

ГОССТРОЙ СССР
ГЛАВПРОМСТРОЙПРОЕКТ
ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ СОЮЗАНТЕХПРОЕКТ
Государственный проектный институт
С А Н Т Е Х П Р О Е К Т

Серия ВЗ-25

РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО РАСЧЕТУ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАМЕР

МОСКВА 1968

УТВЕРЖДАЮ:

Главный инженер ГПИ Сантехпроект
С.М. Староверов Староверов

В настоящем третьем издании рекомендаций содержатся материалы для расчета оросительных камер центральных кондиционеров, применяемых в системах кондиционирования воздуха и вентиляции.

В настоящем альбоме приводятся новые данные для расчета процессов охлаждения и нагревания воздуха в оросительных камерах при распылении в них холодной или горячей воды.

Приводятся также новые данные для расчета двухступенчатых камер в зависимости для расчета охлаждения циркуляционной воды в оросительных камерах.

Расчет процессов обработки воздуха производится по методу, разработанному кандидатом техн. наук Л.М.Зусмановичем.

Этот метод рекомендуется применять для расчета типовых и индивидуальных оросительных камер, а также для теплотехнических расчетов вновь конструируемых камер.

Конструктивные характеристики секций центральных кондиционеров приводятся в альбоме оборудования "Центральные кондиционеры".

Альбом составлен канд. техн. наук Л.М.Зусмановичем, подготовлен к изданию в техническом отделе ГПИ Сантехпроект и утвержден в качестве материала, обязательного для применения в системе Всесоюзного объединения Совсантехпроект.

С выходом настоящего издания ранее выпущенные первое и второе издания альбома по расчету оросительных камер кондиционеров аннулируются.

Л.М. Зусманович
Л.М. Зусманович

Л.М. Зусманович
Л.М. Зусманович

Л.М. Зусманович
Л.М. Зусманович

С.Ф. Финкельштейн
С.Ф. Финкельштейн

Ф.Г. Шамбаров
Ф.Г. Шамбаров

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
I. Общие положения.....	4
II. Сущность метода расчета оросительных камер.....	9
III. Расчет процессов при непосредственном контакте воздуха с водой в оросительных камерах.....	19
A. Расчет процессов понижения теплосодержания воздуха.....	19
1/ одноступенчатые оросительные камеры.....	19
2/ двухступенчатые оросительные камеры.....	23
B. Расчет процессов адиабатического увлажнения и охлаждения воздуха.....	26
B. Расчет процессов повышения теплосодержания воздуха.....	31
Г. Расчет охлаждения воды в оросительных камерах.....	35
IV. Последовательность расчетов обработки воздуха в оросительных камерах.....	38
У. Примеры расчетов.....	48
Примеры 1 и 2. Расчеты охлаждения и осушения воздуха. Прямая задача.....	48
Примеры 3 и 4. Расчеты охлаждения и осушения воздуха. Обратная задача.....	59
Пример 5. Расчет сухого охлаждения воздуха.....	69
Пример 6. Расчет охлаждения и увлажнения воздуха.....	73
Пример 7. Расчет охлаждения и осушения насыщенного воздуха.....	77
Пример 8. Расчет охлаждения и осушения воздуха в двухступенчатой камере.....	80
Пример 9. Расчет адиабатического увлажнения воздуха. Прямая задача.....	84
Пример 10. Расчет адиабатического увлажнения воздуха. Обратная задача.....	87
Пример 11. Расчет изотермического увлажнения воздуха.....	90

	Стр
Пример 12. Расчеты нагрева и увлажнения воздуха	95
Пример 13. Расчет нагрева и увлажнения насыщенного воздуха	98
Пример 14. Расчет охлаждения воды. Прямая задача	102
Примеры 15 и 16. Расчеты охлаждения воды. Обратная задача	107
У I. Расчетные номограммы и диаграммы	111
Номограмма 1 для расчета процессов с понижением теплосодержания воздуха. Диаметр форсунок $d_0 = 4,5-5,0$ мм.	111
Номограмма 2 для расчета процессов с понижением теплосодержания воздуха. Диаметр форсунок $d_0 = 3,0-4,0$ мм	112
Номограмма 3 для расчета процессов с понижением теплосодержания воздуха в двухступенчатых оросительных камерах.	113
Номограмма 4 для расчета процессов охлаждения и нагрева насыщенного воздуха	114
Номограмма 5 для расчета процессов адиабатического увлажнения воздуха	115
Номограмма 6 для расчета процессов с повышением теплосодержания воздуха	116
Номограмма 7 для расчета охлаждения воды в оросительных камерах.	117
Диаграмма 1 для определения критерия R при $t_p - t_{вн} \gg -15^\circ$ /	118
Диаграмма 2 для определения критерия R при $t_p - t_{вн} \leq -15^\circ$ /	119
У II. Приложения	120

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Настоящие рекомендации предназначены для теплотехнического расчета оросительных камер, применяемых в системах кондиционирования воздуха и вентиляции.

В рекомендациях приводятся данные для расчета одноступенчатых и двухступенчатых камер орошения, а также зависимости для расчета охлаждения циркуляционной воды в оросительных камерах.

2. Аналитические уравнения и номограммы, приводимые в рекомендациях, позволяют рассчитывать по единому методу все семь процессов обработки воздуха (рис. 1), которые осуществляются в оросительных камерах при распылении в них холодной или горячей воды.

3. Для расчета оросительных камер приводятся аналитические уравнения, наиболее полно описывающие различные процессы тепло- и влагообмена при непосредственном контакте воздуха с водой. Отличие зависимостей помещенных в первом и втором разделах от приводимых уравнений состоит в том, что последние учитывают влияние начальных параметров воздуха и воды произведением двух критериев $M_T R$.

4. Произведение критериев $M_T R$ позволяет:

выразить обобщенными уравнениями различные процессы обработки воздуха (с понижением и повышением теплоемкости);

учесть влияние гигрометрической разности температур и получить единые зависимости для расчета процессов изменения состояния воздуха с различными начальными параметрами;

существенно расширить диапазон применения рекомендуемых для расчета уравнений, практически для всей рабочей области $T-d$ диаграмм. Приведенные в таблицах 2 и 10 уравнения позволяют рассчитывать процессы охлаждения воздуха до конечной температуры $t_{c2} = 4 + 5^{\circ}\text{C}$ и процессы увлажнения и нагрева воздуха до $t_{c2} = 85 + 40^{\circ}\text{C}$.

5. Для осуществления различных процессов изменения состояния воздуха целесообразно применять двух- или трехрядные оросительные камеры форсуночного типа, а для адиабатического увлажнения воздуха однорядные или двухрядные камеры.

В двухрядных камерах распыление воды форсунками следует принимать взаимно-встречными, в трехрядных - как противоточными

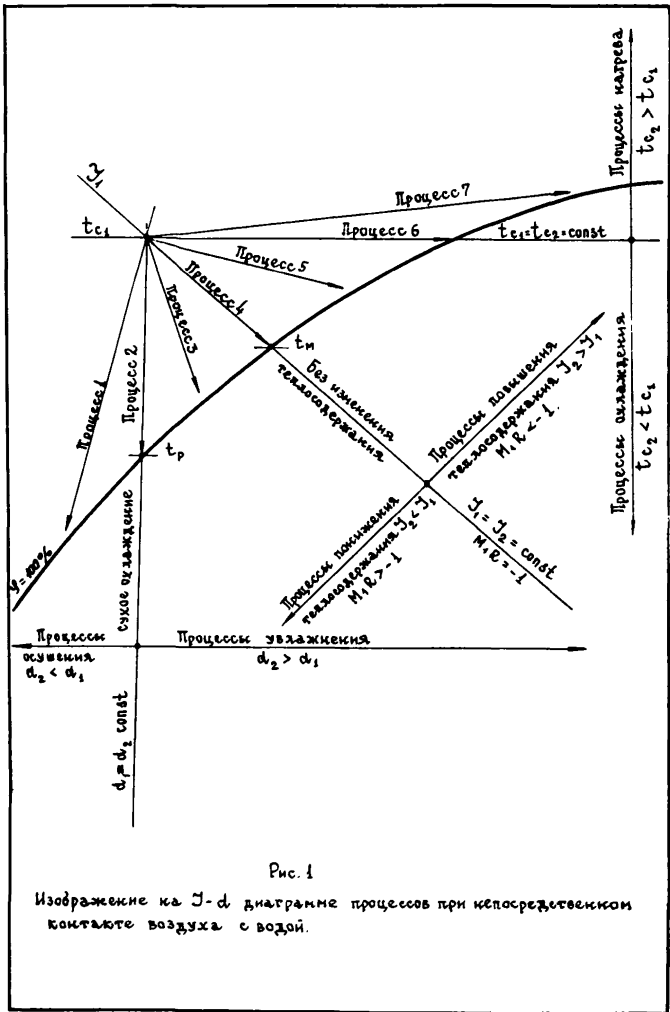


Рис. 1

Изображение на $J-d$ диаграмме процессов при непосредственном контакте воздуха с водой.

(форсунки всех трех рядов распыляют воду против потока воздуха), так и взаимно-встречными (форсунки первого ряда распыляют воду по потоку воздуха, а форсунки второго и третьего рядов - против потока воздуха). В однорядных камерах распыление воды, как правило, должно быть против потока воздуха.

6. Распыление воды в оросительных камерах, как правило, осуществляется центробежными тангенциальными форсунками. В типовых кондиционерах применяют форсунки конструкции БИК НИИ Савтехники (Кд 1002-25) с подводными каналами диаметром 7,0 мм и выходными отверстиями диаметром $3,0 \pm 6$ мм. Производительность указанных центробежных форсунок, в зависимости от давления воды перед ними и диаметра выходного отверстия, представлена на рис. 2. График построен по формуле, приведенной в справочнике типовых секций центральных кондиционеров.

$$q = 38,5 \cdot p_0^{0,48} \cdot d_0^{1,38} \text{ кг/ч, (I)}$$

где p_0 - избыточное давление воды перед форсунками в кгс/см²;

d_0 - диаметр выходного отверстия форсунки в мм.

7. Различные процессы тепловлажностной обработки воздуха могут быть осуществлены в оросительных камерах с диаметром выходных отверстий центробежных форсунок $3,0 \pm 6,0$ мм. Для процессов охлаждения и увлажнения обменно применяются форсунки с $d_0 = 3 \pm 4$ мм.

При выборе диаметра d_0 необходимо учитывать следующее:

а/ Процессы тепловлажностной обработки воздуха при применении форсунок тонкого распыления ($d_0 = 3 \pm 3,5$ мм) протекают более интенсивно, чем при использовании форсунок грубого распыления ($d_0 = 5 \pm 6$ мм).

При этом давление воды перед форсунками тонкого распыления требуется значительно большее, что приводит к увеличению мощности насосов и дополнительным расходам электроэнергии;

б/ форсунки тонкого распыления подвержены более частому засорению, чаще выходят из строя и поэтому общее число форсунок i , расположенных в камере при $d_0 \leq 3,0$ мм, должно быть увеличено в среднем на $10 \pm 15\%$.

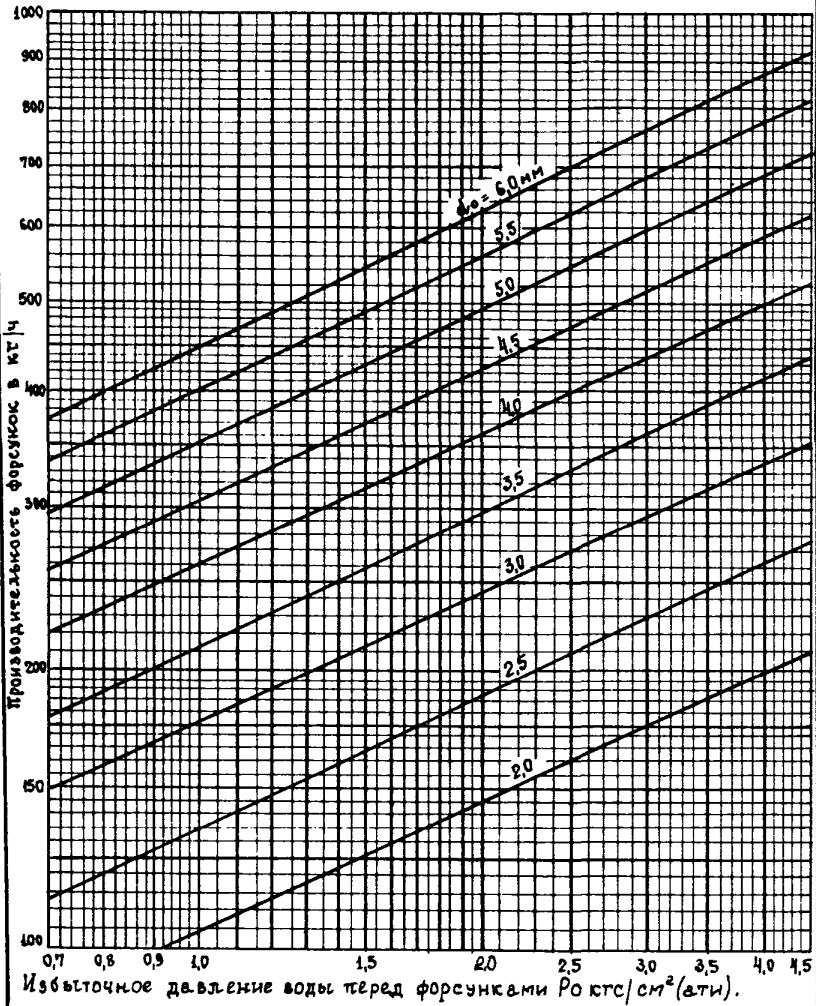


Рис. 2 График для определения производительности форсунок

8. Общее количество воды, распыляемое форсунками в камере орошения, определяется по формуле:

$$W = BG \text{ кг/ч} \quad /2/$$

где: B - коэффициент орошения, кг/кг
 G - количество обрабатываемого воздуха, кг/ч.

Производительность одной форсунки определяется по следующей формуле:

$$q = \frac{W}{l} = \frac{W}{z n \psi} \text{ кг/ч}, \quad /3/$$

где: l - общее число центробежных форсунок в камере;
 z - число рядов стояков с форсунками;
 ψ - поперечное сечение камеры, м²;
 $n \cdot \frac{l}{z \psi}$ - плотность расположения форсунок на стояках в ряду, шт/м² ряд.

Сумма коэффициентов местных сопротивлений при расчете сопротивления проходу воздуха для типовых оросительных камер принимается:

для однорядных и двухрядных камер $\sum \xi = 26$,
для трехрядных камер $\sum \xi = 35$

П. СУЩНОСТЬ МЕТОДА РАСЧЕТА ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАМЕР

9. Метод расчета оросительных камер, разработанный кандидатом технических наук Л.М. Зусмановичем, основан на применении критермальных зависимостей /4/ и /5/, характеризующих изменения теплоемкости $\Delta \bar{T}$ и температур $\Delta \bar{T}_c$ обрабатываемого воздуха, для описания и расчета различных процессов, происходящих при непосредственном контакте воздуха с водой. Эти зависимости были получены с помощью теории подобия при решении основных дифференциальных уравнений полного и явного теплообмена.

10. Процессы, происходящие при непосредственном контакте воздуха с водой в различных оросительных камерах, выражаются следующими безразмерными зависимостями.

Для полного теплообмена:

$$\Delta \bar{T} = A(1 + M + R) R^p \cdot B^m \quad /4/$$

Для явного теплообмена

$$\Delta \bar{T}_c = (C + K \cdot M +) B^n \quad /5/$$

х) Излагаемый метод базируется на теоретических и экспериментальных исследованиях автора /см "Оросительные камеры установок искусственного климата", изд. "Машиностроение" 1967г./, а также на обобщении и обработке большого экспериментального материала, полученного при испытании различных оросительных камер и других контактных аппаратов докторами техн. наук Л.Д. Берманом, А.А. Гоголиным, Б.Е. Карпичом, О.Я. Кожориным, Е.В. Стефановым, И.В. Учаскиным, кандидатами наук П.Н. Дербяжиным, В.В. Мухомовым, Д.А. Мателенком, А.В. Пузыревским, И.Г. Сенатовым, В.Н. Тетеревниковым, инженерами И.Н. Дурановым, М.Л. Сосниным, Н.И. Мажковой и др.

где A, C, K - коэффициенты;
 $\rho; m, n$ - показатели степени;

$$\Delta \bar{J} = \frac{J_1 - J_2}{J_1 - J_p} - \text{относительное изменение теплоемкости воздуха};$$

$$\Delta \bar{T}_c = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_p} - \text{относительное изменение температуры воздуха};$$

J_1 и J_2 - теплоемкости воздуха до и после орошения в ккал/кг;

t_{c1} и t_{c2} - температура воздуха по сухому термометру до и после орошения в град;

J_p и t_p - теплоемкость и температура точки росы воздуха до орошения в ккал/кг и град;

$\Delta t_p = t_{c1} - t_p$ - гигрометрическая разность температур воздуха в град;

$J_1 - J_p \approx C_p(t_{c1} - t_p)$ - гигрометрическая разность теплоемкостей воздуха в ккал/кг

$t_{вн}$ - начальная температура распыляемой воды в град;

$t_p - t_{вн}$ - температурный аналог движущей силы/разности потенциалов/ влагообмена в град;

$M_1 = \frac{t_p - t_{вн}}{t_{c1} - t_p}$ - температурный критерий, учитывающий начальные параметры воздуха и воды;

$B = \frac{W}{G}$ - коэффициент орошения;

W - количество распыляемой воды в кг/ч;

G - количество обрабатываемого воздуха в кг/ч;

C_p - теплоемкость между влажного воздуха в ккал/кг град;

Критерий R , входящий в уравнение /4/ и учитывающий влияние влагообмена на теплообмен, определяется по следующей формуле:

$$R = 1 + \frac{t_{вн}}{2} \cdot a = 1 + 2,34a,$$

где $\sigma = \frac{P_n - P_{\delta H}}{t_p - t_{\delta H}}$ - коэффициент пропорциональности, в мм рт.ст./град;

P_n и $P_{\delta H}$ - парциальные давления водяного пара в состоянии насыщения соответственно при температурах t_p и $t_{\delta H}$ в мм рт.ст.;

$\frac{\lambda}{B_p}$ - отношение коэффициентов тепло- и влагообмена;

Для обычных условий работы оросительных камер и градирен $\frac{\lambda}{B_p} = 0,34$ ккал ат/кг град;

τ - скрытая теплота парообразования, принимаемая для средних условий равной 585 ккал/кг;

Для определения критерия R может служить также приближенная формула

$$R = 1,795 + 0,022 / t_p + t_{\delta H} / + 0,00077 / t_p^2 + t_p \cdot t_{\delta H} + t_{\delta H}^2 / .$$

II. Физический смысл уравнений /4/ и /5/ и входящих в них величин заключается в следующем.

Уравнение /4/ характеризует полный теплообмен между воздухом и водой в форсуночных охладителях, а уравнение /5/ характеризует явный теплообмен.

Безразмерная величина $\Delta \bar{T}$ характеризует изменение теплосодержания обрабатываемого воздуха в процессе орошения его водой. Безразмерная величина $\Delta \bar{T}_c$ - характеризует изменение температуры воздуха при его обработке в оросительной камере.

Температурный критерий M_1 учитывает начальные параметры взаимодействующих сред воздуха и воды и представляет собой отношение температурного аналога движущей силы

влагообмена $/t_p - t_{вн}/$ к начальной гигрометрической разности температур воздуха $/t_{с1} - t_p/$.

В зависимости от абсолютных значений $t_p; t_{вн}$ и t_c при $M_H = const$ может иметь место различная величина движущей силы влагообмена $P = P_H - P_{вн} = a(t_p - t_{вн})$. Поэтому один критерий M_H характеризует температурные условия только при явном теплообмене /уравнение 15/ .

Критерий R учитывает влияние влагообмена на теплообмен и определяет действительную величину движущей силы / разности потенциалов / влагообмена, которая зависит от абсолютных значений t_p и $t_{вн}$, входящих в разность $/t_p - t_{вн}/$.

Произведение критериев $M_H R$ характеризует отношение движущей силы влагообмена к начальной гигрометрической разности температур обрабатываемого воздуха и поэтому используется для характеристики полного теплообмена /уравнение 4/. Это же произведение критериев $M_H R$ характеризует и отношение движущей силы влагообмена к движущей силе теплообмена $/t_c - t_{вн}/$

Критерий B , или как его обычно называют коэффициент орошения, представляет собой отношение весовых скоростей воздуха V_{γ} и воды W_{γ} в поперечном сечении оросительной камеры $B = \frac{W_{\gamma}}{V_{\gamma}}$ и характеризует гидродинамические условия тепло и влагообмена.

Таким образом, тепло - и влагообмен в оросительных камерах, оцениваемый величинами ΔT и ΔT_c , характеризуется как температурными /произведение $M_H R$ / , так и гидродинамическими /критерий B / условиями обмена.

Графическая интерпретация величин $\Delta \bar{J}; \Delta \bar{T}_c; M_1; R$ и α применительно к процессам охлаждения и осушения воздуха представлена на рис.3

12. При непосредственном контакте воздуха с водой могут происходить семь различных процессов тепло- и влагообмена /см. рис.1/, которые разделяются на три группы.

А. Процессы, протекающие с понижением теплосодержания, характеризуются тремя режимами влагообмена при охлаждении воздуха:

процесс 1 - осушение и охлаждение воздуха $d_2 < d_1$;

процесс 2 - без изменения влагосодержания /сухое охлаждение $d_2 = d_1$ /;

процесс 3 - увлажнение и охлаждение воздуха $d_2 > d_1$.

Б. Процессы без изменения теплосодержания обрабатываемого воздуха. К этой группе /см. рис.1/ относится только один процесс 4 - процесс адиабатического увлажнения и охлаждения воздуха $d_2 > d_1$

В. Процессы, сопровождающиеся ^{св}повышением теплосодержания, характеризуются тремя режимами теплообмена при увлажнении воздуха.

процесс 5 - охлаждение и увлажнение воздуха $t_{c2} < t_{c1}$;

процесс 6 - изотермическое увлажнение воздуха $t_{c2} = t_{c1}$;

процесс 7 - нагрев и увлажнение воздуха $t_{c2} > t_{c1}$.

13. Проведение перечисленных в п.12 процессов обработки воздуха в оросительных камерах зависит от взаимного соотношения трех величин:

начальной температуры распыляемой воды $t_{вн}$;
начальных параметров обрабатываемого воздуха (t_{c1}, u, t_p) ;
коэффициента орошения B .

Эти величины входят в расчетные уравнения /4/ и /5/.

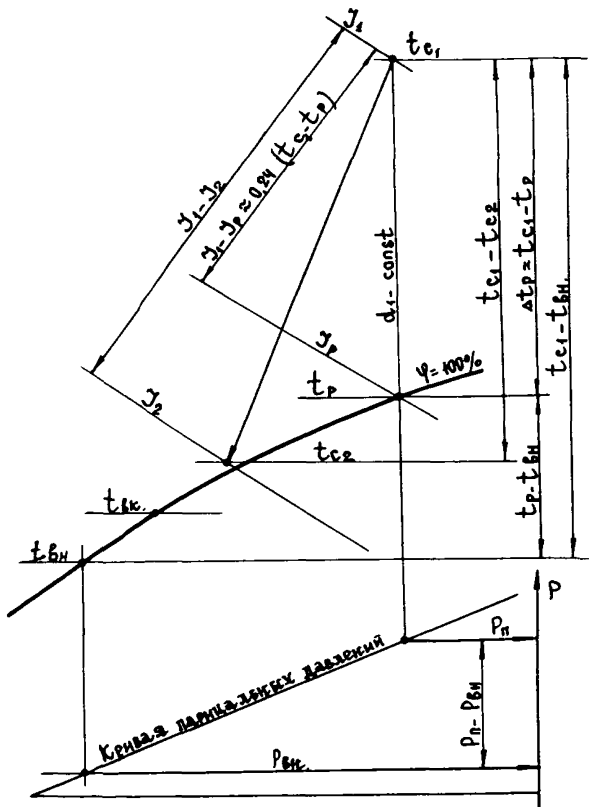


Рис.3 Графическая интерпретация расчетных величин ΔJ ; ΔT_c ; M_1 ; R и α в U-d - диаграмме.

