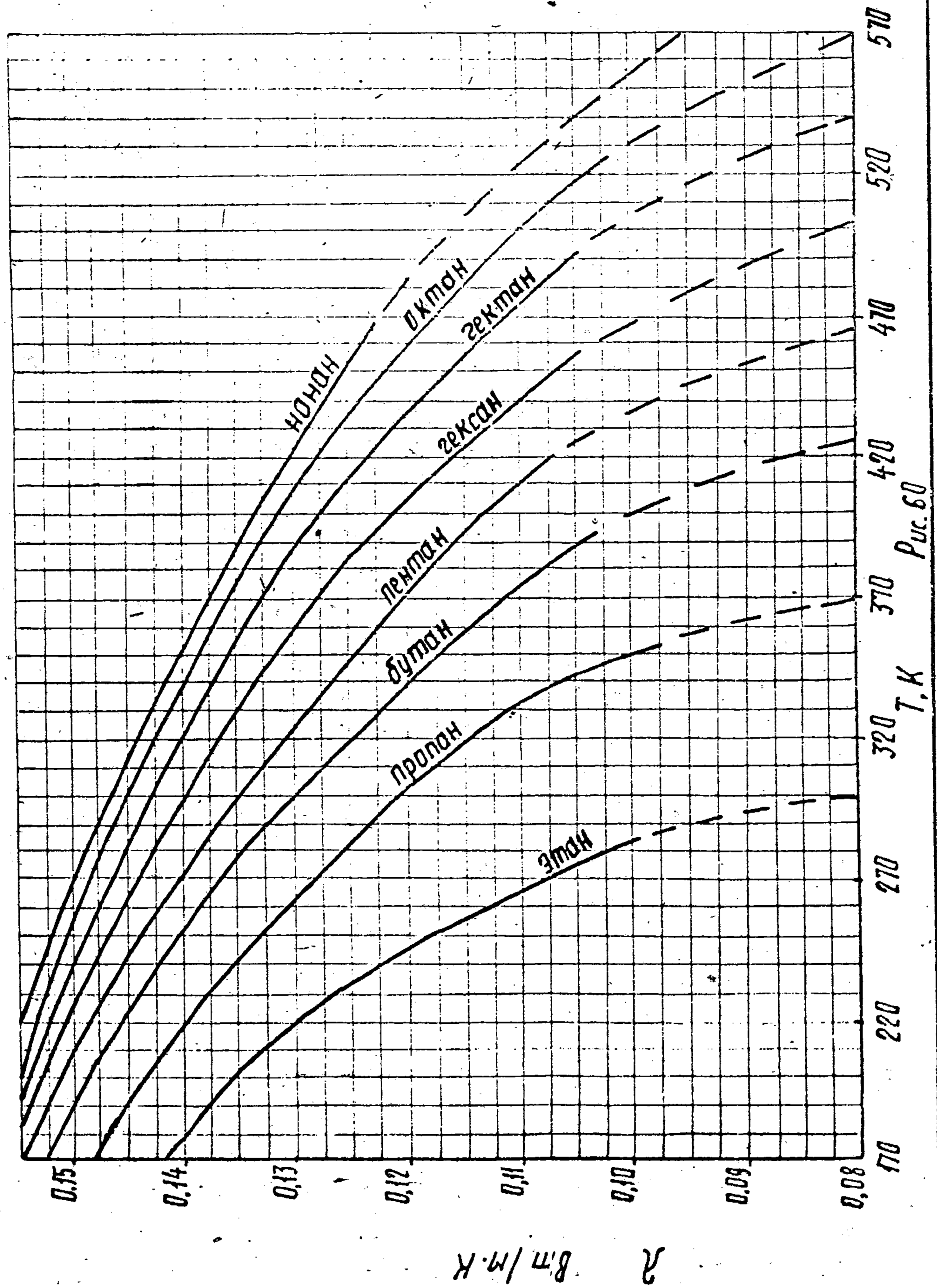
(20) (20)