$\Delta T_p = t_{c1} - t_p$ - гигрометрическая разность;

$$\Delta J = \frac{J_1 - J_2}{J_1 - J_p} = \frac{J_1 - J_2}{0,24(t_{c1} - t_p)} - \text{относительное изменение тепло содержания};$$

$$\Delta T_c = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_p} - \text{относительное изменение температуры};$$

$$M_1 = \frac{t_p - t_{вн}}{t_{c1} - t_p} - \text{Температурный критерий};$$

$$R = 1 + \frac{\gamma \rho p}{\alpha} \alpha = 1 + 2,34\alpha - \text{критерий, учитывающий влияние влагообмена на теплообмен};$$

$$\alpha = \frac{p_n - p_{вн}}{t_p - t_{вн}} - \text{коэффициент, мн. от. от } ^\circ\text{град.}$$

Условия, необходимые и достаточные для проведения каждого из семи процессов тепло- и влагообмена при непосредственном контакте воздуха с водой /см.рис. I/, приведены в табл. I.

Произведение критериев $M \cdot R = -1$ является основным граничным условием, разделяющим три группы процессов / с повышением, без изменения и с понижением теплосодержания /.

Оно непосредственно следует из обобщающих уравнений типа /4/ и было получено из решения дифференциального уравнения для адиабатических процессов.

14. Развернутый вид обобщающего уравнения /4/ относительно разности теплосодержаний воздуха раскрывает составные части процессов полного теплообмена.

$$\Delta J = J_1 - J_2 = AC_p(t_c - t_p)R^p \cdot B^m + AC_p(t_p - t_{вн})R^{**p} \cdot B^m \quad /7/$$

Из уравнения /7/ следует, что разность ΔJ охлаждаемого воздуха состоит из двух слагаемых. Первое определяется начальной гигрометрической разностью температур $|t_c - t_p|$, а второе - величиной температурного аналога движущей силы влагообмена $|t_p - t_{вн}|$. Чем меньше значение $|t_c - t_p|$, т.е. чем больше относительная влажность воздуха φ_1 , тем незначительнее доля первого слагаемого в общем теплообмене.

При $|t_c - t_p| = 0$ и $\varphi_1 = 100\%$ величина первой слагаемой в уравнении равна нулю. При этом условии получены уравнения для расчета процессов обработки насыщенного воздуха.

15. Уравнения /4/ и /5/ применимы для описания процессов тепло- и влагообмена происходящих в оросительных камерах

Условия проведения процессов при непосредственном контакте нагретого воздуха с водой в оросительных камерах			Таблица 1		
Условия проведения процессов			Процессы изменения состояния воздуха		
Необходимые	М, R	Дополнительные			
Начальная температура рассматриваемой среды, $t_{вн}$		Коэффициент орошения, B			
$t_{вн} < t_p$ ($M_1 > 0$)	$M_1 R > -1$	$B > \frac{C_p}{M_1 C_B}$	С пониженным теплосодержанием.	Процесс 1 осушение и охлаждение $d_2 < d_1$	
		$B_m = \frac{C_p}{M_1 C_B}$		Процесс 2 сухое охлаждение $d_1 = d_2$	
		$B < \frac{C_p}{M_1 C_B}$		Процесс 3 увлажнение и охлаждение $d_2 > d_1$	
$t_p \leq t_{вн} < t_m$ ($-1 < M_1 \leq 0$)		$B > 0$		Процесс 3 увлажнение и охлаждение $d_2 > d_1$	
$t_{вн} = t_m$ ($-1 < M_1 < 0$)	$M_1 R = -1$	$B > 0$		Процесс 4. адиабатическое увлажнение без изменения теплосодержания.	
$t_m < t_{вн} \leq t_c$ ($-1 \leq M_1 < 0$)		$B > 0$	С повышенным теплосодержанием.	Процесс 5 охлаждение и увлажнение $t_{c2} < t_{c1}$	
$t_{вн} > t_c$ ($M_1 < -1$)	$M_1 R < -1$	$B < \frac{C_p K}{M_4 C_B}$		Процесс 5 охлаждение и увлажнение $t_{c2} < t_{c1}$	
		$B_m = \frac{C_p \cdot K}{M_4 C_B}$		Процесс 6 изотермическое увлажнение $t_{c2} = t_{c1}$	
		$B > \frac{C_p K}{M_4 C_B}$	Процесс 7 нагрев и увлажнение $t_{c2} > t_{c1}$		

Примечание. Критерий $M_4 = -(1 + M_1) = \frac{t_{вн} - t_c}{t_c - t_p}$; коэффициент $K = \frac{j_1 - j_2}{j_1 - j_p}$; B_m - теоретический коэффициент орошения; C_p и C_B - теплоемкость воздуха и воды.

различных конструкций.

Структура указанных уравнений не зависит от конструктивных характеристик камер.

В зависимости от конструктивных характеристик камер, т.е. от диаметра выходных отверстий центробежных форсунок db , плотности их расположения на стояках n , числа рядов стояков Z и от взаимных направлений движения воздуха и воды, в уравнениях /4/ и /5/ изменяются только величины показателей степени m и n у коэффициента орошения B и величин коэффициентов A, C и K .

16. Численные значения коэффициентов и показателей степеней в уравнениях /4/ и /5/, в зависимости от указанных в п.15 конструктивных факторов, приведены в расчетных таблицах 2,5 и 10.

От размеров площади поперечного сечения оросительных камер ψ величины A, C и K и показатели m и n , при всех прочих равных конструктивных характеристиках, практически не зависят.

17. Обобщающие уравнения, приведенные в табл.2,5 и 10, применимы для расчета процессов изменения состояния воздуха с различными начальными параметрами.

В том числе эти уравнения справедливы и для расчета процессов охлаждения /табл.2/ или нагрева /табл.10/ насыщенного воздуха при $\varphi_1 = 100\%$. При постоянном произведении критериев $M \cdot R$ величины $\Delta \bar{J}$ не зависят от гигрометрической разности температур $(t_{c1} - t_{p1})$ т.е. при $M \cdot R = const$

$$\Delta \bar{J} \neq f(t_{c1} - t_{p1}).$$

18. Для получения частных расчетных зависимостей для охлаждения насыщенного воздуха при $\varphi = 100\%$ обобщившие уравнения следует представить в развернутом виде (см. пункт I4) и приравнять к нулю первое слагаемое в уравнении (7), так как $(t_{c2} - t_p) = 0$.

При этом расчетная формула для процессов охлаждения насыщенного воздуха приобретет следующий вид:

$$\Delta J = J_1 - J_2 = AC_p (t_p - t_{6H}) R^{1+p} \cdot B^m. \quad (8)$$

Таким же способом могут быть получены и частные расчетные формулы для охлаждения воздуха с различными начальными параметрами при конкретных значениях $(t_{c2} - t_p) \neq 0$.

19. При расчетах оросительных камер ^{идеальных} охлаждения и осушения воздуха возникает необходимость определения величины коэффициента влаговыпадения.

Коэффициент влаговыпадения определяется по следующей формуле

$$\xi = 1,04(1 + M_2 R^1) R^{-0,3} B^{0,14}, \quad (9)$$

где $M_2 = \frac{t_p - t_{6H}}{t_{c1} - t_{6H}}$ - температурный критерий, представляющий отношение температурного аналога движущей силы влагообмена к движущей силе теплообмена;

$$R^1 = R - 1 = \frac{\tau_{BP}}{\alpha} \cdot \sigma - \text{критерий, учитывающий влияние влагообмена на теплообмен.}$$

Формула (9) получена из уравнений (4) и (5) при $d_0 = 4,5-5,0$ мм, Z от 2 до 3, дРЧ в. изменения M_1 от 0 до +1 и при условии $t_{6H} < t_p$

Произведение критериев $M_2 R^1$ имеет четкий физический смысл и представляет собой отношение движущей силы влагообмена к движущей силе теплообмена.

Коэффициент ξ определяется также и с помощью уравнений (10) + (16) для ΔJ и ΔT_c , так как $\xi = \frac{\Delta J}{\Delta T_c}$.

20. Обобщившие уравнения (4) и (5), а также расчетные за-

висимости, приведенные в таблицах 2,5,7 и 10, связывают водные начальные и конечные параметры воздуха, начальную температуру орошающей воды и коэффициент орошения B , что создает возможность для решения как прямых, так и обратных задач по расчету оросительных камер. Методика расчета и ход решения различных теплотехнических задач приведены в табл. 14, 15, 16 и 17.

II. РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ ПРИ НЕПОСРЕДСТВЕННОМ КОНТАКТЕ ВОЗДУХА С ВОДОЙ

A. Расчет процессов понижения теплосодержания воздуха

I. Одноступенчатые оросительные камеры

21. Расчет процессов понижения теплосодержания воздуха в оросительных камерах различных поперечных сечений производится по значениям критериев $\Delta \bar{J}$ и $\Delta \bar{T}_c$. Формулы для расчетов приведены в табл. 2.

По табл. 2 / см. формулы (10) + (16) / ~~можно~~ рассчитываются различные оросительные камеры, характеристики которых представлены в табл. 3.

Пределы изменения параметров воздуха и воды для расчетных формул (10) - (16) указаны в табл. 4.

22. Для облегчения расчетов по формулам (10)-(16) составлены номограммы 1, 2 и 4.

Критерий R определяется по диаграмме 1, составленной по формуле (6).

Для облегчения аналитических расчетов в приложении приведены табл. 18 и 19, в которых содержатся значения коэффициентов орошения B и критерия R , вычисленные в соответствующих степенях.

23. При изображении процесса изменения состояния воздуха на $J-d$ диаграмме прямой линией следует иметь в виду, что конечные параметры воздуха приобретают более высокие значения, чем конечная температура отпленной воды t_{6k} (т.е. процесс отклоняется вправо от значения t_{6k}).

Таблица 2.

Данные для расчета процессов понижения тепло содержания воздуха
в одноступенчатых оросительных камерах.

Тигрометрическая разность температур $\Delta t_p = t_c - t_p$	Характер процессов обработки воздуха	Диаметр выходного отверстия форсунок d_0 , мм	Расчетные зависимости		Материалы для упрощения расчетов			
			Для определения величин $\Delta \bar{J}$ и \bar{J}_2	Для определения величин $\Delta \bar{t}_c$ и t_{c2}	Контogramмы	Диаграммы	Таблицы	
$0 \leq \Delta t_p \leq 35$	Осушение, сухое охлаждение и увлажнение воздуха	5,0 ÷ 4,5	$\Delta \bar{J} = 0,67(1 + M, R)^{-0,3} B^{0,55} \quad (10)$	$\Delta \bar{t}_c = (0,73 + 0,49 M_1) B^{0,35} \quad (11)$	Контogramма 1	Диаграмма 1	Таблицы 18 и 19 с вычисленными значениями B и R в соответствующих степенях.	
		4,0	$\Delta \bar{J} = 0,62(1 + M, R)^{-0,3} B^{0,56} \quad (12)$	$\Delta \bar{t}_c = (0,78 + 0,38 M_1) B^{0,3} \quad (13)$				Контogramма 2
		3,0	$\Delta \bar{J} = 0,7(1 + M, R)^{-0,3} B^{0,62} \quad (14)$	$\Delta \bar{t}_c = (0,8 + 0,46 M_1) B^{0,33} \quad (15)$				
$0 \leq \Delta t_p \leq 2,0$	Осушение насыщенного воздуха	5,0 ÷ 4,5	$\Delta \bar{J} = \bar{J}_1 - \bar{J}_2 = 0,157(t_p - t_{вн}) R^{0,7} B^{0,53} \quad (16)$	Значение t_{c2} определяется по \bar{J}_2 и $\varphi_c \approx 100\%$	Контogramма 4.			

Таблица 3.

Характеристики одноступенчатых оросительных камер.

Число рядов форсунок Z	Направление распыления воды	Плотность расположения форсунок на стояках, шт/м ² ряд.	Расстояние между рядами форсунок, м	Примечание.
2 и 3	Взаимно-встречное и противоточное	13 - 18	≈ 0,6	Без орошения выходного сепаратора

Таблица 4.

Пределы изменения параметров воздуха и воды в одноступенчатых оросительных камерах при понижении теплоемкости воздуха (для расчетов по формулам в таблице 2)

Величина гитронетрической разности температур $\Delta t_p = t_{сг} - t_p$	Диаметр выходного отверстия форсунок d_0 , мм	Избыточное давление воды перед форсунками P_0 , атм.	Весовая скорость воздуха в камере $U\gamma$, кг/м ² сек.	Начальная температура распыляемой воды $t_{вн}$, град.	Температура точки росы обрабатываемого воздуха t_p , град.
$0 \leq \Delta t_p \leq 35$	5,0	$0,7 \leq P_0 \leq 2,5$	$1,6 \leq U\gamma \leq 3,0$	$2 \leq t_{вн} \leq 25$	$5 \leq t_p \leq 25$
	4,0	$1,0 \leq P_0 \leq 3,0$			
	3,0	$1,0 \leq P_0 \leq 3,5$			

Относительная влажность φ в конце процесса орошения, в зависимости от соотношения начальных параметров воздуха и воды и коэффициента орошения, может меняться в достаточно широких пределах от 70 до 100%.

24. Выбор начальной температуры распыленной воды $t_{\text{вн}}$ и коэффициента орошения B должен проводиться в соответствии с рекомендациями табл. I. В зависимости от величины B , определяемой по формулам в табл. I, при $t_{\text{вн}}$ меньшей точки росы воздуха t_p возможно проведение всех трех процессов влагообмена с понижением теплосодержания воздуха (процессы 1, 2 и 3 на рис. I).

Процессы осушения и сухого охлаждения (процессы 1 и 2) проводятся всегда при значениях $t_{\text{вн}}$ меньших точки росы воздуха t_p . Для проведения сухого охлаждения воздуха расчетный коэффициент орошения должен составлять $B = I_{1,1} + I_{1,2} B_m$ от теоретической величины B_m , вычисляемой по формуле, приведенной в табл. I для процесса 2.

Для проведения процессов увлажнения воздуха с понижением теплосодержания (процесс 3) значения $t_{\text{вн}}$ целесообразно выбирать равными или близкими к температуре точки росы t_p .

При этом рассчитываемый коэффициент B не должен, как правило, превышать $B = I_{1,2} + I_{1,5}$.

25. Расчет процессов осушения насыщенного воздуха ($t_{c1} t_p = 0$ или воздуха, близкого к состоянию насыщения ($t_{c1} - t_p \leq 2,0$ см. указания в п.п. 17 и 18), следует проводить по формуле (16), приведенной в табл. 2, или по номограмме 4. Конечная температура воздуха t_{c2} определяется при J_2 и $\varphi_2 = 100\%$. Последовательность расчета этих процессов иллюстрируется в примере 7.

26. При применении оросительных камер с плотностью расположения форсунок меньшей 13 шт/м² ряд ($p = 8 \div 10$ шт/м² ряд, что достигается путем заглушения части форсунок в типовых камерах), значения $\Delta \bar{J}$ и $\Delta \bar{T}_c$, полученные по формулам или номограммам 1, 2 и 4, должны быть увеличены в среднем на 4-6%.

При повышенных плотностях ($p = 24 \div 28$ шт/м² ряд) величинами

$\Delta \dot{J}$ и $\Delta \dot{T}_c$ должны быть соответственно уменьшены на 5-8%.

27. Давление воды перед форсунками в оросительных камерах при различных клятиностях расположения форсунок и диаметрах выходных отверстий ($d_0 = 3-5$ мм) следует принимать не ниже 0,65-0,7 атм.

28. Методика расчета и последовательность решения прямых и обратных задач с помощью формул и номограмм приведены в табл. 14 и примерах I + 7.

2. Двухступенчатые оросительные камеры

29. Противоточные двухступенчатые оросительные камеры представляют собой последовательно соединенные по потоку воздуха две одноступенчатые камеры, большей частью двухрядные (рис. 4).

30. Противоточные двухступенчатые камеры, при всех прочих равных условиях с одноступенчатыми камерами (т.е. при $t_{c1} t_{m} = \text{const}$; $t_{cN} = \text{const}$; $B = \text{const}$; U_j и $P = \text{const}$) обеспечивают увеличение полного теплообмена ($\Delta \dot{J}$ и $\Delta \dot{J}$) при охлаждении и осушении воздуха на 30-85% и явного теплообмена (ΔT_{c1} и ΔT_c) в среднем на 15-17%. На режимах увлажнения и сухого охлаждения увеличение полного теплообмена составляет в среднем 15-20%, а явного 10-12%.

31. Двухступенчатые оросительные камеры целесообразно применять при ограниченном расходе холодной воды (например, при артезианском водоснабжении), а также для охлаждения воздуха более теплой водой, предварительно отработавшей в поверхностных воздухоохладителях или в обычных одноступенчатых камерах. В двухступенчатых оросительных камерах тот же эффект охлаждения и осушения воздуха достигается при более высокой начальной температуре воды, чем в одноступенчатых камерах.

32. Расчет процессов понижения теплосодержания воздуха в противоточных двухступенчатых оросительных камерах различных поперечных сечений производится по значениям критериев $\Delta \dot{J}$ и $\Delta \dot{T}_c$.
Формулы для расчетов приведены в табл. 5.

По табл. 5 / см. формулы (17) и (18) / можно рассчитывать различные оросительные камеры, характеристики которых представлены в табл. 3.

Таблица 5.

Данные для расчета процессов понижения тепло содержания воздуха
в противоточных двухступенчатых оросительных камерах.

Интегральная разность температур $\Delta t_p = t_c - t_p$	Характер процессов обработки воздуха	Диаметр выходного отверстия форсунок d_0 , мм	Расчетные зависимости		Материалы для упрощения расчетов		
			Для определения величин $\Delta \bar{J}$ и J_2	Для определения величин $\Delta \bar{t}_c$ и t_{c2}	Номотраммы	Диаграммы	Таблицы
$0 \leq \Delta t_p \leq 30$	Осушение, сухое охлаждение и увлажнение воздуха	$50 \div 4,5$	$\Delta \bar{J} = 0,88 (1 + M, R) R^{-0,3} B^{0,55} \quad (17)$	$\Delta \bar{t}_c = (0,85 + 0,64 M, R) B^{0,25} \quad (18)$	Номотрамма 3	Диаграмма 1 для определения критерия R	Таблицы 18 и 19

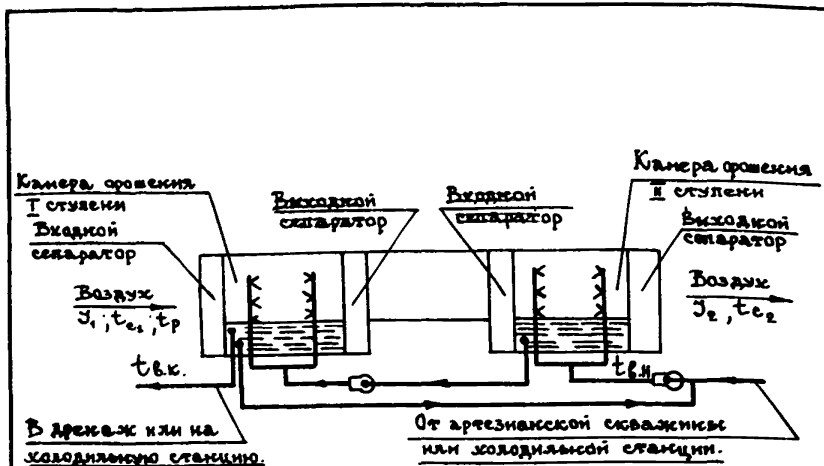


Рис. 4 Принципиальная схема кратковременной двухступенчатой оросительной камеры.

Таблица 6

Пределы изменения параметров воздуха и воды в двухступенчатых оросительных камерах.

Величина гигрометри- ческой разности температур	Диаметр выходного отверстия форсунок d_0 , мм	Избыточное давление воды перед форсунками P_0 , атм.	Весовая скорость воздуха в камере γ , кг / м ² сек.	Температура распыляемой воды $t_{в.к.}$, град.	Температура точности обработки воздуха, t_p , град.
$0 \leq \Delta t_p \leq 30$	$4,5 \div 5,0$	$1,0 \div 2,5$	$1,6 \leq \gamma \leq 3,0$	$8 \leq t_{в.к.} \leq 20$	$5 \leq t_p \leq 25$

Пределы изменения параметров воздуха и воды для расчетных формул (17) и (18) указаны в табл. 6.

33. Для облегчения расчетов по формулам в табл. 5 составлена номограмма 3 и в приложениях приведены таблицы 18 и 19, в которых содержатся значения коэффициентов орошения B и критерия R , вычисленные в соответствующих столбцах. Значения критерия R определяются по диаграмме 1, составленной по формуле (6) с помощью таблиц парциальных давлений водяного пара.

34. При расчете двухступенчатых оросительных камер следует иметь в виду, что конечная температура воздуха по сухому термометру t_{c2} , покидающего камеру орошения второй ступени, как правило, оказывается ниже температуры воды t_{tk} , обработанной в камере орошения первой ступени и направляемой на холодильную станцию.

35. При применении двухступенчатых оросительных камер с плотностью расположения форсунок, отличной от данных табл. 8, следует руководствоваться указаниями п. 26.

36. Методика расчета и ход решения различных теплотехнических задач для двухступенчатых камер аналогичны методике расчета одноступенчатых камер и приведены в табл. 14 и примере 8.

Б. Расчет процессов адиабатического увлажнения и охлаждения воздуха

37. Для осуществления адиабатического увлажнения и охлаждения воздуха применяют однорядные оросительные камеры с противоточным распылением воды или двухрядные со встречным распылением. При круглогодесом кондиционировании воздуха оросительные камеры оснащаются преимущественно форсунками диаметром 4-5,0 мм. В камерах, предназначенных только для адиабатических процессов, применяют форсунки диаметром 3-3,5 мм.

38. Процессы адиабатического увлажнения воздуха без изменения его теплоемкости ($J_1 \approx J_2; \Delta J = 0$ и $\Delta \bar{J} = 0$) протекают в оросительных камерах при рециркуляции распыляе-

мой воды, ^{которая} при этом приобретает температуру мокрого термометра обрабатываемого воздуха ($t_m \approx t_{\text{вн}} \approx t_{\text{вк}}$).

39. При адиабатическом увлажнении воздуха с различными начальными параметрами величина произведения критериев $M, R \approx -1$. Это значение сохраняется постоянным при проведении адиабатических процессов в различных теплообменниках аппаратах при непосредственном контакте воздуха с рециркуляционной водой.

При $M, R \approx -1$ величинам ΔT_c и $\Delta T_{\text{вн}}$ *А.С. формулы (4)*. Поэтому расчет адиабатических процессов производится по перепадам температур воздуха, определяемым по уравнению

$$\Delta T_c = DR^k B^n, \quad (19)$$

где D - коэффициент.

40. Расчет процессов адиабатического увлажнения и охлаждения воздуха в оросительных камерах различных поперечных сечений производится по значениям критерия ΔT_c . Формулы для расчетов приведены в табл. 7.

Данные табл. 7 / см. формулы (20) и (21)/, действительны для различных оросительных камер, характеристики которых приведены в табл. 8. Пределы применимости формул (20) и (21) указаны в табл. 9.

41. Для облегчения расчетов по формулам (20) и (21) составлена номограмма 5.

Критерий R определяется по диаграммам 1 или 2, в зависимости от величины отрицательной разности ($t_p - t_{\text{вн}}$).

При разности ($t_p - t_{\text{вн}}$) ≥ -15 следует пользоваться диаграммой 1, а при ($t_p - t_{\text{вн}}$) ≤ -15 диаграммой 2.

42. При значениях критерия $R < 2,7$, которые соответствуют низким режимам адиабатического увлажнения воздуха, величинам ΔT_c , вычисленные по формулам (20) и (21) или по номограмме 5, умножаются на понижающий коэффициент $\delta < 1$, определяемый по графику рис. 5.

43. Для однорядных и двухрядных оросительных камер, оснащенных форсунками диаметром $3 \pm 3,5$ мм, значения ΔT_c , найденные по формулам табл. 7 или номограмме 5, следует уве-

Таблица 7

Данные для расчета процессов адиабатического увлажнения и
охлаждения воздуха в оросительных камерах

Диаметр выходного отверстия форсунок d_o , мм	Число рядов форсунок в камерах, Z	Расчетные зависимости для определения величин $\Delta \bar{t}_{с}$ и $t_{с2}$	Материал для упрощения расчетов		Примечание
			Контотранны	Диатранны	
5,0 - 4,5	$Z=1$ (однорядные камеры)	$\Delta \bar{t}_{с} = 0,331 R^{0,56} B^{0,4}$ (20)	Контотранна 5	Диатранны 1 и 2 для определе- ния критерия R	При $R < 2,7$ значения $\Delta \bar{t}_{с}$, найденные по формулам (20) и (21) или контотранне 5, умножаются на коэффициент β , определяемый по графику на рис. 5.
	$Z=2$ (двухрядные камеры)	$\Delta \bar{t}_{с} = 0,304 R^{0,56} B^{0,35}$ (21)			

Таблица 8.

Характеристики оросительных камер (для расчетов по формулам в таблице 7)

Число рядов форсунок в камерах, Z	Направление распыления воды.	Плотность расположения форсунок на стояках Π шт/м ² ряд.	Расстояние между рядами форсунок, M	Примечание
$Z=1$ (Однорядные камеры)	Против потока воздуха	от 13 до 18	~ 0,6	Без орошения выходного сепаратора
$Z=2$ (Двухрядные камеры)	Взвешенно-встречное			

Таблица 9

Пределы изменения параметров воздуха и воды в оросительных камерах при адиабатическом увлажнении (для расчетов по формулам в таблице 7.)

Диаметр выходного отверстия форсунок d_o , мм	Число рядов форсунок в камерах, Z	Коэффициент орошения, B	Избыточное давление воды перед форсункой, P_o , атм	Весовая скорость воздуха, $\gamma \gamma$ кг/м ² сек.	Температура воздуха по мокрому термометру.
4,5—5,0	$Z=1$ (Однорядные камеры)	$0,35 \leq B \leq 1,0$	$1,0 \leq P_o \leq 3,5$	$1,6 \leq \gamma \gamma \leq 3,0$	$4 \leq t_n \leq 28$
	$Z=2$ (Двухрядные камеры)	$0,6 \leq B \leq 1,4$			

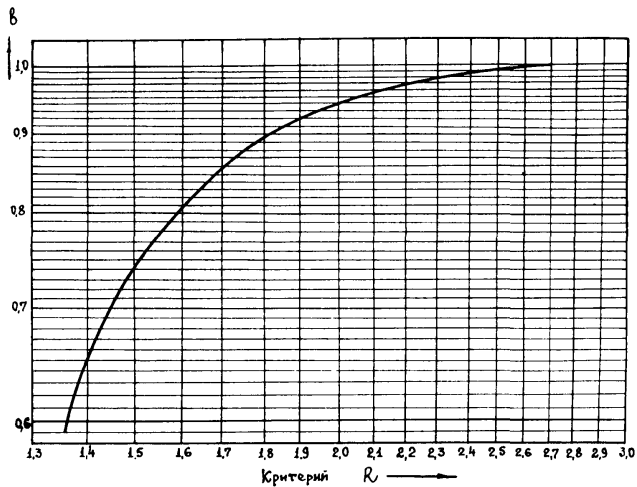


Рис. 5. Зависимость $v = f(R)$ для процессов адиабатического увлажнения воздуха.

лчить на $7 \pm 10\%$ (при одних и тех же величинах B и R).

44. При применении оросительных камер с плотностью расположения форсунок, отличной от данных в табл. 8, следует руководствоваться указаниями п. 26.

45. Методика расчета и последовательность решения прямых и обратных задач при адиабатическом увлажнении воздуха в однорядных и двухрядных оросительных камерах приведены в табл. 15 и примерах 9 и 10.

В. Расчет процессов повышения теплосодержания воздуха

46. Процессы, протекающие с повышением теплосодержания воздуха при положительных температурах ($t_{c1} \geq 0^\circ\text{C}$), осуществляются, как правило, в двухрядных оросительных камерах со встречным распылением или в однорядных камерах с противоточным распылением воды.

47. Расчет процессов повышения теплосодержания воздуха в оросительных камерах различных поперечных сечений производится по значению критерия $\Delta \bar{J}$. Формулы для расчетов приведены в табл. 10.

По табл. 10 / см. формулы (22)-(24)/ можно рассчитывать различные оросительные камеры, характеристики которых приведены в табл. 8. Пределы изменения параметров воздуха и воды для формул (22) - (24) указаны в табл. 11.

48. Для облегчения расчетов по формулам (22)-(24) составлена номограмма 6.

В приложении приведены табл. 18 и 19, в которых содержатся значения коэффициентов орошения B и критерия R , вычисленные в соответствующих степенях.

Критерий R при ($t_p - t_{in}$) $\geq -15^\circ\text{C}$ определяется по диаграмме 1. При разности ($t_p - t_{in}$) $\leq -15^\circ\text{C}$ следует пользоваться диаграммой 2.

При повышении теплосодержания воздуха значения критерия $\Delta \bar{J} = \frac{J_1 - J_2}{J_1 - J_p}$ приобретают отрицательные значения, так как $J_2 > J_1$.

Таблица 10

Данные для расчета процессов повышения теплодержания воздуха в
в одноступенчатых оросительных камерах.

Титрометри- ческая разность темпера- тур, $\Delta t_p = t_c - t_p$	Характер процессов обработки воздуха.	Диаметр выходного отверстия форсунок, d_o , мм	Расчетные зависимости для определения величин $\Delta \bar{J}$ и \bar{J}_2	Материалы для упрощения расчетов			Примечание.
				Контурная	Диagramмы	Таблицы	
$0 \leq \Delta t_p \leq 50$	Охлаждение и увлажнение, изотермическое увлажнение, нагрев и увлажнение.	5,0 ÷ 4,5	$\Delta \bar{J} = 0,54(1 + M, R) R^{-0,3} B^{0,53} \quad (22)$	Контурная Б.	Диagramмы 1 и 2 для определе- ния критерия R	Таблицы 18 и 19 с вычис- ленными значения- ми B и R в соответ- ствующих степенях	1. Значения $\Delta \bar{J}$ и $\Delta \bar{J}$ отрицательные 2. Значения t_{c2} определяются по значению \bar{J}_2 при $\varphi_2 = 94 \div 98\%$.
		3,5	$\Delta \bar{J} = 0,6(1 + M, R) R^{-0,3} B^{0,63} \quad (23)$				
$0 \leq \Delta t_p \leq 2,0$	Нагрев и увлажнение	5,0 ÷ 4,5	$\Delta \bar{J} = \bar{J}_1 - \bar{J}_2 = 0,14(t_p - t_{6H}) R^{0,7} B^{0,53} \quad (24)$	Контурная 4.			Значения t_{c2} определяются по значению \bar{J}_2 при $\varphi_2 = 100\%$.

Таблица 11

Пределы изменения параметров воздуха и воды в одноступенчатых камерах при повышении теплоемкости воздуха.

Величины гигрометрической разности температур $\Delta t_p = t_c, -t_p$	Диаметр выходного отверстия форсунок d_0 , мм	Избыточное давление воды перед форсунками P_0 , ати.	Весовая скорость воздуха в камере $V \gamma$ кг/м ² сек	Начальная температура распиляемой воды $t_{вк}$, град	Температура точки росы обрабатыва- емого воздуха, град.	Темпе- ратура воздуха по сухому термоме- тру t_c , град
$0 \leq \Delta t_p \leq 50$	5,0 ÷ 4,5	$0,7 \leq P_0 \leq 2,5$	$1,6 \leq V \gamma \leq 3,0$	$10 \leq t_{вк} \leq 45$	$-26 \leq t_p \leq 25$	$0 \leq t_c \leq 40$
	3,5	$1,0 \leq P_0 \leq 3,5$				

49. Процессы с повышением теплосодержания воздуха протекают при больших разностях парциальных давлений водяных паров в обрабатываемом воздухе и в пограничном слое воздуха у расширяемой воды. Поэтому воздух после орошения горячей водой приобретает относительную влажность равную, как правило, $\varphi_2 \approx 94-98\%$, по которой при известном J_2 определяются значения t_{c2} .

50. При изображении процесса изменения состояния воздуха на $J-d$ диаграмме прямой линией следует иметь в виду, что конечные параметры воздуха приобретают более низкие значения, чем конечная температура расширяемой воды t_{bk} (т.е. процесс отклоняется влево от значения t_{bk}).

51. Выбор начальной температуры расширяемой воды t_{bn} и коэффициента орошения B для осуществления процессов, протекающих с повышением теплосодержания воздуха, должен проводиться в соответствии с рекомендациями табл. I.

В зависимости от величины B , определяемой по формулам в табл. I, при t_{bn} большей, чем температура воздуха t_{c1} , по сухому термометру, возможно проведение всех трех процессов теплообмена с повышением теплосодержания (процессы 7, 6 и 5, рис. I). Процессы нагрева и изотермического увлажнения воздуха (процессы 7 и 6) проводятся при значениях t_{bn} всегда больших, чем t_{c1} .

Для проведения процессов охлаждения и увлажнения с повышением теплосодержания (процесс 5) значения t_{bn} целесообразно выбирать меньшими температуры воздуха t_{c1} .

52. Для проведения процессов изотермического увлажнения воздуха ($d_1 \approx 3 + 4$ гр/кг сух. воздуха) начальная температура расширяемой воды должна приниматься, обычно, на $9-11^\circ\text{C}$ выше начальной температуры воздуха

$$t_{bn} = t_{c1} + (9 + 11^\circ\text{C}).$$

Коэффициент орошения при этом определяется по номограмме 6. В этом случае коэффициент орошения обычно составляет I, I от теоретического значения B_m , вычисляемого по формуле для процесса 6, приведенной в табл. I. (см. пример II).

53. Однорядные камеры с противоточным распылением воды могут быть рассчитаны по уравнениям (22)+(24) или по номограмме^е путем умножения полученных величин $\Delta \bar{T}$ на коэффициент $\ell = 0,96 + 0,98$.

54. Расчет процессов нагрева насыщенного воздуха ($t_{c_i} - t_p$) = 0 или воздуха, близкого к состоянию насыщения ($t_{c_i} - t_p$) $\leq 2,0^\circ\text{C}$ (см. указания п. 17 и 18), следует проводить по формуле (24) или по номограмме 4. Конечная температура воздуха t_{c_2} определяется при \mathcal{J}_2 и $\varphi_2 = 100\%$.

Расчет процессов нагрева и увлажнения насыщенного воздуха с отрицательными температурами приведен в примере 13. При этих процессах должны предусматриваться меры защиты от обмерзания входного сепаратора. Соответствующие рекомендации изложены в примере 13.

55. При применении оросительных камер с плотностью расположения форсунок, отличающейся от данных, приведенных в табл. 3, следует руководствоваться указаниями п. 26.

56. Методика расчета и последовательность решения прямых и обратных задач с помощью формул и номограммы 6 приведены в табл. 16 и примерах II-14.

Г. Расчет охлаждения воды в оросительных камерах

57. Охлаждение циркуляционной воды в различных системах обратного водоснабжения (в системах охлаждения конденсаторов холодильных машин, косвенного испарительного охлаждения и т.д.) целесообразно осуществлять в двух- или трехрядных оросительных камерах кондиционеров.

58. Расчет процессов охлаждения циркуляционной воды в оросительных камерах различных поперечных сечений производится по значениям критерия относительного изменения температуры воды $\Delta \bar{T}_s$, определяемого по уравнению

$$\Delta \bar{T}_s = A (1 + M_1 R) R^{-P} \cdot B^{-K}. \quad (25)$$

Величина $\Delta \bar{t}_b = \frac{t_{bk} - t_{bn}}{t_c - t_p}$ имеет отрицательное значение, так как температура воды после охлаждения t_{bk} будет меньше начальной t_{bn} .

59. Формулы для расчетов величин $\Delta \bar{t}_b$ приведены в табл. 12.

Данные табл. 12 /см. формулы (26)-(28)/ действительны для расчета различных оросительных камер, характеристики которых представлены в табл. 3. Пределы изменения параметров воздуха и воды для расчета по формулам (26)-(28) указаны в табл. 11.

60. Для облегчения расчетов по формулам (26)-(28) составлена номограмма 7 и в приложении приведены табл. 18 и 19, в которых содержатся значения коэффициентов орошения B и критерия R , вычисленные в соответствующих степенях.

Критерий R определяется по диаграммам 1 или 2 в зависимости от величины отрицательной разности $t_p - t_{bn}$.

При разности $(t_p - t_{bn}) \geq -15$ следует пользоваться диаграммой 1, а при $(t_p - t_{bn}) \leq -15$ - диаграммой 2. По формуле (6) критерий R определяется с помощью таблиц водяного пара. Для обычных охлаждающих нагрузок целесообразно принимать $B < 1,75$.

61. Процессы охлаждения циркуляционной воды сопровождаются повышением теплосодержания охлаждающего воздуха. При этом конечная температура охлажденной воды в одноступенчатых камерах выше конечных параметров уходящего воздуха.

62. Расчет охлаждения воды насыщенным воздухом или воздухом, близким к состоянию насыщения $(t_c - t_p) \leq 2,0$, производится по уравнению (28) табл. 12. Уравнение (28), полученное как частный случай из обобщающего уравнения (26) при $(t_c - t_p) = 0$ (см. п. 18), по своей структуре аналогично формуле Вольфа, применяемой в настоящее время для расчета бризгальных вентиляторных градирен.

63. При выборе расчетных параметров охлаждающего воздуха (из ряда сочетаний параметров, имеющих одинаковую температуру t_m по мокрому термометру) необходимо учитывать, что более глубокое охлаждение воды достигается тогда, когда воздух имеет

Таблица 12

Данные для расчета охлаждения воды в просительных камерах

Титрометрическая разность температур $\Delta t_p = t_{c1} - t_p$	Характер процесса	Диаметр выходного отверстия форсунок d_{fo} , мм	Расчетные зависимости для определения величин $\Delta \bar{T}_B$ и $t_{вк}$.	Материалы для упрощения расчетов		
				Контотранннн	Днотранннн	Таблнннн
$0 \leq \Delta t_p \leq 50$	Охлаждение воды накаливаемым воздухом.	$5,0 \div 4,5$	$\Delta \bar{T}_B = 0,136 (1 + M, R) R^{-0,3} B^{-0,47} \quad (26)$	Контотранннн 7	Днотранннн 1 и 2. для определения критерия R	Таблнннн 18 и 19 с вычисленными значениями B и R в соответствующих столбцах.
		3,5	$\Delta \bar{T}_B = 0,15 (1 + M, R) R^{-0,3} B^{-0,37} \quad (27)$			
$0 \leq \Delta t_p \leq 20$	Охлаждение воды накаливаемым воздухом	$5,0 \div 4,5$	$\Delta t_B = t_{вк} - t_{вн} = 0,14 (t_p - t_{вн}) R^{0,7} B^{-0,47} \quad (28)$			

большую психрометрическую разность ($t_{c_1} - t_m$), большую гигрометрическую разность ($t_{c_1} - t_p$) или меньшую относительную влажность φ .

В то же время, если выбор параметров воздуха производится из ряда сочетаний параметров, имеющих постоянную точку росы t_p , то более глубокое охлаждение воды достигается, наоборот, в случае, когда начальный воздух имеет меньшие психрометрическую и гигрометрическую разности или более высокую относительную влажность φ .

64. При применении оросительных камер с плотностью расположения форсунок, отличной от данных, приведенных в табл. 3, следует руководствоваться указаниями п. 26.

65. Методика расчета и последовательность решения прямых и обратных задач с помощью формул (26)-(28) и номограммы 7 приведены в табл. 17 и примерах 14-16.

IV. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАСЧЕТОВ ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА В ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАМЕРАХ

66. При расчетах различных процессов изменения состояния воздуха в оросительных камерах встречаются два вида теплотехнических задач: прямые и обратные.

Начальные параметры воздуха ($T_1; t_{c_1}; t_p$ и t_m) перед орошением для обоих видов задач являются известными.

Целью прямых задач является нахождение коэффициента орошения B и начальной температуры воды t_{6H} для обеспечения требуемых (заданных) конечных параметров воздуха T_2 и t_{c_2} .

Целью обратных задач является определение конечных параметров воздуха T_2 и t_{c_2} (или воды t_{6K}), получаемых в результате орошения при известных значениях B и t_{6H} .

67. Примеры расчета оросительных камер составлены на каждый из семи процессов, протекающих при непосредственном контакте воздуха с водой (см. таб. I и рис. I). В примерах приведены также расчеты процессов охлаждения и нагрева насыщенного воздуха, двухступенчатых камер орошения и расчеты процессов охлаждения циркуляционной воды в оросительных камерах. Общая

Таблица 13

Характеристика примеров расчета оросительных камер

Виды тепло-технических задач	Процессы при непосредственном контакте воздуха с водой										
	Процессы с понижением теплоемкости воздуха.					Процессы адиабатического увлажнения воздуха.	Процессы с повышением теплоемкости воздуха.				
	Осушение и охлаждение	Сухое охлаждение	Увлажнение и охлаждение	Осушение насыщенного воздуха	Осушение воздуха в доступных частях камер		Охлаждение и увлажнение	Изотермическое увлажнение	Нагрев и увлажнение	Нагрев и увлажнение насыщенного воздуха	Охлаждение воды в оросительных камерах
Прямые задачи	Пример 1 Пример 2	Пример 5.				Пример 9		Пример 11		Пример 13	Пример 14
Обратные задачи	Пример 3 Пример 4		Пример 6.	Пример 7	Пример 8	Пример 10	Пример 14		Пример 12		Пример 15 Пример 16.

характеристика примеров расчета оросительных камер представлена в табл. 13.

68. Методика расчета различных процессов обработки воздуха и охлаждения воды в оросительных камерах, а также последовательность решения прямых и обратных теплотехнических задач приведены в табл. 14-17.

1. Процесс, протекающие с понижением теплосодержания воздуха

69. Расчет оросительных камер, работающих на режимах понижения теплосодержания воздуха, следует проводить в соответствии с указаниями пп. 21-28 и в последовательности, изложенной в табл. 14.

70. Последовательность расчета процессов охлаждения насыщенного воздуха (при $\Delta t_p = t_{c1} - t_p = 0$) аналогична расчетам понижения теплосодержания ненасыщенного воздуха.

Различие в расчетах состоит в том, что вместо $\Delta \bar{J}$ вычисляются значения $\Delta J = J_1 - J_2$, а вместо критерия M подсчитывается разность температур ($t_p - t_{\text{вн}}$).

Расчет иллюстрируется примером 7 (см. также пп. 17, 18 и 25).

71. Специфика решения прямых теплотехнических задач при понижении теплосодержания воздуха заключается в следующем:

а/ конечное теплосодержание воздуха J_2 может быть получено при различных сочетаниях коэффициентов орошения B и начальных температурах распыляемой воды $t_{\text{вн}}$.

Предварительно приняв $t_{\text{вн}}$, значения $B = B_2$ (необходимые для обеспечения J_2) определяют по расчетным уравнениям для $\Delta \bar{J}$, приведенным в табл. 2 (или по номограммам 1, 2 и 3)

б/ конечная температура воздуха t_{c2} также может быть получена при различных сочетаниях B и $t_{\text{вн}}$. Если исходить из принятого значения $t_{\text{вн}}$, то величина $B = B_t$, необходимая для получения t_{c2} ($\Delta \bar{t}_c$) определяется по расчетным уравнениям для $\Delta \bar{t}_c$, приведенным в табл. 2 (или по номограммам 2)

в/ величина B_2 в общем случае может не совпасть со значением B_t , определенным при ранее принятой температуре воды $t_{\text{вн}}$

Таблица 14.

Методика расчета процессов понижения теплоемкости неонасыщенного воздуха
(процессы осушения, сухого охлаждения и увлажнения воздуха)

Виды теплотехнических задач	Исходные величины	Искомые величины	Ход расчета
Прямые задачи	$J_1; t_{c1}; J_p; t_p; J_2; t_{c2}$	$B; t_{вн}; t_{вк}$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определяется $\Delta t_p = t_{c1} - t_p$. 2. Определяются $\Delta J = \frac{J_1 - J_2}{0,84(t_{c1} - t_p)}$ и $\Delta t_c = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_p}$. 3. Предварительно задаются $t_{вн}$ согласно указаниям п. 24 и таблице 1. 4. При известных $t_p, t_{вн}$ вычисляется $(t_p - t_{вн})$ и по диаграмме 1, или по формуле (6), находится кривая R. 5. Вычисляются $M_1 = \frac{t_p - t_{вн}}{t_{c1} - t_p}$ и $M_1 R$. 6. Определяется B: <ol style="list-style-type: none"> а) При известных R; $M_1 R$ и ΔJ по номограммам (или по формулам в таблицах 2 и 5) вычисляется $B = B_3$; б) при известных M, и Δt_c по номограммам 1, 2 или 3 (или по формулам в табл. 2 и 5) вычисляется $B = B_3$; в) Если $B_3 = B_7$ (с точностью 5-7%), то расчет окончен и $B_3 = B$; если $B_3 \neq B_7$, то следует изменить значение $t_{вн}$, (см. пп 71 и 72). 7. Определяется $t_{вк} = t_{вн} + \frac{J_1 - J_2}{B}$.
Обратные задачи	$J_1; t_{c1}; J_p; t_p; B; t_{вн}$	$J_2; t_{c2}; t_{вк}$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определяется $\Delta t_p = t_{c1} - t_p$. 2. При известных $t_p, t_{вн}$ вычисляется $(t_p - t_{вн})$ и по диаграмме 1, или по формуле (6), находится R. 3. Вычисляются $M_1 = \frac{t_p - t_{вн}}{t_{c1} - t_p}$ и $M_1 R$. 4. По номограммам 1, 2 или 3 (или по формулам в табл. 2 и 5) при известных $R_1; M_1 R$ и B находится ΔJ, а при известных M_1 и B находится Δt_c. 5. Определяются $J_2 = J_1 - \Delta J (t_{c1} - t_p)$; $t_{c2} = t_{c1} - \Delta t_c (t_{c1} - t_p)$. 6. Определяется $t_{вк} = t_{вн} + \frac{J_1 - J_2}{B}$.

г/ процессы в камерах орошения могут протекать только при определенных величинах $V_{\text{н}} t_{\text{вн}}$. Поэтому в расчет должны быть приняты такие значения $V_{\text{н}} t_{\text{вн}}$, которые одновременно удовлетворяли бы как требуемому J_2 , так и t_{c_2} .

72. Для облегчения решения прямых задач в общем виде рекомендуется:

а/ предварительно принять значение $t_{\text{вн}}$ (согласно п. 24 и табл. I), вычислить $M_1; R; M_1 R; \Delta \bar{J}$ и определить с помощью номограмм или формул коэффициент $V = V_{\text{н}}$, необходимый для получения требуемого $J_2(\Delta \bar{J})$;

б/ при принятом ранее $t_{\text{вн}} (M_1)$, по номограммам или формулам вычислить коэффициент орошения $V = V_{\text{н}}$, необходимый для получения заданного значения $t_{c_2} (\Delta \bar{t}_c)$;

в/ проверить совпадение величин $V_{\text{н}}$ и $V_{\text{т}}$. Расчет считается законченным, когда $V_{\text{н}}$ и $V_{\text{т}}$ совпадут с точностью до 5-7%. В расчет следует принимать значения $V = V_{\text{н}}$, так как ориентироваться необходимо на обеспечение требуемого $J_2 (\Delta \bar{J})$ после процесса орошения;

г/ если расхождение между $V_{\text{н}}$ и $V_{\text{т}}$ более значительны, то следует задаться новым значением $t_{\text{вн}}$ и расчет повторить, определив новое $V_{\text{н}}$.

Перед повторением расчета необходимо вычислить конечную температуру воздуха t'_{c_2} , получаемую при принятых $V_{\text{н}}$ и $t_{\text{вн}} (M_1)$. Для этого по номограммам или формулам (табл. 2) находят новое $\Delta \bar{t}'_c$, а затем подсчитывают $t'_{c_2} = t_{c_1} - \Delta \bar{t}'_c (t_c - t_p)$. Если t'_{c_2} меньше t_{c_2} , требуемого по заданию ($t'_{c_2} < t_{c_2}$), то новое значение $t_{\text{вн}}$ следует несколько понизить; коэффициент орошения $V_{\text{н}}$ при этом тоже уменьшится.