Теплоемкость жидких алканов



Т. К. Рис. 59

Кoeffициент теплопроводности жидких алканов



Коэффициент кинематической вязкости жидких алканов

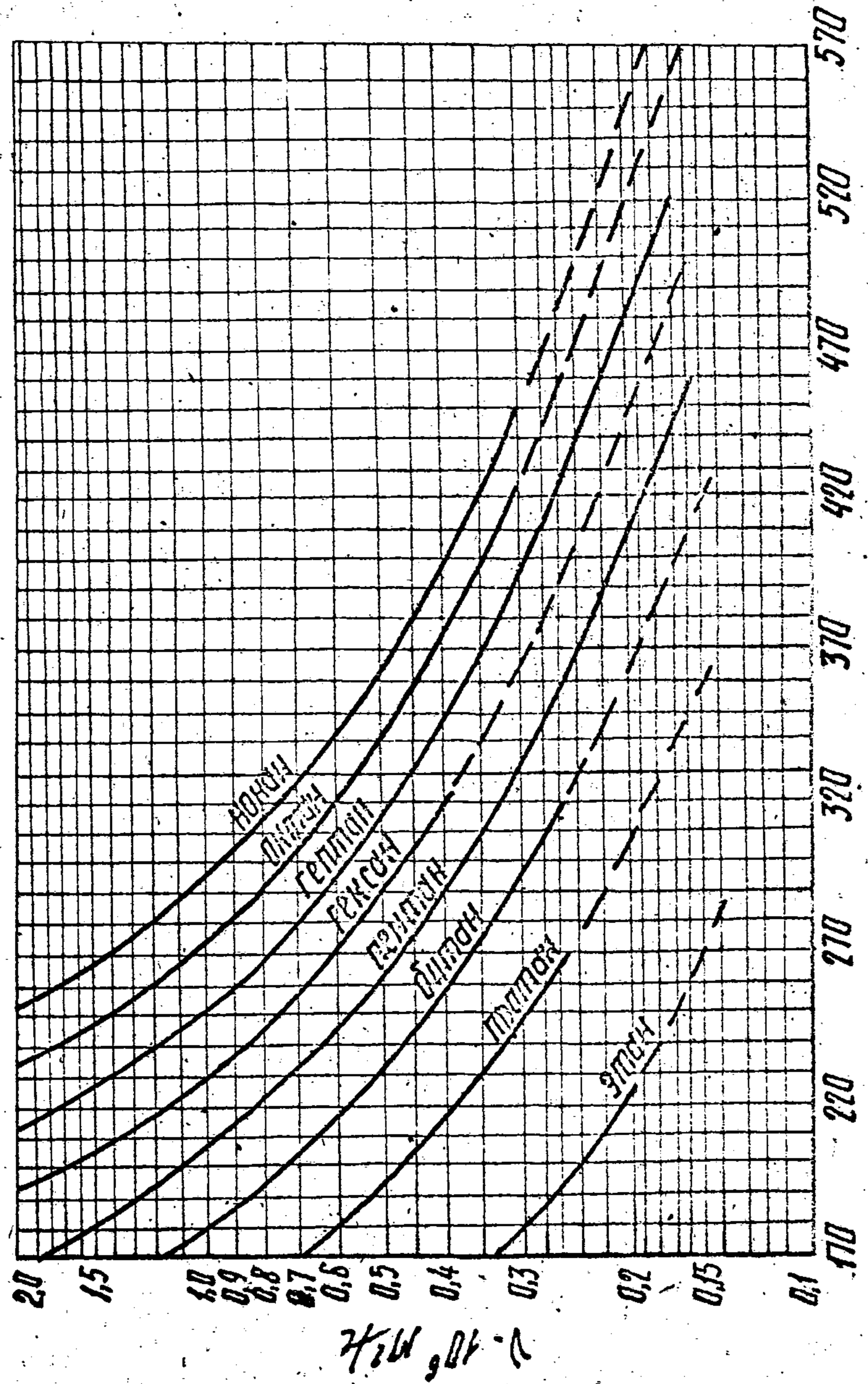


Рис. 61

Критерий Прандтля для жидких алканов

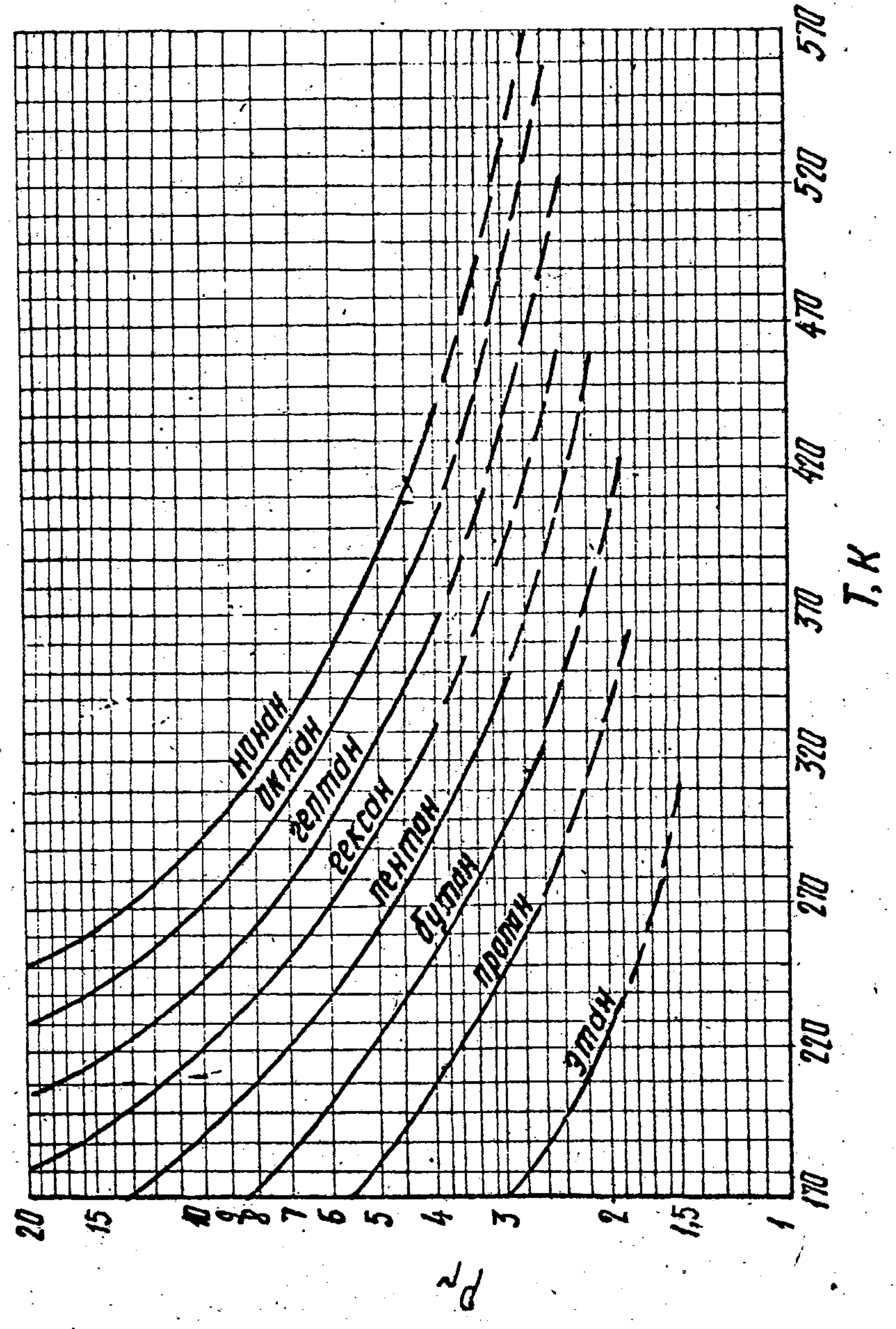


Рис. 62

Приложение 5

Ориентировочные значения сопротивлений загрязнений
($m^2 K/Wm$) со стороны различных продуктов
($z_{з.вн}$)*