Если же $t'_{c_2} > t_{c_2}$, то новую температуру воды $t_{\text{вн}}$ следует несколько повысить. Коэффициент орошения $V_{\text{н}}$ также возрастет.

73. Расчет двухступенчатых оросительных камер аналогичен расчету одноступенчатых камер и должен проводиться в соответствии с указаниями пп. 29-36 и в последовательности, изложенной в табл. I4.

74. При расчетах двухступенчатых камер большая часть встречаются обратные задачи.

Температура и количество воды, направляемой к двухступенчатым камерам, как правило, являются известными.

2. Процессы адиабатического увлажнения воздуха

75. Расчет оросительных камер, работающих на режимах адиабатического увлажнения воздуха, следует проводить в соответствии с указаниями пп. 37-45 и в последовательности, изложенной в табл. 15.

76. При влажных режимах адиабатического увлажнения воздуха, при которых критерий $R < 2,7$, в расчетные уравнения (20)-(21) табл. 7 вводится понижающий коэффициент $\beta < 1$, определяемый по рис. 5.

Для нахождения коэффициента орошения B (прямые задачи) значения $\Delta \bar{t}_c$, вычисленные по известным t_{c1} и t_{c2} ,

делятся на коэффициент $\frac{\beta}{\delta}$.
При этом величина $\frac{\Delta \bar{t}_c}{\delta}$ откладывается на шкале $\Delta \bar{t}_c$ номограммы 5.

Для нахождения конечной температуры воздуха после орошения t_{c2} (обратные задачи), найденные значения $\Delta \bar{t}_c$ умножаются на понижающий коэффициент β (см. табл. 15 и пример 10).

3. Процессом повышения теплосодержания воздуха

77. Расчет оросительных камер, работающих на режимах повышения теплосодержания воздуха, следует проводить в соответствии с указаниями пп. 46-56 и в последовательности, изложенной в табл. 16.

78. Отличие данной методики от методики расчета процессов понижения теплосодержания (табл. 14) заключается в том, что при процессах, протекающих с повышением теплосодержания, конечную температуру воздуха t_{c2} рекомендуется определять по расчетному значению J_2 и $\psi_2 = 94 + 98\%$ (см. п. 49), в то время как при расчетах процессов, протекающих с понижением теплосодержания, каждый из конечных параметров воздуха J_2 и t_{c2} определяется расчетом.

Таблица 15

Методика расчета процессов без изменения теплового содержания воздуха
(процессы адиабатического увлажнения)

Виды тепло-технических задач	Заданные величины и параметры	Неизвестные величины и параметры	Ход расчета
Прямые задачи	$t_1, t_{c1}, t_p;$ $t_n = t_{вн}, t_{c2}$	В	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определяется $\Delta \bar{T}_c = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_p}$. 2. При известных t_p и $t_{вн} = t_n$ вычисляется $(t_p - t_{вн})$ и по диаграмме 1 или 2, находится критерий R. 3. При $R \geq 2,7$ по номограмме 5 (или по формулам в табл. 7) при известных $\Delta \bar{T}_c$ и R определяется В. 4. При $R < 2,7$ по рис. 5 находится коэффициент $\beta < 1$. 5. Определяется $\Delta \bar{T}_{cp} = \frac{\Delta \bar{T}_c}{\beta}$. 6. По номограмме 5 (или по формулам в табл. 7) при известных $\Delta \bar{T}_{cp}$ и R, определяется коэффициент орошения В.
Обратные задачи	$t_1, t_{c1}, t_p;$ $t_n = t_{вн};$ В	t_{c2}	<ol style="list-style-type: none"> 1. При известных t_p и $t_{вн} = t_n$ вычисляется $(t_p - t_{вн})$ и по диаграмме 1 (или 2) находится R. 2. По номограмме 5 (или по формулам в табл. 7) при известных R и В вычисляется $\Delta \bar{T}_c$. 3. Определяется t_{c2} <ol style="list-style-type: none"> а) при $R \geq 2,7$ (коэффициент $\beta = 1$ см. рис. 5) $t_{c2} = t_{c1} - \Delta \bar{T}_c (t_{c1} - t_p)$ б) при $R < 2,7$ по рис. 5 находится коэффициент $\beta < 1$ и $t_{c2} = t_{c1} - \Delta \bar{T}_c \beta (t_{c1} - t_p)$.

Таблица 16.

Методика расчета процессов повышения теллосодержания ненасыщенного воздуха
(процессы охлаждения и увлажнения, изотермического увлажнения и нагрева с увлажнением).

Исходные температурно-влажностные задачи	Заданные величинные и параметры	Искомые величинные и параметры	Ход расчета.
Прямые задачи	$t_1; t_{c1}; t_p;$ $t_p; t_k; t_2;$ t_{c2}	$t_2; t_{k1}; t_{k2}$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определяется $\Delta t_p = t_{c1} - t_p$ 2. Определяется $\Delta \bar{J} = \frac{t_1 - t_2}{0,24(t_{c1} - t_p)}$ 3. Предварительно задаются t_{k1} согласно указаниям табл. 1 и пп 51 и 52. 4. Определяется B по номограмме 6 при известных $t_{k1}, t_p; \Delta t_p$ и $\Delta \bar{J}$. <p><u>Определение коэффициента орошения B аналитическим путем.</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 5. При известных t_p и t_{k1} вычисляется $(t_p - t_{k1})$ и по диаграмме 1 (или 2) находится R. 6. Вычисляются $M_1 = \frac{t_p - t_{k1}}{t_{c1} - t_p}$ и $M_1 R$. 7. По формулам в табл. 10 при известных $R; M_1 R$ и $\Delta \bar{J}$, вычисляется B. 8. Определяется $t_{k2} = t_{k1} - \frac{t_2 - t_1}{B}$ 9. Величина t_{c2} проверяется по $J-d$ диаграмме при t_2 и $\varphi_2 = 94 \div 98\%$
Обратные задачи	$t_1; t_{c1}; t_p;$ $t_p; t_k;$ B и t_{k1}	$t_2; t_{c2};$ t_{k2}	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определяется $\Delta t_p = t_{c1} - t_p$ 2. Определяется $\Delta \bar{J}$ по номограмме 6 при известных $t_{k1}; t_p; \Delta t_p$ и B. 3. Вычисляется $t_2 = t_1 - \Delta \bar{J} C_p (t_{c1} - t_p)$. 4. Находится t_{c2} по $J-d$ диаграмме при t_2 и $\varphi_2 = 94 \div 98\%$. 5. Определяется $t_{k2} = t_{k1} - \frac{t_2 - t_1}{B}$. <p><u>Определение $\Delta \bar{J}$ аналитическим путем</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 6. При известных t_p и t_{k1} вычисляется $(t_p - t_{k1})$ и по диаграмме 1 (или 2) находится R. 7. Вычисляются M_1 и $M_1 R$. 8. По формулам в табл. 10 при известных $M_1 R; R$ и B определяется $\Delta \bar{J}$.

79. Последовательность расчета процессов нагрева насыщенного воздуха (при $\Delta t_p = t_c - t_p = 0$) аналогична расчетам процессов повышения теплоемкости ненасыщенного воздуха (табл. 16) и приведена в примере 13 (см. также пп. 54, 17, 18 и номограмму 4).

80. Расчет охлаждения воды в оросительных камерах следует проводить в соответствии с указаниями пп. 57-65 и в последовательности, изложенной в табл. 17.

81. По номограмме 7 наряду с обычным решением прямых и обратных задач (табл. 17) можно решать и ряд разновидностей обратных задач.

В частности, по ней определяют для различных климатических условий (при известном коэффициенте орошения B) максимально допустимые значения начальной $t_{\text{н}}$ и конечной температуры $t_{\text{к}}$ воды, при которых может быть обеспечена требуемая величина охлаждения воды $\Delta t_{\text{в}}$.

Эти задачи широко распространены при совместных расчетах поверхностных воздухоохладителей, питаемых хладоносителем от систем обратного водоснабжения и градирен.

Кроме того, с помощью графических решений на номограмме 7 может быть установлена область начальных параметров воздуха (гигрометрической разности $\Delta t_p = (t_c - t_p)$ и t_p), при которых обеспечивается требуемая величина охлаждения воды.

88. В табл. 18, 19 приведены значения коэффициентов орошения B и критерия R , вычисленные в степенях, указанных в расчетных уравнениях (см. табл. 2, 5, 10 и 12).

Эти таблицы облегчают аналитические расчеты различных теплотехнических задач.

89. Конструктивные характеристики типовых оросительных камер кондиционеров КД, выпускаемых промышленностью, приведены в табл. 20.

Ниже приводятся примеры теплотехнических расчетов оросительных камер, работающих на различных режимах тепловлажностной обработки воздуха.

Методика расчета процессов охлаждения воды в оросительных камерах.

Виды тепло-технических задач	Заданные величины и параметры	Искомые величины и параметры	Ход расчета
Прямые задачи	$t_1, t_{c1}, t_p, t_r, t_{вк}; t_{вк}$	В	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определяется $\Delta t_p = t_{c1} - t_p$. 2. Определяется $\Delta T_{в} = \frac{t_{вк} - t_{вн}}{t_{c1} - t_p}$. 3. Определяется В по номограмме 7 при известных $t_{вн}, t_p, \Delta t_p$ и $\Delta T_{в}$. <u>Определение коэффициента орошения аналитическим путем.</u> 4. При известных t_p и $t_{вк}$ вычисляется $(t_p - t_{вн})$ и по диаграмме 1 (или 2) находится R. 5. Вычисляются $M_1 = \frac{t_p - t_{вн}}{t_{c1} - t_p}$ и $M_1 R$. 6. По формулам в таблице 12 при известных R; $M_1 R$ и $\Delta T_{в}$ вычисляется В.
Обратные задачи	$t_1, t_{c1}, t_p, t_r, t_{вк}; В$	$t_{вк}$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определяется $\Delta t_p = t_{c1} - t_p$. 2. Определяется $\Delta T_{в}$ по номограмме 7 при известных $t_{вк}, t_p, \Delta t_p$ и В. 3. Определяется $t_{вк} = t_{вн} + \Delta T_{в} (t_{c1} - t_p)$. <u>Определение $\Delta T_{в}$ аналитическим путем.</u> 4. При известных t_p и $t_{вк}$ вычисляется $(t_p - t_{вн})$ и по диаграмме 1 (или 2) определяется R. 5. Вычисляются M_1 и $M_1 R$. 6. По формулам в таблице 12 определяется $\Delta T_{в}$ при известных R; $M_1 R$ и В.
	$t_1, t_{c1}, t_p, t_r, В, \Delta t_{в}$	$t_{вк}, t_{вн}$	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определяется $\Delta t_p = t_{c1} - t_p$. 2. Определяется $\Delta T_{в} = \frac{t_{вк} - t_{вн}}{t_{c1} - t_p} = \frac{-\Delta t_{в}}{t_{c1} - t_p}$. 3. По номограмме 7 при известных $\Delta T_{в}$; В; Δt_p и t_p находится $t_{вн}$. 4. Определяется $t_{вк} = t_{вн} + \Delta T_{в} (t_{c1} - t_p)$.

У. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

Пример I. Расчет процесса охлаждения и осушения воздуха.

Решается прямая задача с помощью номограммы.

Дано: Воздух начального состояния $t_{c1} = 28,5^{\circ}\text{C}$; $J_1 = 12,9$ ккал/кг; $t_p = 13,5^{\circ}\text{C}$ в количестве $G = 79500$ кг/ч требуется охладить и осушить в двухрядной оросительной камере Кд 8002 до состояния $t_{c2} = 14^{\circ}\text{C}$; $J_2 = 8,86$ ккал/кг. Поперечное сечение камеры $\Phi = 7,9$ м²; $n = 18$ шт/м² ряд. $i = 288$ шт; $d_0 = 4,5$ мм; $U\gamma = 2,8$ кг/м²сек.

Определить: Коэффициент орошения B , начальную $t_{вн}$ и конечную температуру воды $t_{вк}$.

Решение

1. Расчет процессов охлаждения и осушения воздуха проводим по номограмме I /см.табл.2, I4 и п.п.7I и 72/.

Определяем начальную гигрометрическую разность температур

$$\Delta t_p = t_{c1} - t_p = 28,5 - 13,5 = 15^{\circ}\text{C}$$

2. Опрежняем значения $\Delta \bar{J}$ и $\Delta \bar{T}_c$

$$\Delta \bar{J} = \frac{J_1 - J_2}{0,24(t_{c1} - t_p)} = \frac{12,9 - 8,86}{0,24 \times 15} = \frac{4,04}{3,6} = 1,12$$

$$\Delta \bar{T}_c = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_p} = \frac{28,5 - 14}{15} = 0,967 = 0,97$$

3. Согласно указаниям п.24 и табл. I предварительно задаемся $t_{вн} < t_p$.

Принимаем $t_{вн} = 8^{\circ}\text{C}$

4. Определяем критерий R :

находим разность температур $t_p - t_{вн} = 13,5 - 8 = 5,5^{\circ}\text{C}$;

на диаграмме I производим построения, аналогичные нанесенному примеру. При $t_p - t_{вн} = 5,5^{\circ}\text{C}$; $t_p = 13,5$ и $t_{вн} = 8^{\circ}\text{C}$ находим $R = 2,51$.

5. Определяем значение критерия M_I

$$M_I = \frac{t_p - t_{вн}}{t_{c_1} - t_p} = \frac{13,5 - 8}{28,5 - 13,5} = \frac{5,5}{15} = 0,367$$

6. Определяем произведение критериев $M_I R$

$$M_I R = 0,367 \cdot 2,51 = 0,92$$

7. Определяем коэффициент орошения $B = B_J$, необходимый для получения заданного значения $\Delta \bar{J} (J_2)$.

Производим построения на номограмме I:

на шкале R откладываем $R = 2,51$;

на шкале $M_I R$ откладываем $M_I R = 0,92$;

соединяем значения $R = 2,51$ и $M_I R = 0,92$ прямой линией и продолжаем ее до пересечения в точке "б" с неюй шкалой $\Delta \bar{J}$;

на шкале $\Delta \bar{J}$ откладываем $\Delta \bar{J} = 1,12$;

Соединяем $\Delta \bar{J} = 1,12$ и точку "б" прямой и продолжаем ее до пересечения со шкалой B. В точке пересечения находим ответ

$$B_J = 1,82.$$

8. Определяем коэффициент орошения $B = B_T$, необходимый для получения заданного $\Delta \bar{T}_c (t_{c_2})$.

Производим построения на номограмме I:

на шкале M_I откладываем $M_I = 0,367$

на шкале $\Delta \bar{T}_c$ откладываем $\Delta \bar{T}_c = 0,967$;

соединяем значения $M_I = 0,367$ и $\Delta \bar{T}_c = 0,967$ прямой линией и продолжаем ее до пересечения со шкалой B.

В точке пересечения находим ответ - $B_T = 1,2$.

9. Сравнение полученных значений $B_j = 1,32$ и $B_x = 1,2$ показывает, что $B_j \neq B_x$ /расхождение составляет больше 7%/. В качестве расчетной величины коэффициента орошения принимаем $B = B_j = 1,32$.

10. Определяем действительное значение $\Delta \bar{t}'_c$, которое будет соответствовать $B = 1,32$ и $t_{вн} = 8^\circ\text{C}$ / $M_x = 0,367$ /, см.п.72.

Производим построения на номограмме I:

соединяем прямой значения $M_x = 0,367$ и $B = 1,32$;

в точке пересечения со шкалой $\Delta \bar{t}'_c$ находим ответ - $\Delta \bar{t}'_c = 1,0$.

11. Определяем действительную конечную температуру воздуха после орошения

$$t'_{c_2} = t_{c_1} - \Delta \bar{t}'_c (t_{c_1} - t_p) = 28,5 - 1,0 \cdot 15 = 13,5^\circ\text{C}$$

Сравнение вновь полученного значения $t'_{c_2} = 13,5$ с требуемым по заданию / $t_{c_2} = 14^\circ\text{C}$ / показывает, что величина t_{c_2} весьма близка. Принимаем в расчет значения $t_{c_2} = 13,5^\circ\text{C}$ /при $B = 1,32$ и $t_{вн} = 8^\circ\text{C}$ /.

12. Определяем конечную температуру воды

$$t_{вк} = t_{вн} + \frac{\Delta J}{B} = 8 + \frac{12,9 - 8,86}{1,32} = 8 + 3,06 = 11^\circ\text{C}$$

13. Определяем количество распыляемой воды W , производительность форсунки q и давление воды P_0 перед форсунками.

$$W = B \cdot G = 1,32 \times 79500 = 105000 \text{ кг/ч};$$

$$q = \frac{W}{l} = \frac{105000}{288} = 365 \text{ кг/ч. По рис.2 при}$$

$$q = 365 \text{ и } d_0 = 4,5 \text{ мм определяем } P_0 = 1,5 \text{ ати}$$

14. Определяем мощность насоса /без учета сопротивления сети/

$$N = \frac{15 \times 105000 \times 1,1}{3600 \times 102 \times 0,88} = 5,4 \text{ кВт}$$

15. Определяем количество холодной воды, подаваемой к оросительной камере от холодильной станции /при температуре холодной воды $t_x = 5^\circ\text{C}$ /.

$$W_x = \frac{G \Delta J}{t_{BK} - t_x} = \frac{79500 \times 4,04}{11-5} = 53500 \text{ кг/ч}$$

На этом теплотехнический расчет считается законченным.

Процесс на $J-d$ диаграмме представлен на рис.6.

Примечания:

I. В случае необходимости поддержания требуемых параметров $t_{c_2} = 14,0^\circ\text{C}$ вместо расчетных $t'_{c_2} = 13,5^\circ\text{C}$ при $J_2 = 8,86 \text{ ккал/кг}$ следует /см.п.22/ принять другую начальную температуру воды $t_{BK} /M_1/$ и определив новый коэффициент орошения B_2 , расчет повторить.

Расчетное значение $t'_{c_2} = 13,5^\circ\text{C}$ /получающееся при $B_2 = 1,32$ и $t_{BK} = 8^\circ\text{C}$ / оказалось меньше требуемого $t_{c_2} = 14^\circ\text{C}$. Поэтому новое значение t_{BK} должно быть повышено. Для условий данного примера, как показывают расчеты, параметры воздуха $t_{c_2} = 14^\circ\text{C} /13,95^\circ\text{C}/$ $\Delta \bar{T}_c = 0,97$, $J_2 = 8,86 / \Delta \bar{J} = 1,12/$ достигаются при более низких значениях $t_{BK} = 6^\circ\text{C} /M_1 = 0,5/$ и $B = 1$, вместо $t_{BK} = 8^\circ\text{C} /M_1 = 0,367/$ и $B = 1,32$.

В случае одновременного повышения коэффициента орошения до 1,8 и $t_{вн}$ до 10° / $M_x=0,233$ / получается практически та же величина $J_2=8,9$ / $\Delta \bar{T}=1,11$ /, но при $t_{c_2}=13^{\circ}$ / $\Delta \bar{T}_c=1,03$ /.

2. Как видно величин J_2 и t_{c_2} близкие к требуемым конечным параметрам воздуха, могут быть достигнуты при нескольких сочетаниях значений B и $t_{вн}$. Результаты расчетов по условиям данного примера I /при $t_x=5^{\circ}C$ / приведены в таблице:

Начальные параметры воздуха	$t_{вн}$, град.	B	Конечные параметры воз-духа		$t_{вн}$, град.	Холод. нагрузка, кВт.	К-во холод. воды W_0 , т/ч	К-во рас-ход. воды W , т/ч	Дав-ление P_0 , атм	Мощ-ность циркуляц. насоса, кВт
			t_{c_2} , град.	J_2 , ккал/кг						
$t_{c_1}=28,5^{\circ}C$ $J_1=12,9$ ккал/кг	6	1,0	13,95	8,86	10	321	64,4	79,5	0,85	2,8
	8	1,32	13,5		11	321	53,5	106	1,5	5,4
$t_p=13,5^{\circ}C$	10	1,8	13,0	8,9	12,2	318	44,2	143	2,7	13

Выбор оптимального варианта сочетаний значений B и $t_{вн}$ должен проводиться с учетом техно-экономических обоснований. При этом следует учитывать условия работы холодильной станции, протяженность системы холодоснабжения, мощность циркуляционных насосов, расходы электроэнергии и капитальные затраты. Значения $t_{вн}=8$ и $B=1,32$ в данном случае приняты за расчетные.

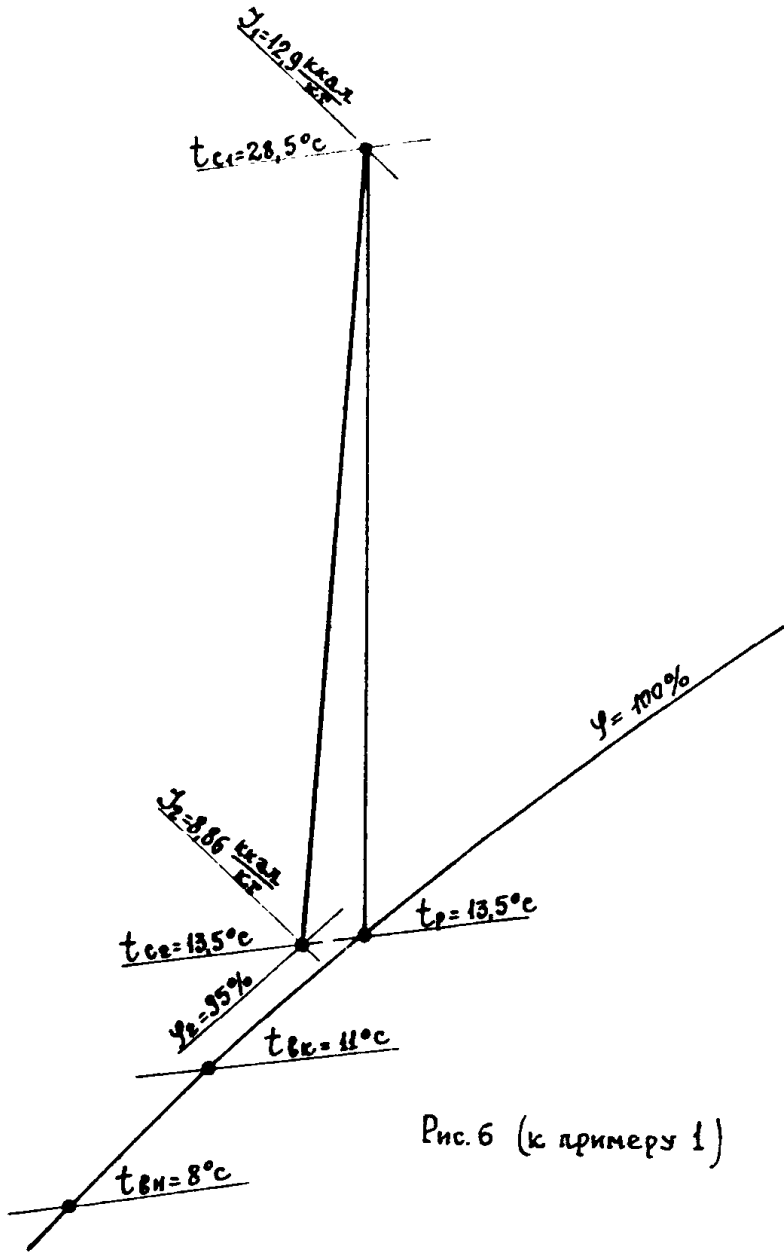


Рис. 6 (к примеру 1)

Пример 2. Расчет процесса охлаждения и осушения воздуха.

Решается прямая задача с помощью номограммы и расчетных формул.

Дано: Воздух начального состояния $t_{c_1}=25,5^{\circ}\text{C}$; $J_1=11,5$ ккал/кг; $t_p=12^{\circ}\text{C}$ в количестве $G=20200$ кг/ч требуется охладить и осушить

в двухрядной оросительной камере Кд 2002 до состояния

$J_2=5,74$ ккал/кг $t_{c_2}=8^{\circ}\text{C}$. Поперечное сечение камеры $\Psi = 2,0 \text{ м}^2$

$d_0=5,0$ мм, $p=18$ Вт/м² град. $i=72$ Вт., $\nu\gamma = 2,8$ кг/м²сек.

Определить: Коэффициент орошения B , начальную $t_{6н}$ и конечную температуру воды.

Решение

Определяем начальную гигрометрическую разность температур

$$\Delta t_p = t_{c_1} - t_p = 25,5 - 12 = 13,5^{\circ}\text{C}$$

1. Расчет проводим по номограмме I и по формулам в табл.2 /см. также табл. I4 и п.п. 71 и 72/.

2. Определяем значение относительных изменений теплосодержания $\Delta \bar{J}$ и температур $\Delta \bar{t}_c$ обрабатываемого воздуха.

$$\Delta \bar{J} = \frac{J_1 - J_2}{C_p(t_{c_1} - t_p)} = \frac{11,5 - 5,74}{0,24 \cdot 13,5} = 1,78$$

$$\Delta \bar{t}_c = \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{t_{c_1} - t_p} = \frac{25,5 - 8}{25,5 - 12} = 1,3$$

3. Согласно п.24 и табл. I предварительно задаемся $t_{6н} < t_p$.

Принимаем начальную температуру воды $t_{6н} = 4^{\circ}\text{C}$, учитывая что $t_{c_2} = 8^{\circ}\text{C}$.

4. Определяем значение критерия R ;

находим разность температур $t_p - t_{6н} = 12 - 4 = 8$;

на диаграмме I производим построения, аналогичные нанесенному примеру. При $t_p - t_{6н} = 8$ и $t_p = 12$ находим $R = 2,3$. Аналогичный результат получим по аналитической формуле /6/ $R = 1 + 2,34n$ /см. пример 3 п.26/.

5. Определяем значение критерия M_I .

$$M_I = \frac{t_p - t_{6и}}{t_{c,} - t_p} = \frac{12-4}{25,5-12} = 0,593$$

6. Определяем произведения критериев M, R .

$$M, R = 0,593 \times 2,3 = 1,365$$

7. Определяем коэффициент орошения $B=B_j$ необходимый для получения заданного значения $\Delta \bar{J} (J_2)$.

а) с помощью номограммы I:

на шкале R откладываем $R = 2,3$;

на шкале M, R откладываем $M, R = 1,365$;

соединяем значения $R = 2,3$ и $M, R = 1,365$ прямой линией и продолжаем ее до пересечения в точке "б" с немой шкалой α ;

на шкале $\Delta \bar{J}$ откладываем $\Delta \bar{J} = 1,78$;

соединяем $\Delta \bar{J} = 1,78$ и точку "б" прямой и продолжаем ее до пересечения со шкалой B.

В точке пересечения находим ответ - $B_j = 2,0$.

б/ с помощью формулы /10/ в табл.2

$$\Delta \bar{J} = 0,67 \sqrt{1 + M, R} / R^{-0,3} B^{0,53}$$

Решая относительно

$$B^{0,53} = \frac{\Delta \bar{J}}{0,67 \sqrt{1 + M, R} / R^{-0,3}} = \frac{1,78}{0,67 \sqrt{1 + 1,365} / 0,779} = 1,444,$$

найдем, что $B_j = 2,0$.

Значения $R^{-0,3} = 2,3^{-0,3} = 0,779$ и $B = 2,0$ при $B^{0,53} = 1,444$ вычисляются по таблицам 18 и 19 в приложении.

8. Определяем коэффициент орошения $B=B_j$, необходимый для получения заданного значения $\Delta \bar{T}_c (t_{c,})$.

а/ с помощью номограммы I:

на шкале M_I откладываем $M_1 = 0,593$;

на шкале $\Delta \bar{T}_C$ откладываем $\Delta \bar{T}_C = 1,3$;

соединяем значения $M_1=0,593$ и $\Delta \bar{T}_C = 1,3$ прямой линией и продолжаем до пересечения со шкалой В. В точке пересечения находим ответ $B_T = 2,0$.

б/ с помощью формулы II/ в табл.2

$$\Delta \bar{T}_C = /0,73+0,49M_1/ B^{0,35}$$

Решая относительно

$$B^{0,35} = \frac{\Delta \bar{T}_C}{/0,73+0,49M_1/} = \frac{1,3}{/0,73+0,49 \cdot 0,593/} = 1,274, \text{ найдем,}$$

что $B_T = 2,0$. Значение $B = 2,0$ при $B^{0,35} = 1,274$ определяется по табл.18 в приложении.

9. Сравнение B_T и B_T показывает, что они совпадают. Следовательно, при $B = 2,0$ и $t_{6n} = 4,0^\circ / M_I = 0,593/$ достигается одновременное получение величин $J_2 = 5,74$ и $t_{c2} = 8^\circ C$.

10. Определяем конечную температуру воды $t_{6к}$.

$$t_{6к} = t_{6н} + \frac{J_2}{B} = 4 + \frac{5,76}{2,0} = 4 + 2,88 = 6,88^\circ C$$

II. Определяем расход воды в камере орошения, производительность одной форсунки q и давления воды перед форсунками P_0 .

$$W = B \cdot C = 2,0 \cdot 20200 = 40400 \text{ кг/ч}$$

$$q = \frac{W}{i} = \frac{40400}{72} = 562 \text{ кг/ч. По рис.2 определяем}$$

$P_0 = 2,65$ ати. При температуре воды от холодильной станции $t_x = 4^\circ C$
 $W_x = 40400 \text{ кг/ч.}$

Процесс в J-d диаграмме представлен на рис.7.

На этом теплотехнический расчет считается законченным.

Примечание.

Приведенный расчет величин коэффициента орошения B и $t_{вн}$ оправданы для различных количеств воздуха G , обрабатываемого в рассматриваемой форсуночной камере /см. примечание к примеру 3/.

При этом различные значения U_0 и соответствующие им давления воды P_0 перед форсунками /для обеспечения постоянного коэффициента орошения $B=const$ при n и $i=const$ / должны находиться в пределах указанных в табл.4/.

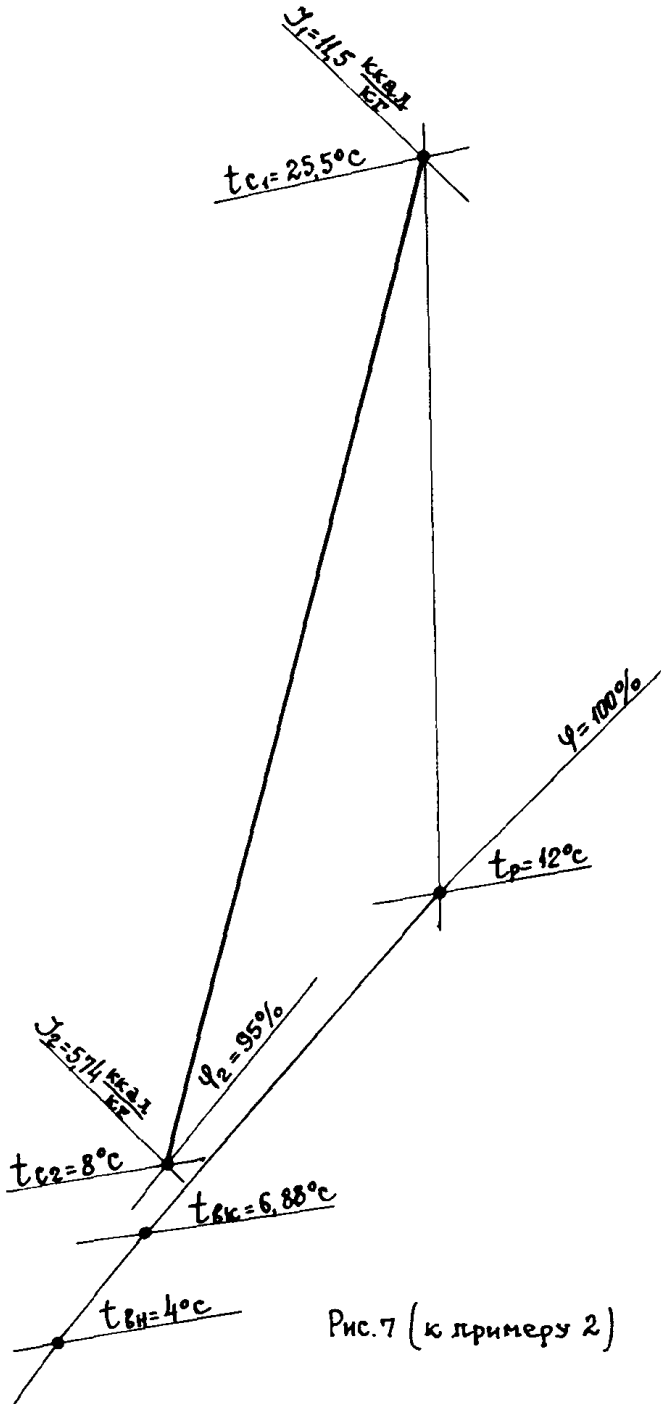


Рис. 7 (к примеру 2)

Пример 3. Расчет процесса охлаждения и осушения воздуха.

Решается обратная задача с помощью номограмм и расчетных формул.

Дано: Воздух начального состояния $t_{c_1} = 26^{\circ}\text{C}$; $J_1 = 16,7$ ккал/кг; $t_p = 22^{\circ}\text{C}$ $\varphi_1 = 78\%$ в количестве $G = 16550$ кг/ч орошается водой в типовой двухрядной форсуночной камере Кд 2002. Поперечное сечение камеры $\Psi = 2,0$ м², плотность расположения форсунок на стояках $n = 18$ шт/м² ряд, общее число форсунок $i = 72$ шт. Диаметр выходного отверстия центробежных форсунок $d = 5,0$ мм.

Коэффициент орошения $B = 1,75$. Начальная температура распыляемой воды $t_{вн} = 6,4^{\circ}\text{C}$.

Определить:

Конечные параметры воздуха после орошения J_2 и t_{c_2} ; конечную температуру воды $t_{вк}$; расход воды холодильной станцией W_x ; мощность циркуляционного насоса.

Решение

1. Расчет проводим по номограмме I и по формулам в табл. 2 /см. также табл. I4/.

Определяем начальную гигрометрическую разность температур

$$\Delta t_p = t_{c_1} - t_p = 26 - 22 = 4^{\circ}\text{C}$$

2. Определяем критерий R.

а/ С помощью диаграммы I:

$$\text{находим разность } t_p - t_{вн} = 22 - 6,4 = 15,6^{\circ}\text{C};$$

на оси абсцисс диаграммы откладываем $t_p - t_{вн} = 15,6^{\circ}\text{C}$ и через эту отметку проводим вертикальную прямую до пересечения в точке "а" с линией соответствующей $t_p = 22^{\circ}\text{C}$.

/В точке "а" вертикальная прямая пересекается и с линией соответствующей $t_{вн} = 6,4^{\circ}\text{C}$ /. Из точки "Б" проводим горизонтальную прямую до шкалы ординат R , где читаем ответ $R = 2,9$.

б/ с помощью формулы /6/ $R = I + 2,34a$.

По таблицам парциальных давлений водяного пара находим:

при $t_p = 22^{\circ}\text{C}$ $P_{вн} = 19,827$ мм рт.ст.

при $t_{вн} = 6,4^{\circ}\text{C}$ $P_{вн} = 7,209$ мм рт.ст.

Вычисляем коэффициент α

$$\alpha = \frac{P_p - P_{вн}}{t_p - t_{вн}} = \frac{19,827 - 7,209}{22 - 6,4} = 0,81 \frac{\text{мм рт.ст.}}{\text{град.}}$$

Определяем $R = I + 2,34 \times 0,81 = 2,895$. В расчет принимаем $R = 2,9$.

3. Вычисляем критерий M_T .

$$M_T = \frac{t_p - t_{вн}}{t_{с1} - t_p} = \frac{22 - 6,4}{26 - 22} = 3,9$$

4. Вычисляем произведение критериев M, R .

$$M, R = 3,9 \times 2,9 = 11,3$$

5. Определяем относительное изменение теплосодержания $\Delta \bar{J}$.

а/ с помощью номограммы I:

на шкале R откладываем $R = 2,9$;

на шкале M, R откладываем $M, R = 11,3$;

соединяем $R = 2,9$ и $M, R = 11,3$ прямой линией и продолжаем ее до пересечения в точке "б" с немой шкалой $\Delta \bar{J}$;

на шкале B откладываем $B = 1,75$;

соединяем прямой линией $B = 1,75$ и точку "б" на немой шкале $\Delta \bar{J}$.

находим пересечение проведенной прямой со шкалой $\Delta \bar{J}$.

В точке пересечения читаем ответ $\Delta \bar{J} = 8,06$.

б/ с помощью формулы /I0/ в табл.2

По табл.19 в приложении при $R = 2,9$ вычисляем значение $R^{-0,3} = 2,9^{-0,3} = 0,727$.

По табл.18 в приложении при $B = 1,75$ находим $B^{0,53} = 1,75^{0,53} = 1,345$.

Определяем критерий $\Delta \bar{J}$

$$\Delta \bar{J} = 0,67 / I + M_1 R / R^{-0,3} B^{0,53} = 0,67 / I + 11,3 / 0,727 \times 1,345 = 8,06$$

6. Определяем конечное теплосодержание воздуха после орошения водой.

$$J_2 = J_1 - \Delta \bar{J} C_p (t_c - t_p) = 16,7 - 8,06 \times 0,24 \times 4 = 16,7 - 7,77 = 8,93 \text{ ккал/кг}$$

7. Определяем относительное изменение температуры воздуха $\Delta \bar{T}_c$.

а/ с помощью номограммы I:

на шкале M_1 откладываем $M_1 = 3,9$;

на шкале B откладываем $B = 1,75$;

соединим $M_1 = 3,9$ и $B = 1,75$ прямой линией и продолжим ее до пересечения со шкалой $\Delta \bar{T}_c$. В точке пересечения находим ответ - $\Delta \bar{T}_c = 3,22$.

б/ с помощью формулы /II/ табл.2

По табл.18 в приложении при $B = 1,75$ находим $B^{0,35} = 1,75^{0,35} = 1,216$.

Определяем критерий $\Delta \bar{T}_c$

$$\Delta \bar{T}_c = 0,73 + 0,49 M_1 / B^{0,35} = 0,73 + 0,49 \times 3,9 / 1,216 = 3,22$$

8. Определяем температуру воздуха после орошения водой.

$$t_{c2} = t_{c1} - \Delta \bar{T}_c / t_{c1} - t_p = 26 - 3,22 \times 4 = 13,1^\circ \text{C}$$

9. Определяем конечную температуру воды

$$t_{BK} = t_{BK} + \frac{\Delta J}{B} = 6,4 + \frac{7,77}{1,75} = 6,4 + 4,43 = 10,83^\circ \text{C}$$

10. Определяем расход воды W_x холодильной станцией при температуре холодной воды $t_x = 5^\circ\text{C}$.

$$W_x = \frac{G \Delta J}{t_{\text{вР}} t_x} = \frac{16550 \times 7,77}{10,83 - 5} = 22000 \text{ кг/час}$$

11. Определяем расход воды циркуляционным насосом камеры орошения

$$W = B \cdot G = 1,75 \times 16550 = 29000 \text{ кг/ч}$$

12. Находим производительность одной форсунки q и давление P_0 перед форсунками

$$q = \frac{W}{l} = \frac{29000}{72} = 403 \text{ кг/ч}$$

При $q = 403 \text{ кг/ч}$ и $d_0 = 5,0 \text{ мм}$ по рис.2 определяем $P_0 = 1,45 \text{ атм}$

Определяем мощность циркуляционного насоса /без учета сопротивления сети/.

$$N = \frac{24,5 \times 29000}{3600 \times 102 \times 0,88} = 1,3 \quad N_{\text{уст.}} = 1,3 \times 1,15 = 1,5 \text{ кВт}$$

На этом теплотехнический расчет считается законченным. Процесс в $J-d$ диаграмме представлен на рис.8.

Примечание

Приведенный выше расчет величин J_2 и t_{c2} оправдываю для различных количеств воздуха G , обрабатываемого в оросительной камере $/G = \text{var}; \text{ и } \nu \gamma = \text{var} /$.

Однако, при разных G величина коэффициента орошения $B = 1,75$ должна сохраняться постоянной. При этом различным значениям G /или $\nu \gamma$ / будут соответствовать и разные давления P_0 воды перед форсунками /так как $n = \text{const}$ и $i = \text{const}$ /. Кроме того, различные сочетания G ($\nu \gamma$) и $P_0(w)$, обеспечивающие получение $B = 1,75$, должны находиться в пределах, указанных в табл.4.

Так, например:

а/ По условиям примера $G=16550$ кг/ч $V\gamma = \frac{G}{3600 \cdot \psi} =$
 $= \frac{16550}{3600 \cdot 2} = 2,3$ кг/м²сек. $W = B \cdot C = 1,75 \times 16550 = 29000$ кг/час,

$q = 403$ кг/ч и $P_0 = 1,45$ атм.

б/ При новом $G=20200$ кг/ч чему соответствует

$V\gamma = \frac{20200}{3600 \cdot 2} = 2,8$ кг/м²сек., имеем $W = B \cdot G = 1,75 \cdot 20200 =$
 $= 36390$ кг/ч и $q = \frac{W}{t} = \frac{36390}{72} = 492$ кг/ч. По рис.2 при $d_0 = 5,0$ мм
 $P_0 = 2,1$ атм.

в/ При $G=14400$ кг/ч чему соответствует $V\gamma = \frac{14400}{7200} =$
 $= 2,0$ кг/м²сек, имеем $W = 1,75 \times 14400 = 25200$ кг/ч и
 $q = \frac{25200}{72} = 350$ кг/ч.

По рис.2 получим $P_0 = 1,0$ атм.

Таким образом, полученные в результате расчета при условии
 $B=1,75$ и $t_{вн} = 6,4$ конечные параметры воздуха и воды
 $J_2 = 8,98$ ккал/кг $t_{с2} = 13,1^\circ\text{C}$ и $t_{вк} = 10,83^\circ\text{C}$ останутся без изменения
 несмотря на обработку в оросительной камере разных количеств
 воздуха: $G=20200$ кг/ч / $V\gamma = 2,8$; $G=16550$ кг/ч / $V\gamma = 2,3$ /
 и $G=14400$ кг/ч / $V\gamma = 2,0$.

Полученные сочетания величин $V\gamma = 2,8$ и $P_0 = 2,1$ атм.

$V\gamma = 2,3$ и $P_0 = 1,45$ атм; $V\gamma = 2,0$ и $P_0 = 1,0$ атм находятся в пределах
 указанных в табл.4.

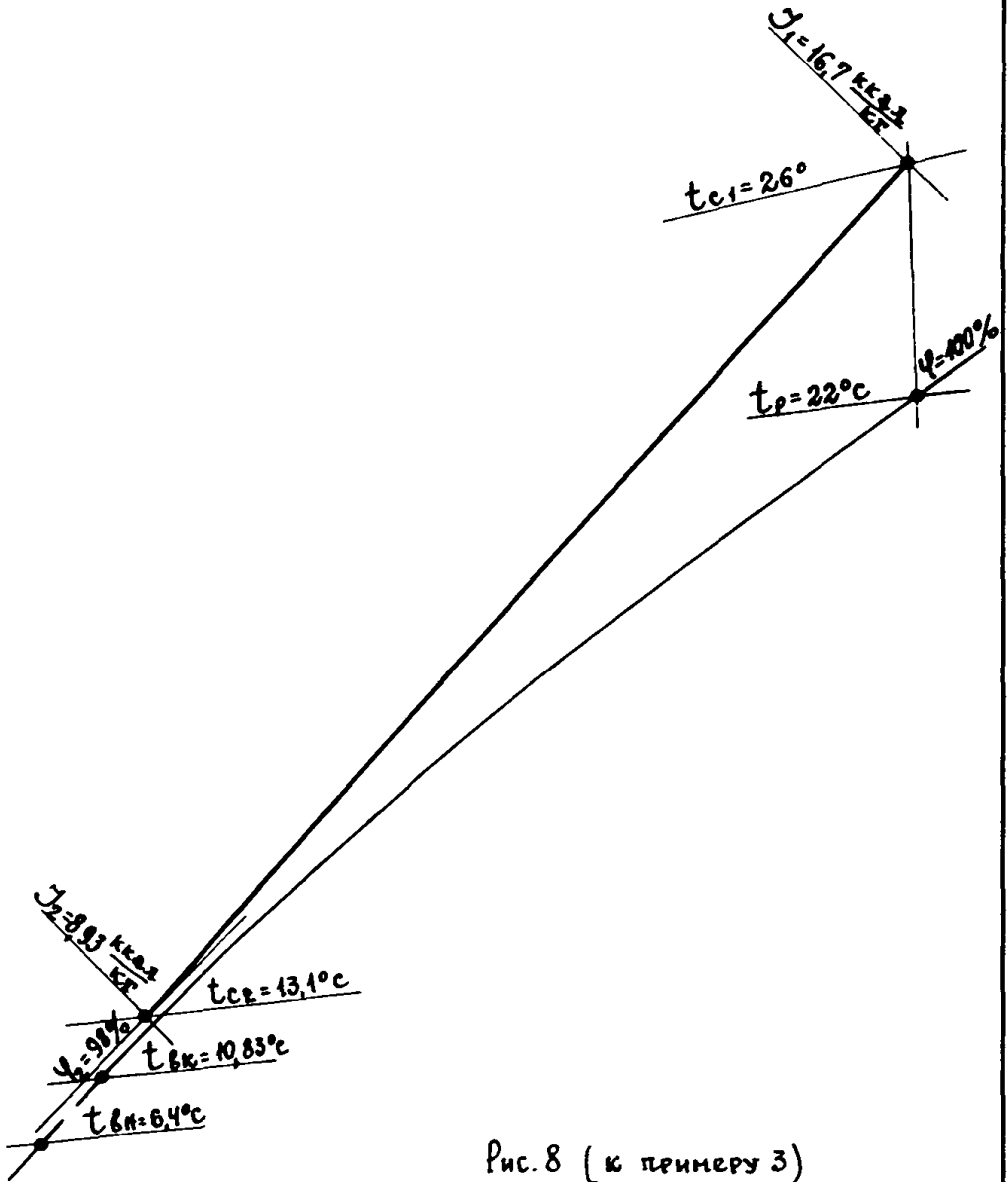


Рис. 8 (к примеру 3)

Пример 4. Расчет процесса охлаждения и осушения воздуха.

Решается обратная задача с помощью номограмм.

Дано: Воздух начального состояния $t_{c1}=37^{\circ}\text{C}$ $J_1=17,9$ ккал/кг $t_p=20^{\circ}$ в количестве $G=109000$ кг/ч.

Орошается водой в двухрядной $i=2$ форсуночной камере Кд 12002 с поперечным сечением $\Psi=12,1$ м². Плотность расположения форсунок $n=18$ шт/м²град. $d_0=5,0$ мм. Общее число форсунок $i=432$ шт, взаимостречное распыление воды. Весовая скорость воздуха $U_f=2,5$ кг/м²сек. Коэффициент орошения $B=1,4$. Начальная температура распыляемой воды $t_{6н}=9,8^{\circ}\text{C}$.

Определить: Конечные параметры воздуха после орошения J_2 и t_{c2} конечную температуру воды $t_{6к}$ и расход воды холодильной установкой.

Решение

1. Расчет проводим по номограмме I /см.табл.2 и I4/ .

Определяем начальную гигрометрическую разность температур

$$\Delta t_p = t_{c1} - t_p = 37 - 20 = 17^{\circ}\text{C}$$

2. Определяем критерий R :

$$\text{находим разность } t_p - t_{6н} = 20 - 9,8 = 10,2^{\circ}\text{C};$$

на диаграмме I производим построения, аналогичные нанесенному примеру. При $t_p - t_{6н} = 10,2^{\circ}\text{C}$ и $t_p = 20^{\circ}$ находим $R = 2,94$.

3. Вычисляем критерий M_I

$$M_I = \frac{t_p - t_{6н}}{t_{c1} - t_p} = \frac{20 - 9,8}{37 - 20} = 0,6$$

4. Вычисляем произведение критериев

$$M_I R = 0,6 \cdot 2,94 = 1,765.$$

5. Определяем относительное изменение теплосодержания $\Delta \bar{J}$.

Производя построения на номограмме I /в последовательности указанной в примере 3 п.5а/ найдем, что при известных $R = 2,94$; $M_1 R = 1,765$ и $B = 1,4$ величина $\Delta \bar{J} = 1,59$.