1. Масла технические

| | |
|-----------------------------------|---------|
| Топочные мазуты | 0,00085 |
| Чистые циркулирующие масла | 0,00017 |
| Машинные и трансформаторные масла | 0,00017 |
| Квиачинг масло | 0,00068 |
| Растительное масло | 0,00068 |

2. Газы и пары технические

| | |
|---|----------|
| Газ коксовых печей и другие фабричные газы | 0,0017 |
| Выхлопные газы дизелей | 0,0017 |
| Пары органических веществ | 0,000085 |
| Пары спирта | 0 |
| Водяной пар (не замасленный) | 0 |
| Водяной пар (замасленный) отработанный из поршневых машин | 0,00017 |
| Холодильные пары (замасленные из поршневого компрессора) | 0,00035 |
| Воздух | 0,00035 |

3. Жидкости технические

| | |
|---|---------|
| Органические | 0,00017 |
| Холодильные жидкости, греющие охлаждающие и испаряющие | 0,00017 |
| Рассол (охлаждающий) | 0,00017 |

4. Вода

| Температура воды, К | 325 | | 325 | | | | |
|---------------------|----------|---|----------|---|---------|---|---------|
| Скорость воды, м/с | 0,9 | : | 0,9 | : | 0,9 | : | 0,9 |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | | |
| Морская вода | 0,000085 | : | 0,000085 | : | 0,00017 | : | 0,00017 |
| Оборотная вода | | | | | | | |

* Из рекомендаций ТЕМА при регулярной чистке трубного пространства

| I | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Подготовленная | 0,000085 | 0,000085 | 0,00017 | 0,00017 |
| Не подготовленная | 0,00051 | 0,00051 | 0,00085 | 0,00068 |
| Речная вода | | | | |
| Чистая | 0,00035 | 0,00017 | 0,00051 | 0,00035 |
| Средняя | 0,00051 | 0,00035 | 0,00068 | 0,00051 |
| Сильно загрязн. | 0,0013 | 0,00103 | 0,0017 | 0,0013 |
| Жесткая | 0,00051 | 0,00051 | 0,00085 | 0,00085 |
| Дистиллированная | 0,000085 | 0,000085 | 0,000085 | 0,000085 |
| Питательная (для котлов) | 0,00017 | 0,000085 | 0,00017 | 0,00017 |

5. Нефть

| Подготовка нефти | Температура, К | | Скорость | | |
|----------------------------------|----------------|-----|----------|---------|---------|
| | 0,6 | 0,6 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |
| Обезвоженная (обессоленная) | 256 | 366 | 0,00051 | 0,00035 | 0,00035 |
| | 366 | 422 | 0,00051 | 0,00035 | 0,00035 |
| | 422 | 533 | 0,00068 | 0,00051 | 0,00035 |
| | | 533 | 0,00085 | 0,00068 | 0,00051 |
| Обводненная (не обессоленная) | 256 | 366 | 0,00051 | 0,00035 | 0,00035 |
| | 366 | 422 | 0,00085 | 0,00068 | 0,00068 |
| | 422 | 533 | 0,00103 | 0,00085 | 0,00068 |
| | | 533 | 0,0012 | 0,00103 | 0,00085 |

6. Атмосферные установки

| | |
|--------------------------------|---------|
| Пары верхней фракции (головки) | 0,00025 |
| не подвергавшиеся обработке | 0,00025 |
| подвергавшиеся обработке | 0,00051 |
| Боковые фракции | 0,00025 |

7. Вакуумные установки

Сырьевой погон (см. п. 5)

Пары верхней фракции

(в холодильниках-конденсаторах)

из ректификационной колонны

из фляшинг колонны

Боковые фракции

в холодильниках

Остаток (гудрон) 0,93

0,00017

0,00068

0,00035

0,00085

| | |
|--|----------|
| Дистиллатный остаток 0,93 | 0,00035 |
| <u>8. Крекинг-установки</u> | |
| Сырье - нефть (см.п.5) | |
| Сырье - газойль | |
| до 5II К | 0,00035 |
| 5II К и выше | 0,00051 |
| Сырье - лигроин | |
| до 5II К | 0,00035 |
| 5II К и выше | 0,00068 |
| Пары из сепаратора, фляшнга и испарителя | 0,00103 |
| Пары из ректификационной колонны | 0,00035 |
| Остаток | 0,0017 |
| <u>9. Абсорбционные установки</u> (газобензиновые заводы) | |
| Газ | 0,00035 |
| Жирное масло | 0,00017 |
| Тощее масло | 0,00035 |
| Пары верхней фракции | 0,000085 |
| Бензин | 0,000085 |
| <u>10. Установки стабилизации бензина</u> | |
| Сырье - нестабильный бензин | 0,000085 |
| Пары верхней фракции | 0,000085 |
| Продукт холодильников и теплообменников | 0,000085 |
| Продукт ребойлеров | 0,00017 |
| <u>11. Установки газодифракционирования и адсорбции</u> | |
| Сырье | 0,00017 |
| Пары верхней фракции | 0,00017 |
| Продукт холодильников | 0,00017 |
| Продукт ребойлеров | 0,00035 |
| Загрузка реактора | 0,00035 |
| <u>12. Масло-очистные установки</u> | |
| Сырье - смесь масла с растворителем | 0,00035 |
| Пары верхней фракции | 0,00017 |
| Очищенное масло | 0,00017 |
| Теплообменные аппараты очищенного масла охлаждаемые водой * | 0,00051 |
| Смола | |
| в теплообменниках и парогенераторах | 0,00085 |
| в холодильниках | 0,00051 |
| Растворитель | 0,00017 |

13. Установки деасфальтизации

- 94 -

| | |
|-------------------------------------|---------|
| Сырье - масло | 0,00035 |
| Растворитель | 0,00017 |
| Асфальт и смолы | |
| в теплообменниках и парогенераторах | 0,00085 |
| в холодильниках | 0,00051 |
| Пары растворителя | 0,00017 |
| Очищенное масло | 0,00017 |
| Очищенное масло охлаждаемое водой | 0,00051 |

14. Установки депарафинизации

| | |
|---------------------------------------|---------|
| Смазочное масло | 0,00017 |
| Растворитель | 0,00017 |
| Смесь масла с парафином нагреваемая | 0,00017 |
| Смесь масла с парафином охлаждаемая*) | 0,00051 |

15. Обессоливающие установки

| | |
|---------------------------------------|---------|
| Пары верхней фракции | 0,00017 |
| Теплообменники-холодильники: раствора | 0,00025 |
| рибойлера | 0-00025 |