6. Определяем конечное теплосодержание воздуха после орошения водой.

$$J_2 = J_1 - \Delta \bar{J} C_p (t_{c1} - t_p) = 17,9 - 1,59 \cdot 0,24 \cdot 17 = 17,9 - 6,49 = 11,4 \text{ ккал/кг}$$

7. Определяем относительное изменение температуры воздуха $\Delta \bar{t}_c$.

Произведя построения по номограмме I /в последовательности указанной в примере 3 п.7а/, найдем, что при известных $B = 1,4$ и $M_1 = 0,6$ величина $\Delta \bar{t}_c = 1,153$.

8. Определяем температуру воздуха t_{c2} после орошения водой

$$t_{c2} = t_{c1} - \Delta \bar{t}_c (t_{c1} - t_p) = 37 - 1,153 \cdot 17 = 37 - 19,61 = 17,4^\circ \text{C}$$

9. Определяем конечную температуру отепленной воды

$$t_{\delta k} = t_{\delta n} + \frac{\Delta J}{B} = 9,8 + \frac{6,49}{1,4} = 9,8 + 4,64 = 14,44^\circ \text{C}$$

10. Определяем расход воды холодильной станцией при $t_x = 5^\circ \text{C}$

$$W_x = \frac{G \Delta J}{t_{\delta k} - t_x} = \frac{109000 \cdot 6,49}{14,44 - 5,0} = 75000 \text{ кг/ч}$$

11. Определяем расход воды в камере орошения

$$W = B \cdot G = 1,4 \cdot 109000 = 152500 \text{ кг/ч}$$

12. Находим производительность форсунок q_f /при $d_f = 5,0$ мм/ давление воды P_0 и мощность насоса /без учета сопротивления сети/

$q_f = \frac{W}{i} = \frac{152500}{432} = 354 \text{ кг/ч}$. По графику на рис.2 при $q = 354$ находим $P_0 = 1,05$ ат

$$N = \frac{10,5 \cdot 152500}{3600 \cdot 102,0,88} \times 1,1 = 55 \text{ кВт}$$

Процесс в J-d диаграмма представлен на рис.9.

На этом теплотехнический расчет заканчивается.

13. Определяем коэффициент влаговыпадения ξ . Согласно п.19 при M_1 от 0 до +1,0 коэффициент ξ по начальным параметрам воздуха и воды находим по формуле /9/:

$$\text{вычисляем критерий } M_2 = \frac{t_p - t_{6H}}{t_c - t_{6H}} = \frac{20 - 9,8}{37 - 9,8} = 0,375;$$

$$\text{вычисляем } R' = R - I = 2,94 - I = 1,94;$$

$$\text{вычисляем } B^{0,18} = 1,062;$$

$$\xi = 1,04 / (1 + M_2 R' / R^{0,8} B^{0,18}) = 1,04 / (1 + 0,375 \times 1,94 / (1,062 \times 1,724 \times 1,062)) = 1,38 .$$

Проверяем полученный результат по вычисленным ранее $\Delta \bar{J}$ и $\Delta \bar{t}$:

$$\xi = \frac{\Delta \bar{J}}{\Delta \bar{t}} = \frac{1,59}{1,153} = 1,38$$

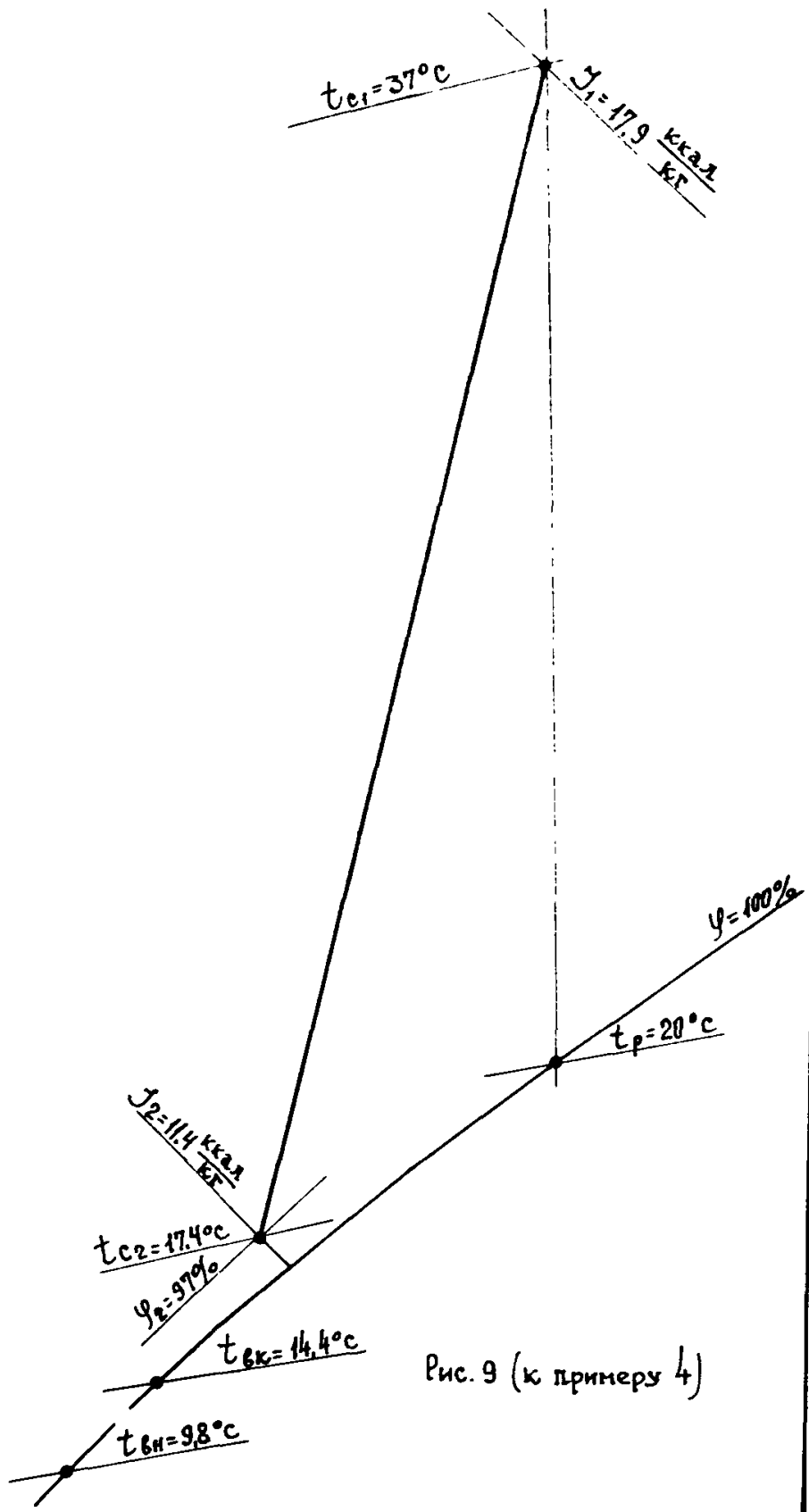


Рис. 9 (к примеру 4)

Пример 5. Расчет процесса сухого охлаждения воздуха / $d_1 = \text{const}$ /.

Решается прямая задача с помощью номограмм.

Дано: Воздух начального состояния $t_{c_1} = 31^\circ\text{C}$; $J_1 = 14,4$ ккал/кг и $t_p = 16^\circ\text{C}$ требуется охладить при постоянном влагосодержании / $d_1 \approx d_2 = \text{const}$ / до состояния $t_{c_2} = 17^\circ\text{C}$; $J_2 = 11,09$ ккал/кг $\varphi_2 = 95\%$ в двухрядной оросительной камере Кд 6002; $\pi = 18$ шт./м² град. $i = 240$ шт., $d_0 = 5,0$ мм $\psi = 5,84$ м². Количество воздуха $G = 64500$ кг/ч; $U\gamma = 2,7$ кг/м²сек.

Определить: Коэффициент орошения B , начальную $t_{вн}$ и конечную $t_{вк}$ температуру распыленной воды.

Решение

1. Расчет проводим по номограмме I /см. табл.2, I4 и п.п.7I и 72/.

Определяем начальную гигрометрическую разность температур

$$\Delta t_p = t_{c_1} - t_p = 31 - 16 = 15^\circ\text{C}$$

2. Определяем относительные изменения теплосодержания $\Delta \bar{J}$ и температуры $\Delta \bar{t}_c$ обрабатываемого воздуха.

$$\Delta \bar{J} = \frac{J_1 - J_2}{0,24(t_{c_1} - t_p)} = \frac{14,4 - 11,09}{0,24 \cdot 15} = 0,92$$

$$\Delta \bar{t}_c = \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{t_{c_1} - t_p} = \frac{31 - 17,0}{31 - 16} = 0,933$$

3. Согласно указаниям п.24 и табл. I задаемся предварительно но $t_{\delta_n} < t_p$; принимаем начальную температуру воды $t_{вн} = 13^\circ\text{C}$

4. Определяем критерий R:

$$\text{находим разность } t_p - t_{вн} = 16 - 13 = 3^\circ\text{C};$$

$$\text{на диаграмме I при } t_p - t_{\delta_n} = 3^\circ\text{C}, \quad t_p = 16 \quad \text{и} \quad t_{вн} = 13$$

находим $R = 2,87$.

5. Определяем значение критерия M_I

$$M_I = \frac{t_p - t_{вн}}{t_{c_1} - t_p} = \frac{16 - 13}{31 - 16} = 0,2$$

6. Определяем произведение критериев

$$M_1 R = 0,2 \times 2,87 = 0,574$$

7. Определяем коэффициент орошения $B=B_7$, необходимый для получения заданного значения $\Delta \bar{J}(J_2)$

Произведя построения на номограмме I /в последовательности указанной в примере I п.7/, найдем, что при известных $R = 2,87$, $M_1 R = 0,574$ и $\Delta \bar{J} = 0,92$ величина $B = 1,4$.

8. Определяем коэффициент орошения $B=B_T$, необходимый для получения заданного значения $\Delta \bar{T}_c(t_{c_2})$

Произведя построения на номограмме I/в последовательности указанной в примере I п.8/, найдем, что при известных $M_I = 0,2$ и $\Delta \bar{T}_c = 0,933$ величина $B_T = 1,4$.

9. Сравнение B_T и B_7 показывает, что они совпадают.

Следовательно, при $B=1,4$ и $t_{вн} = 13^\circ\text{C}$ / $M_I = 0,2$ / достигается одновременное получение величин $J_2 = 11,09$ ккал/кг, $t_{c_2} = 17^\circ\text{C}$.

10. Определяем конечную температуру воды $t_{вк}$

$$t_{вк} = t_{вн} + \frac{\Delta J}{B} = 13 + \frac{14,4 - 11,09}{1,4} = 13 + 2,36 = 15,36^\circ\text{C}$$

11. Определяем расход воды в камере орошения, производительность форсунки q и P_0 .

$$W = B \cdot G = 1,4 \cdot 64500 = 90400 \text{ кг/ч} \quad q = \frac{W}{L} = \frac{90400}{240} = 376 \text{ кг/ч}$$

По рис.2 при $q = 376$, находим $P_0 = 1,15$ атм.

12. Определяем расход воды холодильной станцией при $t_x = 5^\circ\text{C}$.

$$W_x = \frac{G \Delta J}{t_{BK} - t_x} = \frac{64500 \cdot 3,31}{16,36 - 5} = 20600 \text{ кг/ч}$$

Процесс в $J-d$ диаграмме представлен на рис.10.

На этом теплотехнический расчет считается законченным.

Примечание:

1. Приведенный расчет величины коэффициента орошения B и $t_{вн}$ справедлив для различных количеств воздуха G , обрабатываемого в форсуночной камере /см. примечание к примеру 3/.

При этом различные значения $\rho \gamma$ и соответствующие им давления воды P_0 перед форсунками /для обеспечения $B = \text{const}$ / при n и $i = \text{const}$ / должны находиться в пределах указанных в табл.4/.

2. Для процессов сухого охлаждения воздуха /см. табл.1/ критерий M_1 связан с теоретическим коэффициентом орошения B_m соотношением

$$B_m = \frac{C_p}{M_1 C_b} = \frac{0,24}{0,21} = 1,2$$

Действительное значение B_1 согласно п.24, обычно в 1,1-1,2 раза больше теоретического значения. Тогда $B = 1,17 \cdot B_m$, $1,17 \cdot 1,2 = 1,4$, что соответствует коэффициенту B определенному по номограмме 1.

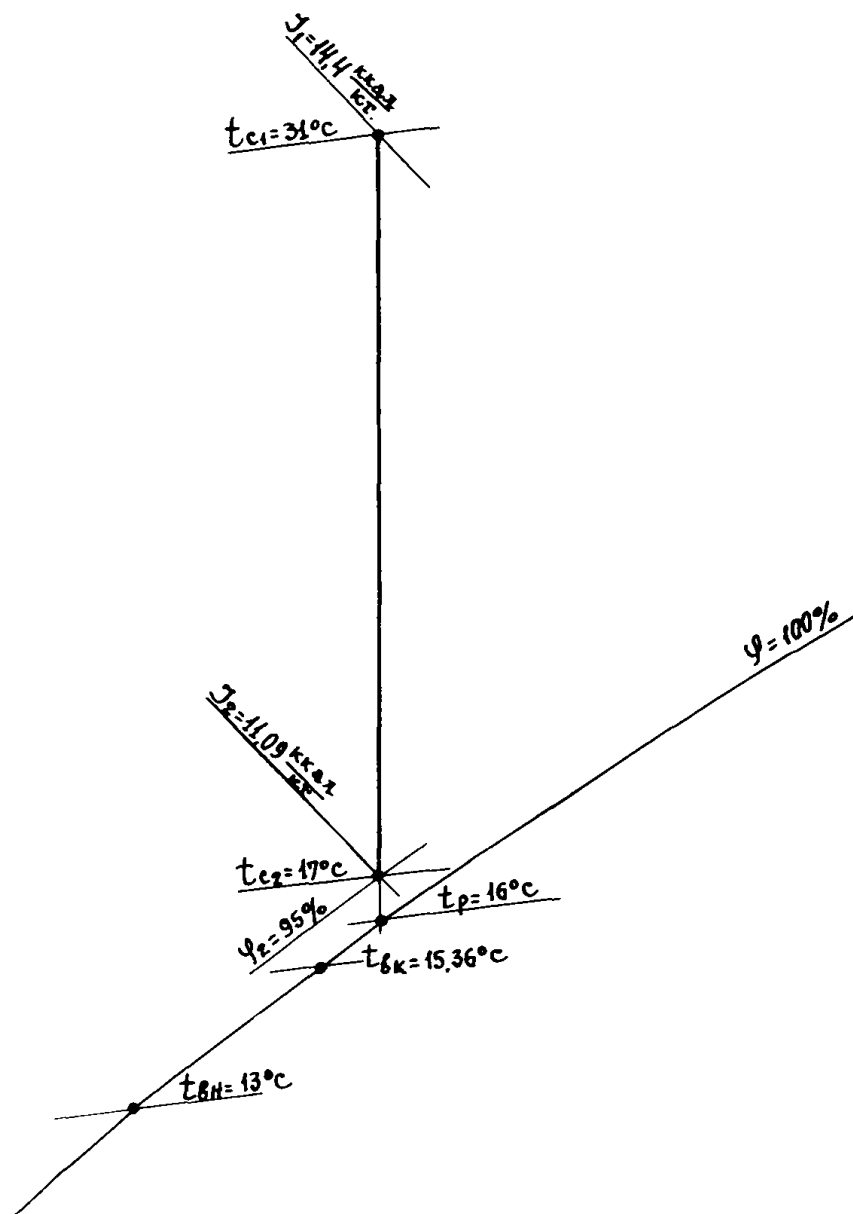


Рис. 10 (к примеру 5)

Пример 6. Расчет процессов охлаждения и увлажнения воздуха.

Решается обратная задача.

Дано: Воздух начального состояния $t_{c1}=33^{\circ}\text{C}$; $J_1=15,4$ ккал/кг
 $t_p=17^{\circ}\text{C}$ в количестве $G=20500$ кг/ч / $\nu\gamma=2,85$ кг/м²сек./охлаждается и увлажняется в двухрядной оросительной камере Кд 2002. Поперечное сечение камеры $\Psi=2,0$ м²; $n=18$ шт/м²ряд; $l=72$ шт. Коэффициент орошения $B=1,0$. Начальная температура распыляемой воды $t_{вн}=18^{\circ}\text{C}$.

Определить: Конечные параметры J_2 и t_{c2} воздуха после орошения в камере при ее оснащении центробежными форсунками с диаметрами выходных отверстий $d_0=5,0$ мм и $d_0=3,0$ мм

Решение

1. Расчеты проводим по номограммам I и 2 /см.табл.2 и I4/

Определяем гигрометрическую разность температур

$$\Delta t_p = t_{c1} - t_p = 33 - 17 = 16^{\circ}\text{C}$$

2. Определяем критерий R:

$$\text{находим разность } t_p - t_{вн} = 17 - 18 = -1^{\circ}\text{C};$$

на диаграмме I производим построения аналогичные нанесенному примеру. При $t_p - t_{вн} = -1^{\circ}\text{C}$, $t_p = 17^{\circ}\text{C}$ и $t_{вн} = 18^{\circ}\text{C}$ находим $R = 3,24$.

3. Вычисляем критерий M_I

$$M_I = \frac{t_p - t_{вн}}{t_{c1} - t_p} = \frac{-1}{16} = -0,0625$$

4. Определяем произведение критериев $M_I R$.

$$M_I R = -0,0625 \cdot 3,24 = -0,202$$

5. Определяем значения относительного изменения теплосодержания воздуха $\Delta \bar{J}$.

Произведем построения на номограммах /в последовательности указанной в примере 3 п.5с/ при известных $R = 3,24$; $M_1 R = 0,202$ и $B=I$ найдем:

по номограмме 1, для $d_0 = 5,0$ мм; $\Delta \bar{J} = 0,375$;

по номограмме 2, для $d_0 = 3,0$ мм; $\Delta \bar{J} = 0,393$.

6. Определяем конечное теплосодержание воздуха после орошения водой:

для $d_0 = 5,0$ мм

$$J_2 = J_1 - \Delta \bar{J} C_p (t_c - t_p) = 15,4 - 0,375 \cdot 0,24 \cdot 16 = 15,4 - 1,44 = 13,96 \text{ ккал/кг};$$

для $d_0 = 3,0$ мм

$$J_2 = J_1 - \Delta \bar{J} C_p (t_c - t_p) = 15,4 - 0,392 \cdot 0,24 \cdot 16 = 15,4 - 1,51 = 13,89 \text{ ккал/кг}$$

7. Определяем значения относительного изменения температуры воздуха $\Delta \bar{T}_c$.

Произведем построения на номограммах /в последовательности указанной в примере 3 п.7/ при известных $B=I$ и $M_1 R = 0,0625$,

найдем:

по номограмме 1, для $d_0 = 5,0$ мм, $\Delta \bar{T}_c = 0,7$;

по номограмме 2, для $d_0 = 3,0$ мм $\Delta \bar{T}_c = 0,77$.

8. Определяем температуру воздуха t_{c_2} после орошения водой

для $d_0 = 5,0$ мм

$$t_{c_2} = t_{c_1} - \Delta \bar{T}_c (t_{c_1} - t_p) = 33 - 0,7 \cdot 16 = 33 - 11,2 = 21,8^\circ \text{C};$$

для $d_0 = 3,0$ мм

$$t_{c_2} = t_{c_1} - \Delta \bar{T}_c (t_{c_1} - t_p) = 33 - 0,77 \cdot 16 = 33 - 12,32 = 20,7^\circ \text{C}$$

9. Определяем конечную температуру воды

для $d_0 = 5,0$ мм

$$t_{вк} = t_{вн} + \frac{\Delta T}{B} = 18 + 1,44 = 19,44^\circ\text{C}$$

для $d_0 = 3,0$ мм

$$t_{вк} = t_{вн} + \frac{\Delta T}{B} = 18 + 1,5 = 19,5^\circ\text{C}$$

10. Определяем количество распыляемой воды W , производительность одной форсунки q , давление P_0 и мощность насосов /без учета сопротивления сети трубопроводов/.

Для $d_0 = 5,0$ мм

$$W = G \cdot B = 20500 \cdot 1 = 20500 \text{ кг/ч}; \quad q = \frac{W}{L} = \frac{20500}{72} = 285 \text{ кг/ч}$$

По рис.2 при $q = 285$ и $d_0 = 5,0$ мм

находим $P_0 = 0,7$ ати,

$$N = \frac{20500 \cdot 7 \cdot 1,2}{102 \cdot 3600 \cdot 0,88} = 0,54 \text{ кВт}$$

Для $d_0 = 3,0$ мм

$$W = 20500 \text{ кг/ч} \quad q = 285 \text{ кг/ч} .$$

По рис.2 при $q = 285$ и $d_0 = 3,0$ мм находим $P_0 = 2,8$ ати;

$$N = \frac{20500 \cdot 28 \cdot 1,15}{102 \cdot 3600 \cdot 0,88} = 2,1 \text{ кВт}$$

На этом теплотехнический расчет считается законченным.

Процесс в $T-d$ диаграмме представлен на рис.11.

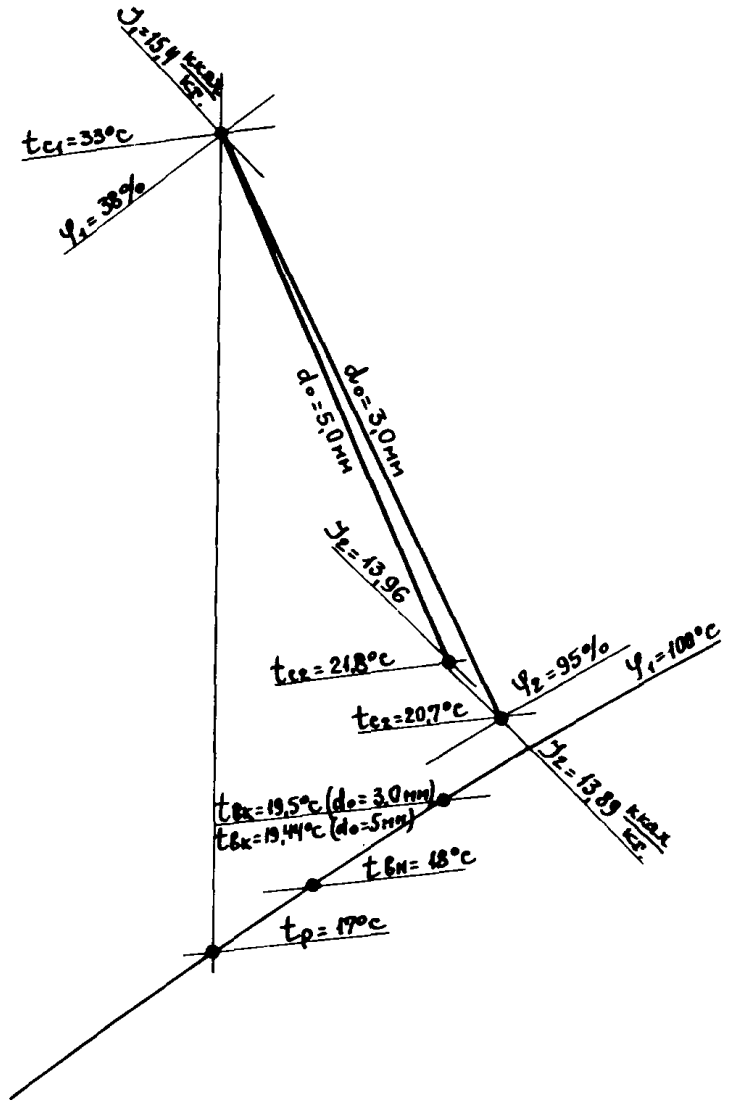


Рис. 11 (к примеру 6).

Пример 7. Расчет процессов охлаждения и осушения насыщенного воздуха.

Дано: Насыщенный воздух начального состояния $t_{c_1} = 15^{\circ}\text{C}$;
 $J_1 = 10,2$ ккал/кг; $t_p = 15^{\circ}\text{C}$ охлаждается в двухрядной оросительной камере $Z = 2$ оснащенной форсунками $d_0 = 5,0$ мм. Коэффициент орошения $B = 1,5$. Начальная температура распыляемой воды $t_{\text{вн}} = 2^{\circ}\text{C}$.

Определить: Конечные параметры J_2 и t_{c_2} воздуха после орошения. Конечную температуру воды.

Решение

1. Расчет проводим по номограмме 4 /см.табл.2,14 и п.70/.

Определяем гигрометрическую разность температур

$$\Delta t_p = t_{c_1} - t_p = 15 - 15 = 0^{\circ}\text{C}$$

2. Определяем критерий R :

$$\text{находим разность } t_p - t_{\text{вн}} = 15 - 2 = 13^{\circ}\text{C};$$

на диаграмме I производим построения аналогичные нанесенному примеру. При $t_p - t_{\text{вн}} = 13^{\circ}\text{C}$ и $t_p = 15^{\circ}\text{C}$ находим $R = 2,36$.

3. Определяем величину изменения теплосодержания воздуха ΔJ

На номограмме 4 производим построения аналогичные нанесенному примеру. При известных $R = 2,36$; $t_p - t_{\text{вн}} = 13$ и $B = 1,5$ найдем величину $\Delta J = 4,61$ /см. также пример 13 п.3/.

6. Определяем конечное теплосодержание воздуха J_2 после его орошения водой

$$J_2 = J_1 - \Delta J = 10,2 - 4,61 = 5,59 \text{ ккал/кг}$$

По $J - d$ диаграмме при $\varphi_2 = 100\%$ $t_{c_2} = 7,2^{\circ}\text{C}$.

5. Определяем конечную температуру воды

$$t_{\text{вк}} = t_{\text{вн}} + \frac{\Delta J}{B} = 2 + \frac{4,61}{1,5} = 5,1^{\circ}\text{C}$$

На этом теплотехнический расчет считается законченным.

Процесс в $J-d$ диаграмме представлен на рис.12

Примечание:

1. Приведенный расчет величины J_2 при $B=1,5$ и $t_{\text{вн}}=2^{\circ}\text{C}$ справедлив для различных количеств воздуха $G/U\gamma$ обрабатываемого в форсуночной камере /см. примечание к примеру 3/. Однако, при различных значениях $G/U\gamma$ величина коэффициента орошения B должна сохраняться постоянной. Значения различных ($U\gamma$) и соответствующих им давлений воды P_0 (для обеспечения $B=1,5=const$ так как n и $i=const$) должны находиться в пределах, указанных в табл.4.

2. Определение количества распыляемой воды W , величин P_0, q и мощности насосов показано в примерах 1,2,3 и 4.

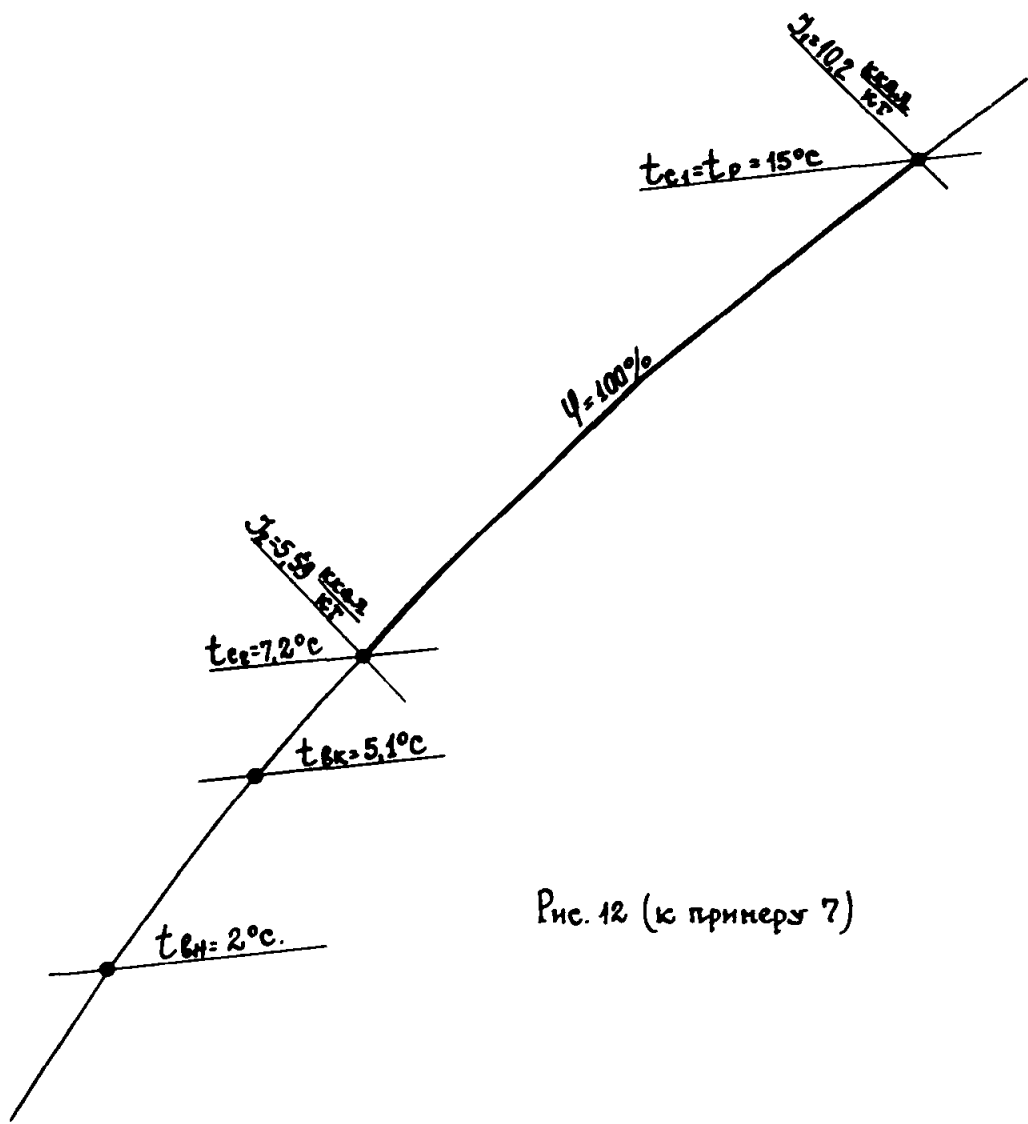


Рис. 12 (к примеру 7)

Пример 8. Расчет процесса охлаждения и осушения воздуха в двухступенчатой камере орошения.

Дано: Воздух начального состояния $t_{c_1} = 37^\circ\text{C}$; $J_1 = 17,9$ ккал/кг $t_p = 20^\circ\text{C}$ в количестве $G = 79500$ кг/ч орошается водой в двухступенчатой камере Кд 8662. В качестве охладителей приняты две двухрядные камеры Кд8002 каждая поперечным сечением $\Psi = 7,9$ м², $n = 18$, $i = 288$ шт.; $d_0 = 5,0$ мм; $U\gamma = 2,8$ кг/м²сек. Схема соединения камер по воде и воздуху показана на рис.4.

Начальная температура распыляемой воды в камере орошения второй ступени $t_{вн} = 15^\circ\text{C}$. Коэффициент орошения одинаковый для камер I и II ступени $B = 1,6$.

Определить: Конечные параметры воздуха после орошения J_2 и t_{c_2} и конечную температуру $t_{вк}$ /после форсуночной камеры I ступени/.

Решение.

1. Определяем гигрометрическую разность температур

$$\Delta t_p = t_{c_1} - t_p = 37 - 20 = 17^\circ\text{C}$$

Расчет проводим по номограмме 3 /см.табл.5,14 и п.73/

2. Определяем критерий R :

$$\text{находим разность } t_p - t_{вн} = 20 - 15 = 5^\circ\text{C}$$

на диаграмме I производим построения, аналогичные нанесен^н жому примеру. При $t_p - t_{вн} = 5^\circ\text{C}$, $t_p = 20$ и $t_{вн} = 15$ находим $R = 3,22$.

3. Вычисляем критерий M_1

$$M_1 = \frac{t_p - t_{вн}}{t_{c_1} - t_p} = \frac{20 - 15}{37 - 20} = 0,294$$

4. Вычисляем произведение критериев M, R .

$$M, R = 0,294 \cdot 3,22 = 0,947$$

5. Определяем значения относительного изменения теплосодержания воздуха $\Delta \bar{J}$.

Произведя построения на номограмме 3 /в последовательности указанной в примере 3 п.5а/ найдем, что при известных $R = 3,22$, $M, R = 0,947$ и $B = 1,6$ величина $\Delta \bar{J} = 1,56$.

6. Определяем конечное теплосодержание воздуха после орошения в двухступенчатой камере.

$$J_2 = J_1 - \Delta \bar{J} C_p (t_c - t_p) = 17,9 - 1,56 \cdot 0,24 \cdot 17 = 17,9 - 6,37 = 11,53 \text{ ккал/кг}$$

7. Определяем значение относительного изменения температуры воздуха $\Delta \bar{T}_c$.

Произведя построения на номограмме 3 /в последовательности указанной в примере 3 п.7/ найдем, что при известных $B = 1,6$ и $M, R = 0,294$ величина $\Delta \bar{T}_c = 1,17$.

8. Определяем температуру воздуха после орошения в двухступенчатой камере

$$t_{c_2} = t_{c_1} - \Delta \bar{T}_c (t_{c_1} - t_p) = 37 - 1,17 \cdot 17 = 37 - 19,85 = 17,15^\circ \text{C}.$$

9. Определяем конечную температуру воды после камеры орошения I ступени /см.рис.4/

$$t_{\text{вк}} = t_{\text{вн}} + \frac{\Delta J}{B} = 15 + \frac{6,37}{1,6} = 15 + 3,98 = 19^\circ \text{C}.$$

10. Определяем количество распыляемой воды W в каждой камере, производительность одной форсунки q_f , давление P_0 и мощность каждого циркуляционного насоса /без учета сопротивления сети трубопроводов /

$$W = G \cdot B = 79500 \cdot 1,6 = 127200 \text{ кг/ч}$$

$Q = \frac{127200}{288} = 442 \text{ л/час.}$ По рис.2 при $d_0 = 5,0 \text{ мм}$ и $Q = 442$ находим $Re = 1,6 \text{ атн.}$

$$N = \frac{127200 \cdot 16 \cdot 1,1}{102 \cdot 3500 \cdot 0,88} = 6,9 \text{ кВт}$$

Процесс в J-d диаграмме представлен на рис.13. Как следует из проведенного расчета конечная температура воздуха после орошения в двухступенчатой камере $t_{c_2} = 17,15^\circ\text{C}$ оказывается ниже конечной температуры воды $t_{BK} = 19^\circ\text{C}$ /см.п.34/.

Сопоставляя полученный результат с данными примера 4 видно, что в двухступенчатой камере при $t_{BK} = 15^\circ$ достигаются практически те же конечные параметры воздуха, что и в одноступенчатой камере при $t_{BK} = 9,8^\circ\text{C}$ /см.п.30 и 31/. и при $B = 1,4$

Примечание:

Приведенный расчет величины J_2 и t_{c_2} при $B = 1,6$ и $t_{BK} = 15^\circ\text{C}$ справедлив для различных количеств воздуха $G / \text{л} /$ обрабатываемого в форсуночной камере /см.примечание к примеру 3/.

Однако, при различных значениях $G / \text{л} /$ величина коэффициента орошения B должна сохраняться постоянной. Значения различных $G / \text{л} /$ и соответствующие им давления воды P_0 /для обеспечения $B = 1,4 = \text{const}$, т.к. и $l = \text{const}$ /должны находиться в пределах указанных в табл.8/.

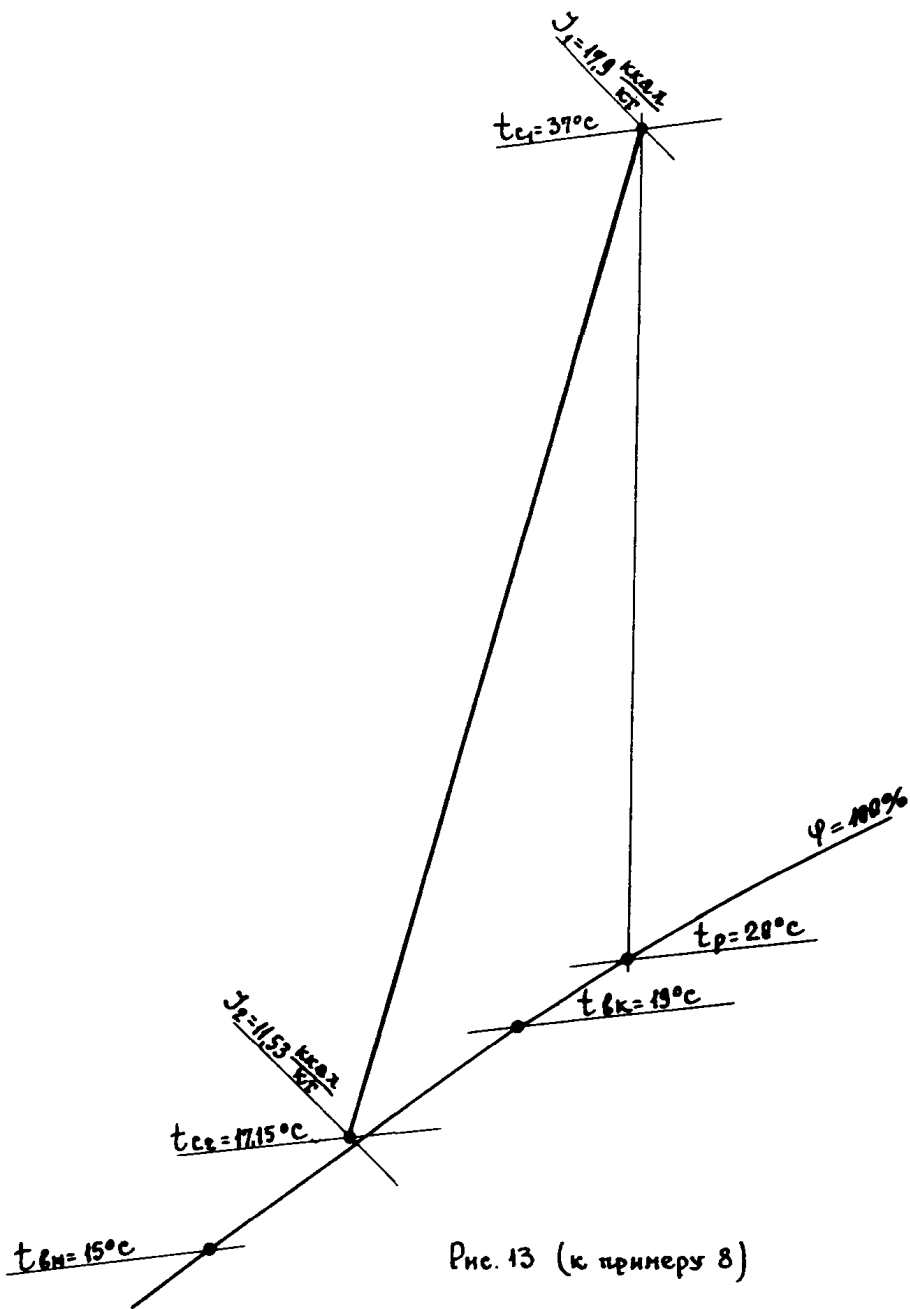


Рис. 13 (к примеру 8)

Пример 9. Расчет процесса адиабатического увлажнения воздуха.

Решается прямая задача.

Дано: Воздух начального состояния $t_{c_1} = 33,5^{\circ}\text{C}$; $t_{n_1} = 27^{\circ}\text{C}$;
 $t_p = 24,9^{\circ}\text{C}$ в количестве $G = 81000$ кг/ч / $\text{U}\gamma = 2,85$ кг/м²сек/
требуется адиабатически охладить в оросительной камере КД 8002
до температуры $t_{c_2} = 27,65^{\circ}\text{C}$. Поперечное сечение камеры $\psi = 7,9\text{м}^2$,
 $n = 18$ шт/м²ряд, $d_0 = 5,0$ мм.

Определить: Коэффициент орошения В

а/ в однорядной противоточной камере / $Z = 1$ /

б/ в двухрядной камере / $Z = 2$ /

Решение

1. Расчет проводим по номограмме 5 /см.табл.7,15 и п.76/

Вычисляем величину критерия $\Delta\bar{T}_c$:

$$\Delta\bar{T}_c = \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{t_{c_1} - t_p} = \frac{33,5 - 27,65}{33,5 - 24,9} = 0,68$$

2. Определяем величину критерия R:

находим разность

$$t_p - t_{n_1} = t_p - t_{n_1} = 24,9 - 27 = -2,1^{\circ}\text{C};$$

на диаграмме I производим построения аналогичные нанесен-
ному примеру /см.пример 3 п.2а/ и при $t_p - t_{n_1} = -2,1^{\circ}\text{C}$ и

$t_p = 24,9^{\circ}\text{C}$ находим $R = 4,5$

/так как $R = 4,5 > 2,7$, то коэффициент δ см.рис.5 равен 1./

3. Определяем величину коэффициента орошения В. Производим
построения на номограмме 5:

на шкале R откладываем $R = 4,5$;

на шкале $\Delta\bar{T}_c$ откладываем $\Delta\bar{T}_c = 0,68$;

соединяем $R = 4,5$ и $\Delta\bar{T}_c = 0,68$ прямой линией и продолжаем ее
до пересечения со шкалой В.

В точке пересечения находим ответ: $B=0,735$ для $Z=1$ и $B=0,9$ для $Z=2$.

4. Определяем расходы циркуляционной воды W , производительность форсунок q , давление перед форсунками P_0 и мощность циркуляционного насоса

Для $Z=1$

$$W = B \cdot G = 0,735 \cdot 81000 = 59500 \text{ кг/ч}, \quad q = \frac{W}{l} = \frac{59500}{144} = 413 \text{ кг/ч.}$$

При $q=413$ и $d_0=5,0$ мм по рис.2 находим $P_0=1,4$ атм

$$N = \frac{59500 \cdot 14 \cdot 1,15}{102 \cdot 3600 \cdot 0,88} = 3,1 \text{ кВт}$$

Для $Z=2$

$$W = B \cdot G = 0,9 \cdot 81000 = 72900 \text{ кг/ч} \quad q = \frac{72900}{288} = 253 \text{ кг/ч}$$

По рис.2 при $d_0=5,0$ мм принимаем минимальные $P_0=0,7$ атм
/ $q=295$ кг/ч./

$$N = \frac{72900 \cdot 7 \cdot 1,15}{102 \cdot 3600 \cdot 0,88} = 1,8 \text{ кВт}$$

На этом теплотехнический расчет считается законченным.
Процесс в $J-d$ диаграмме представлен на рис.14.

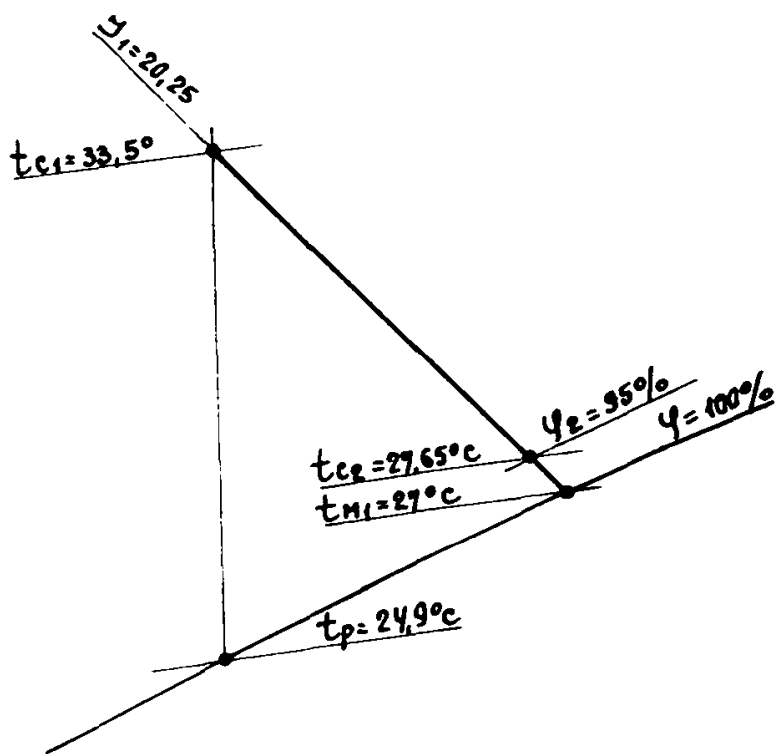


Рис. 14 (к примеру 9)

Пример: 10. Расчет процессов адиабатического увлажнения воздуха.

Решается обратная задача.

Дано: Воздух начального состояния $t_{c1} = 16,6^{\circ}\text{C}$; $t_M = 6^{\circ}\text{C}$;
 $t_p = 10^{\circ}\text{C}$ в количестве $G = 81000$ кг/ч адиабатически охлаждается в
двухрядной оросительной камере Кд 8002, $\sigma\gamma = 2,85$ кг/м²сек
 $\psi = 7,9$ м², $p = 18$ кг/м²ряд, $d_0 = 5,0$ мм, $i = 288$ шт. Коэффициент оро-
шения $B = 1,12$.

Определить: Конечную температуру воздуха t_{c2} после орошения.

Решение

1. Определяем величину критерия R /см.п.п.41 и 76/:
находим разность

$$t_p - t_{6H} = t_p - t_M = 10 - 6 = 4^{\circ}\text{C};$$

на диаграмме 2 производим построения аналогичные нанесенному
примеру и при известных $t_p - t_{6H} = 4^{\circ}\text{C}$ и $t_p = 10^{\circ}\text{C}$, находим
 $R = 1,71$.

2. Определяем величину относительного изменения температуры
воздуха $\Delta \bar{t}_c$ /См. табл. 7,15 и п.42,76/.

Производим построения на номограмме 5:

на шкале R откладываем $R = 1,71$;

на шкале B откладываем $B = 1,12$;

соединяем $R = 1,71$ и $B = 1,12$ прямой и в точке пересечения со
шкалой $\Delta \bar{t}_c$ читаем ответ $\Delta \bar{t}_c = 0,428$.

3. Определяем коэффициент " β ", так как $R = 1,71 < 2,7$.

По графику на рис.5 при $R = 1,71$ имеем $\beta = 0,86$.

4. Определяем конечную температуру воздуха t_{c2}

$$t_{c2} = t_{c1} - \Delta \bar{T}_c \cdot B (t_{cr} t_p) = 16,8 - 0,428 \cdot 0,86 / 16,8 + 10 / - 7,0^\circ \text{C}$$

На этом теплотехнический расчет считается законченным. Процесс в $T-d$ диаграмме представлен на рис.15.

В однорядной камере величина $\Delta \bar{T}_c = 0,428 \cdot 0,86 = 0,367$
 $/ t_{c2} = 7,0^\circ /$ обеспечивается при $B = 0,89$.

Определение величин $P_0; q$ и N

Показано в примерах 2,4,5 и 9

Примечание: Если проводить расчет с использованием коэффициентов эффективности, то в обоих рассмотренных примерах 9 и 10 коэффициент эффективности $E_A = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_M}$ имеет практи-

чески одинаковую величину $E_A \approx 0,9$. При этом коэффициенты орошения B

также должны получиться одинаковыми, так как $B = A E_A^k (U \gamma)^b = const$

где $E_A = const$ и $U \gamma = const$

В действительности, как видно из примеров 9 и 10, требуемые коэффициенты орошения для однорядных камер отличаются на 20,3%, а для двухрядных - на 24,5%.

Это объясняется тем, что коэффициенты эффективности E_A не учитывают влияния начальных параметров воздуха.