*) должны быть предусмотрены меры против отложения парафина

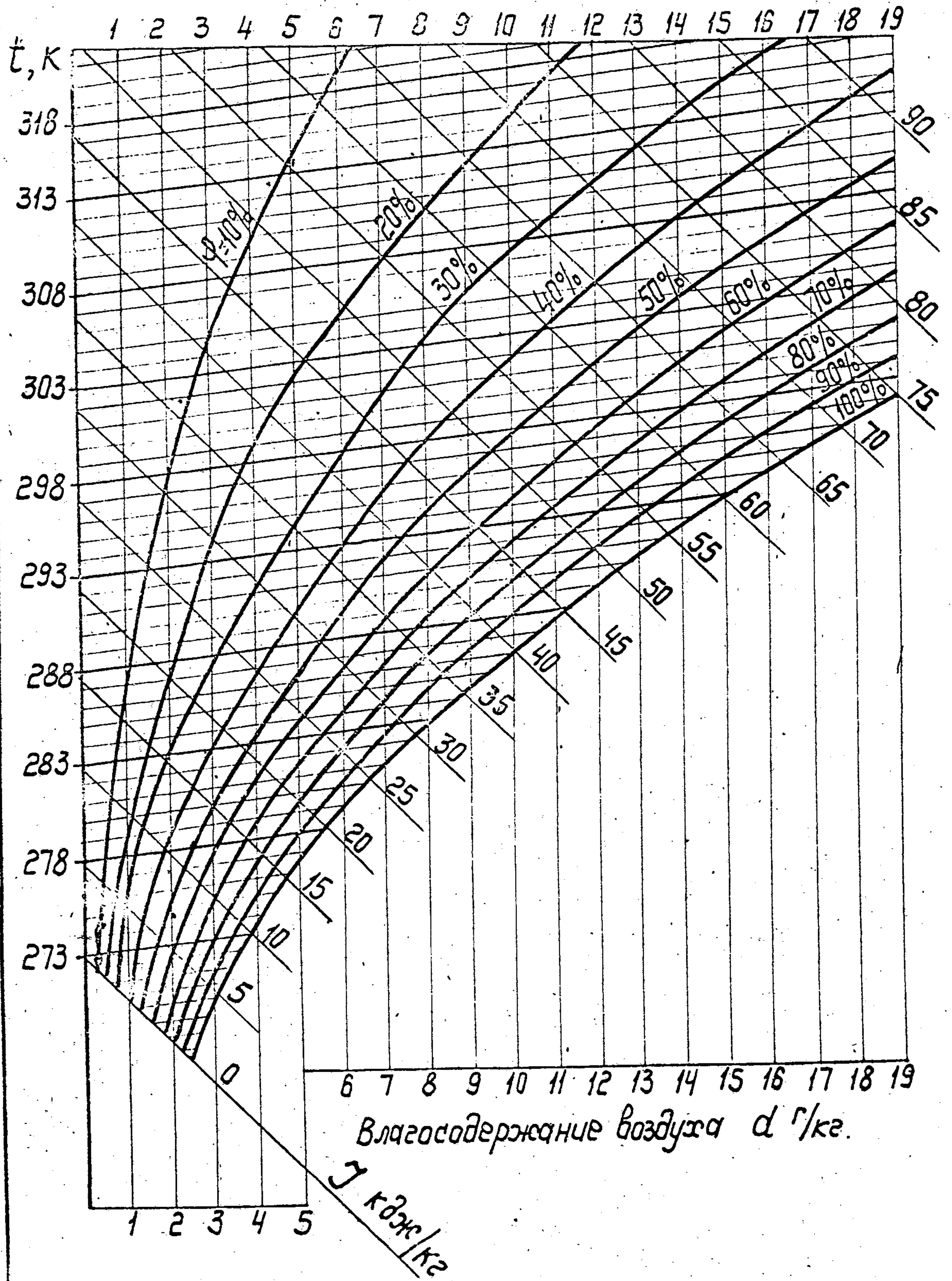


Рис. 63 Диаграмма $T-d$ влажного воздуха при барометрическом давлении 1013 ГПа

Приложение 7.

Соотношение размерностей в единицах СИ с единицами измерения, принятыми в предыдущих выпусках "Методик расчета АВО".

1. Количество передаваемого в АВО тепла.

$$I \text{ кВт} = 860 \frac{\text{ккал}}{\text{час}}$$

2. Расход охлаждаемого продукта:

$$I \text{ кг/с} = 3600 \frac{\text{кг}}{\text{час}}$$

3. Температура

$$T = t + 273$$

T - температура в градусах Кельвина, К;

t - температура в градусах Цельсия, °С.

4. Разность температур

$$\Delta T = \Delta t$$

ΔT - разность температур в градусах Кельвина, К;

Δt - разность температур в градусах Цельсия, °С.

5. Удельная теплоемкость.

$$I \text{ кдж/кг.к} = 0,239 \frac{\text{ккал}}{\text{кг.гр.}}$$

6. Расход охлаждающего воздуха.

$$I \text{ м}^3/\text{с} = 3600 \text{ м}^3/\text{час.}$$

7. Коэффициент теплоотдачи, теплопередачи.

$$I \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К} = 0,86 \frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час. гр}}$$

8. Тепловое сопротивление загрязнений.

$$I \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} = 1,163 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{гр}}{\text{ккал}}$$

9. Коэффициент теплопроводности.

$$I \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} = 0,86 \text{ ккал/м.час.гр.}$$

10. Теплота парообразования.

$$I \text{ кдж/кг} = 0,239 \frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$$

11. Динамическая вязкость.

$$I \text{ Па} \cdot \text{с} = 0,102 \frac{\text{кгс} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}$$

12. Гидравлические потери напора продукта в трубах.

$$I \text{ Па} = 0,102 \text{ кгс/м}^2$$

13. Барометрическое давление.

$$I \text{ Па} = 0,75 \text{ мм.рт.ст.}$$

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Шмеркович В.М. "Аппараты воздушного охлаждения для технологических установок нефтеперерабатывающих и химических заводов". ЦНТИхимнефтемаш, Москва, 1967 г.
2. Шмеркович В.М. "Применение аппаратов воздушного охлаждения при проектировании нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов". ЦНИИТЭнефтехим, Москва, 1971 г.
3. Методика теплового и аэродинамического расчета АВО, ВНИИНЕФТЕМАШ, 1971 г.
4. ОСТ 26-02-2018-77. Аппараты воздушного охлаждения малопоточные. Основные параметры и размеры.
5. ОСТ 26-02-1522-77. Аппараты воздушного охлаждения горизонтальные. Основные параметры и размеры.
6. ОСТ 26-02-1521-77. Аппараты воздушного охлаждения зигзагообразные. Основные параметры и размеры.
7. ОСТ 26-02-537-79. Аппараты воздушного охлаждения зигзагообразные с двумя вентиляторами. Основные параметры и размеры.
8. ОСТ 26-02-1086-74. Аппараты воздушного охлаждения вязких продуктов. Конструкция и основные размеры.
9. Технический проект ВНИИНЕФТЕМАШа, инв. № 15177, 1980 г.
10. Методика теплового и аэродинамического расчета АВО вязких и высоковязких продуктов, ВНИИНЕФТЕМАШ, 1971 г.
11. Отчет ВНИИНЕФТЕМАШа по теме 0251-76-51, 1979 г.
12. Отчет ВНИИНЕФТЕМАШа по теме 0251-79-58-2, 1979 г.
13. Отчет ВНИИНЕФТЕМАШа по теме 0251-76-51-5, 1980 г.
14. Отчет ВНИИНЕФТЕМАШа по теме 0251-70-30-10, 1977 г.
15. Михеев М.А. Основы теплопередачи. Госэнергоиздат, 1956 г.
16. Рамм В.М. Теплообменные аппараты. Госхимиздат, 1948 г.
17. Берман С.С. Теплообменные аппараты и конденсационные устройства турбоустановок. Машгиз, Москва, 1959 г.
18. Методика теплового и гидравлического расчета типовых кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с вынужденным движением нефтепродуктов". Гипронефтемаш, 1968 г.
19. Чиркин В.С. Теплофизические свойства материалов. Физматиздат, 1959 г.
20. Брусиловский И.В. Аэродинамические схемы и характеристики осевых вентиляторов ЦАГИ. Москва, Недра, 1978 г.
21. Справочник по климату СССР, ч. I-IV. Гидрометеиздат. Ленинград, 1966 г.