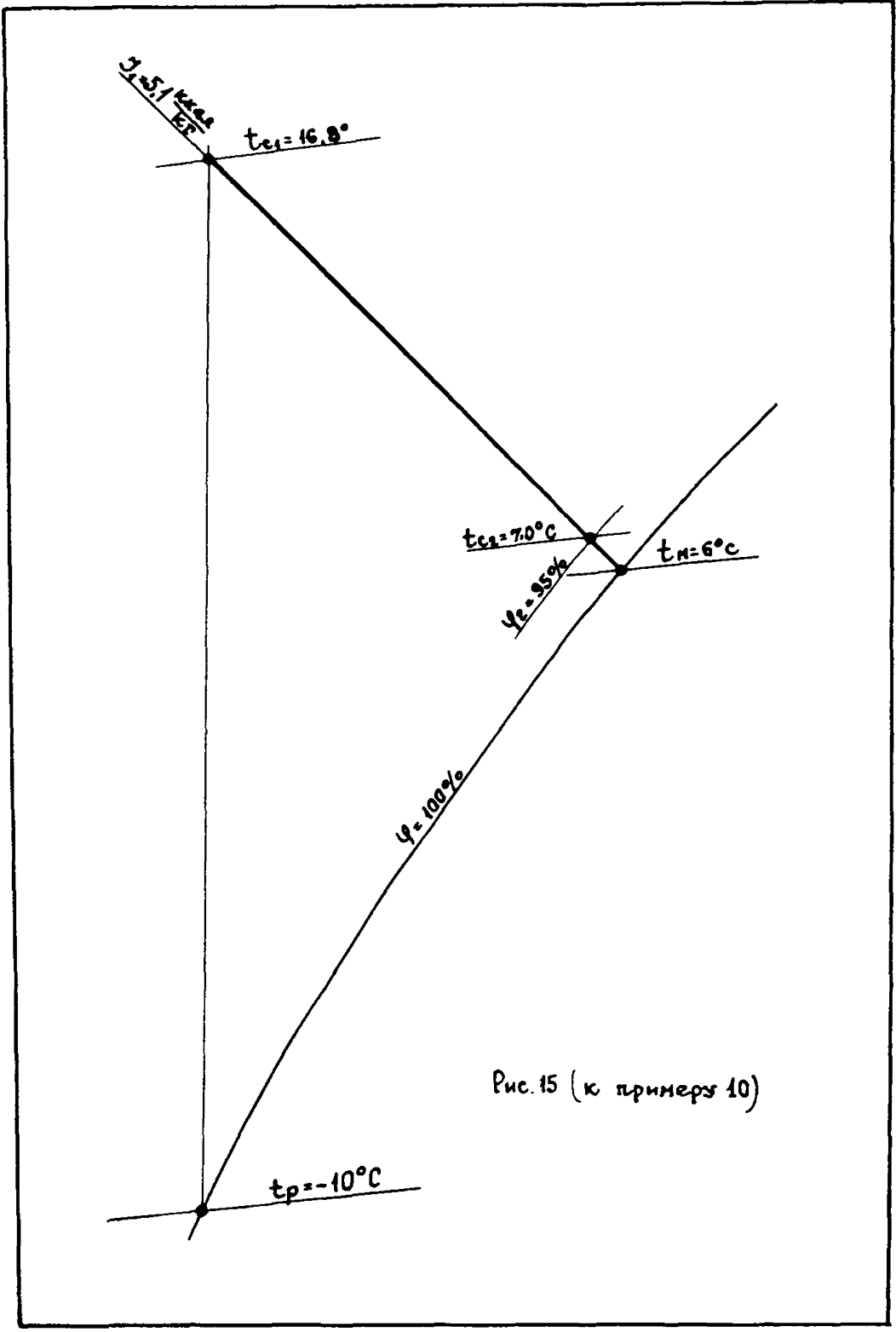


Рис. 15 (к примеру 10)

Пример II. Расчет изотермического увлажнения воздуха. Решается прямая задача.

Дано: Воздух начального состояния /после калорифера первого подогрева/ $t_{c_1} = 25^{\circ}\text{C}$, $J_1 = 8,4$ ккал/кг $t_p = 0^{\circ}\text{C}$ в количестве $G = 81000$ кг/ч требуется изотермически увлажнить до состояния $t_{c_2} = 25^{\circ}\text{C}$; $J_2 = 17,60$ ккал/кг $\varphi = 95\%$ в двухрядной оросительной камере Кд 8002 $\Psi = 7,9$ м² $p = 18$ шт/м² ряд, $d_0 = 5,0$ мм, $i = 288$ шт.
Определить: Коэффициент орошения B , начальную $t_{\delta n}$ и конечную $t_{\delta k}$ температуру воды.

Решение

1. Расчет производим по номограмме 6 /см.табл.10 и 16/ и с помощью граничного условия в табл.1 для процесса б.

Определяем начальную гигрометрическую разность температур

$$\Delta t_p = t_{c_1} - t_p = 25 - 0 = 25^{\circ}\text{C}$$

2. Определяем значение критерия $\Delta \bar{J}$

$$\Delta \bar{J} = \frac{J_1 - J_2}{c_p(t_c - t_p)} = \frac{8,4 - 17,60}{0,24 \times 25} = 1,53$$

3. Определяем начальную температуру воды $t_{\delta n}$. Согласно рекомендациям п.51 и 52 для проведения изотермических процессов увлажнения воздуха, начальная температура воды расширяемой в оросительной камере $t_{\delta n}$ должна быть, обычно, на $9-11^{\circ}\text{C}$ больше температуры воздуха по сухому термометру t_{c_1} . Тогда при $t_{c_1} = 25^{\circ}\text{C}$

$$t_{\delta n} = t_{c_1} + 10 = 35^{\circ}\text{C}.$$

4. Определяем коэффициент орошения B , необходимый для осуществления изотермического увлажнения воздуха.

А/Производим построения на номограмме 6:

на шкале абсцисс /в квадрате Б/ откладываем $t_{\text{вн}} = 35^{\circ}\text{C}$ и проводим вертикальную прямую до пересечения в точке "а" с кривой, соответствующей известному значению $t_p = 0^{\circ}\text{C}$;

из точки а проводим горизонтальную прямую /в квадрат А/ до пересечения в точке "б" с кривой соответствующей вычисленному значению $\Delta t_p = 25^{\circ}\text{C}$;

из точки "б" проводим прямую, параллельную наклонным направлениям до пересечения с шкалой $\Delta \bar{J}$ в точке "с";

на шкале $\Delta \bar{J}$ откладываем $\Delta \bar{J} = -1,53$;

соединяем точку "с" и $\Delta \bar{J} = -1,53$ прямой линией и продолжаем ее до пересечения со шкалой В. В точке пересечения читаем ответ $B = 1,1$.

Б. Определим конечную температуру воды /из уравнения теплового баланса/.

$$t_{\text{вк}} = t_{\text{вн}} - \frac{J_2 - J_1}{B} = 35 - \frac{17,6 - 8,4}{1,1} = 35 - 8,35 = 26,65^{\circ}\text{C}$$

На этом теплотехнический расчет считается законченным.

Б/ Проводим вычисления по формуле граничного условия /табл. I, процесс 6/

Б. Для осуществления процессов изотермического увлажнения воздуха в оросительных камерах коэффициент орошения M , начальная температура распыляемой воды $t_{\text{вн}}$ и начальные параметры воздуха перед входом в камеру должны отвечать граничному теоретическому условию

$$B_{\bar{m}} = \frac{K C_p}{M_4} = \frac{K C_p}{\frac{t_{\text{вн}} - t_{\text{с1}}}{t_{\text{с1}} - t_p}};$$

где $K = \frac{J_H - J_1}{J_1 - J_p}$ - коэффициент; J_H - теплосодержание насыщенного воздуха при $t_{\text{с1}}$; C_p - теплоемкость воздуха.

Действительный коэффициент орошения, как показывают проведенные эксперименты, должен быть приблизительно на 10% больше теоретического.

7. Определяем теоретический коэффициент орошения B_m .

а/ Вычисляем коэффициент K

При $t_{c1} = 25^{\circ}\text{C}$ по $J-d$ диаграмме $J_M = 18,4$ ккал/кг, тогда

$$K = \frac{J_M - J_1}{J_1 - J_p} = \frac{18,4 - 0,4}{0,24/25 - 0} = 1,67$$

б/ Вычисляем величину M_4

При $t_{M4} = 35^{\circ}\text{C}$

$$M_4 = \frac{t_{M4} - t_{c1}}{t_{c1} - t_p} = \frac{35 - 25}{25 - 0} = 0,4$$

в/ Определяем B_m

$$B_m = \frac{K C_p}{M_4} = \frac{1,67 \cdot 0,24}{0,4} = 1,0$$

13. Определяем действительный коэффициент B /см.п.52/

$$B = B_m \cdot I, I = 1,0 \cdot I, I = 1,0$$

Полученное значение B совпадает с величиной B определенной по номограмме 6.

Процесс в $J-d$ диаграмме представлен на рис.16. Итак, при коэффициенте орошения $B=1,0$ и $t_{M4}=35^{\circ}\text{C}$ будет обеспечено изотермическое увлажнение воздуха до состояния $J_2 = 17,6$ ккал/кг и $\varphi_2 = 95\%$.

14. Определяем количество распыляемой воды W , производительность форсунок q , давление перед форсунками P_0 и мощность циркуляционного насоса /без учета сопротивления сети/.

$$W = B \cdot G = 1,1 \times 81000 = 89000 \text{ кг/ч}$$

$$q = \frac{W}{t} = \frac{89000}{288} = 310 \text{ кг/ч}$$

По рис.2 при $d_0 = 5,0$ мм и $q = 310$ находим $P_0 = 0,8$ ати

$$N = \frac{118 \cdot 89000 \cdot 1,15}{102 \cdot 3600 \cdot 0,88} = 3,8 \text{ кВт}$$

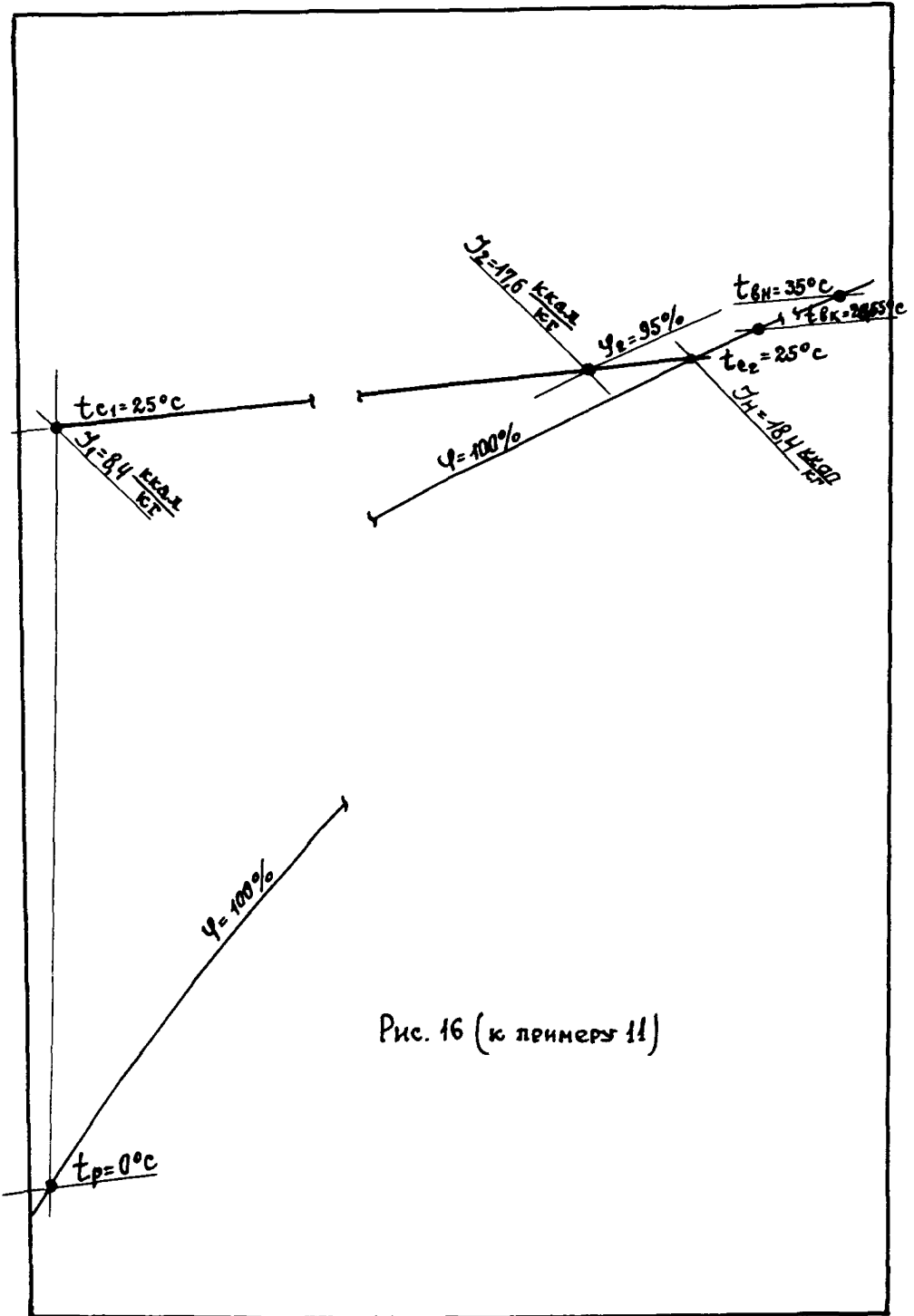


Рис. 16 (к примеру 11)

Пример: I2: Расчет процессов нагрева и увлажнения воздуха.

Решается обратная задача.

Дано: Воздух начального состояния /после калорифера первого подогрева/ $t_{c1} = +2^{\circ}\text{C}$ $J_1 = 1,0$ ккал/кг; $t_p = -17,5^{\circ}\text{C}$ в количестве $G = 33300$ кг/ч орошается водой в двухрядной камере Кд 4002 / $\Psi = 3,7 \text{ м}^2$; $d_0 = 5,0$ мм; $n = 13$ шт/м²ряд; $U\gamma = 2,5$ кг/м²сек. Коэффициент орошения $B = 1,0$. Начальная температура распыляемой воды $t_{\text{вн}} = 20^{\circ}\text{C}$.

Определить: Конечные параметры воздуха J_2 и t_{c2} после орошения и конечную температуру воды $t_{\text{вк}}$.

Решение

1. Расчет проводим по номограмме 6 /см. табл. 10 и 16./

Определяем начальную гигрометрическую разность температур

$$\Delta t_p = t_{c1} - t_p = +2 - /-17,5/ = 19,5^{\circ}\text{C}$$

2. Определяем значение относительного изменения теплосодержания воздуха, $\Delta \bar{J}$.

Производим построения на номограмме 6:

на оси абсцисс /в квадрате Б/ откладываем $t_{\text{вн}} = 20^{\circ}\text{C}$ и проводим вертикальную прямую до пересечения в точке 'а' с кривой соответствующей известному значению $t_p = -17,5^{\circ}$;

из точки "а" проводим горизонтальную прямую /в квадрате А/ до пересечения в точке 'б' с кривой соответствующей вычисленному значению $\Delta t_p = 19,5^{\circ}\text{C}$;

из точки "б" проводим прямую параллельную наклонным направлениям до пересечения с нижней шкалой $\Delta \bar{J}$ в точке "с";

на шкале В откладываем $B = 1,0$;

соединяем $B = 1,0$ и точку "с" прямой линией. В точке пересечения прямой со шкалой $\Delta \bar{J}$ находим ответ $\Delta \bar{J} = -1,26$.

3. Определяем конечное теплосодержание воздуха J_2 после орошения

$$J_2 = J_1 - \Delta J_{Cp} (t_c - t_p) = 1 - 1,26 \cdot 0,24 \cdot 19,5 = 1 + 5,9 = 6,9 \text{ ккал/кг}$$

По $J-d$ диаграмме при $J_2 = 6,9$ и $\psi_2 = 95\%$ находим $t_{c2} = +10^\circ\text{C}$.

4. Определяем конечную температуру воды

$$t_{6к} = t_{6н} + \frac{J_1 - J_2}{B} = 20 - \frac{5,9}{1} = 14,1^\circ\text{C}$$

На этом теплотехнический расчет считается законченным.

5. Определяем количество распыляемой воды W , величиной q и P_0 .

$$W = G \cdot B = 33300 \cdot 1 = 33300 \text{ кг/ч}$$

Общее число форсунок при плотности расположения

$$n = 13 \text{ шт/м}^2 \text{ ряд равно}$$

$$i = n \psi z = 13 \cdot 3,7 \cdot 2 = 96 \text{ шт}$$

Тогда

$$q = \frac{W}{i} = \frac{33300}{96} = 347 \text{ кг/ч}$$

По рис.2 при $d_0 = 5,0$ мм и $q = 347$ находим $P_0 = 0,95$ атм

Процесс в $J-d$ диаграмме представлен на рис.17.

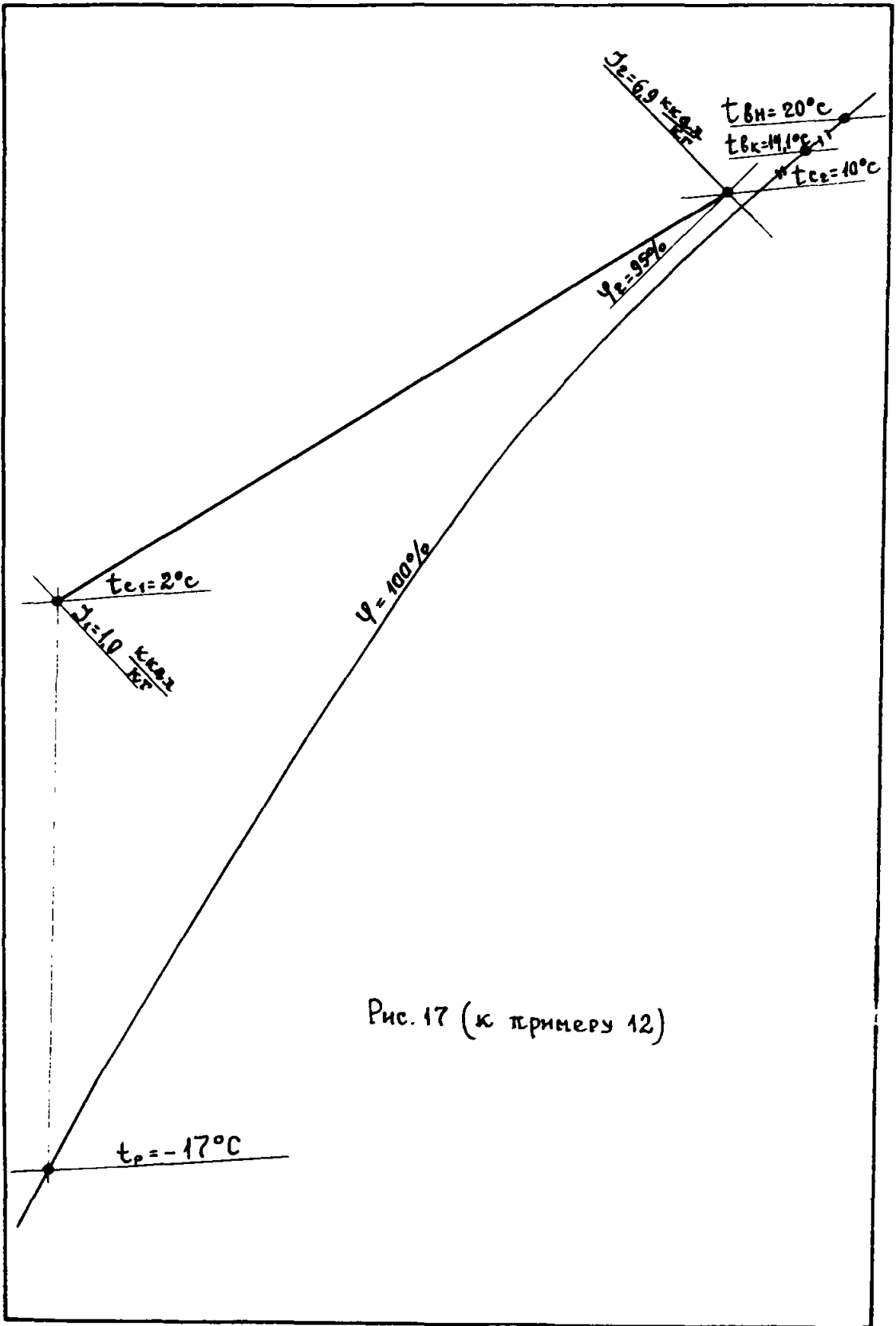


Рис. 17 (к примеру 12)

Пример 13. Расчет процессов нагрева и увлажнения насыщенного воздуха. Решается обратная задача.

Дано: Воздух начального состояния $t_{c_1} = -13^{\circ}\text{C}$, $J_1 = -2,4$ ккал/кг, $t_p = -13^{\circ}\text{C}$ в количестве $G = 33300$ кг/час орошается в двухрядной камере Кд 4002, $\Psi = 3,7 \text{ м}^2$, $d_0 = 5,0$ мм, $n = 13$ шт/м² ряд; $U\gamma = 2,5$ кг/м² сек. Начальная температура распыляемой воды $t_{\text{вн}} = 20^{\circ}\text{C}$. Коэффициент орошения $B = 1$.

Определить: Конечные параметры воздуха J_2 и t_{c_2} после орошения и конечную температуру воды $t_{\text{вн}}$.

Решение

1. Расчет проводим по номограмме 4 /см табл.10,16 и п.л.48 и 54/.

Определяем гигрометрическую разность температур

$$\Delta t_p = t_{c_1} - t_p = -13 - (-13) = 0$$

2. Определяем критерий R :

$$\text{находим разность } t_p - t_{\text{вн}} = -13 - 20 = -33^{\circ}\text{C};$$

на диаграмме 2 производим построения аналогичные нанесенному примеру. При $t_p - t_{\text{вн}} = -33^{\circ}\text{C}$ и $t_{\text{вн}} = +20^{\circ}\text{C}$ находим $R = 2,12$.

3. Определяем величину изменения теплосодержания воздуха ΔJ .

Производим построения на номограмме 4:

$$\text{на шкале } R \text{ откладываем } R = 2,12^{\text{м}};$$

$$\text{на шкале } \pm /t_p - t_{\text{вн}} / \text{ откладываем } /t_p - t_{\text{вн}} / = -33^{\circ}\text{C};$$

соединяем $R = 2,12$ и $/t_p - t_{\text{вн}} / = -33$ прямой и продолжаем ее до пересечения в точке "б" с немой шкалой d ;

$$\text{на шкале } B \text{ откладываем } B = 1,0;$$

соединяем $B = 1,0$ и точку "б" прямой линией.

В точке пересечения прямой со шкалой ΔJ /для процессов нагрева/ находим ответ $\Delta J = -7,8$ ккал/кг.

4. Определяем конечное теплосодержание воздуха J_2 после орошения.

$$J_2 = J_1 - \Delta J = 2,4 + 7,8 = +5,4 \text{ ккал/кг}$$

По $J-d$ диаграмме при $\varphi_2 = 100\%$ и $J_2 = 5,4$ ккал/кг, $t_{c_2} = 6,8^\circ\text{C}$.

5. Определяем конечную температуру воды

$$t_{ik} = t_{in} + \frac{\Delta J}{B} = 20 - 7,8 = 12,2^\circ\text{C}$$

На этом теплотехнический расчет считается законченным.

6. Определяем количество распыляемой воды W и величины q и P_0 .

$$W = C \cdot B = 33300 \cdot I = 33300 \text{ кг/ч}$$

$$q = \frac{W}{L} = \frac{33300}{96} = 348 \text{ кг/ч. По рис.2 при } d_0 = 5,0 \text{ мм и}$$

$$q = 348 \text{ находим } P_0 = 0,97 \text{ атм.}$$

Процесс в $J-d$ диаграмме представлен на рис.18.

Примечание:

1. Как видно из этого примера составленного по данным опыта, холодный наружный воздух с температурой $t_{c_1} = -13^\circ\text{C}$ был подогрет в оросительной камере на $\Delta t_c = t_{c_2} - t_{c_1} = 6,8 - (-13) = 19,8^\circ\text{C}$. Причем в качестве теплоносителя использовалась практически холодная вода с температурой $t_{in} = +20^\circ\text{C}$. Этот пример иллюстрирует перспективность применения испарительного нагрева воздуха в сравнении с нагревом в калориферных установках. Подобрать экономичную калориферную установку на указанные параметры весьма затруднительно.

2. При осуществлении в оросительных камерах процессов одновременного нагрева и увлажнения холодного наружного воздуха необходимо принимать меры защиты от обмерзания входного соплатора. Необходимо также организовать равномерный, плавный вход

наружного воздуха в оросительные камеры. С этой целью в качестве одной из мер может быть рекомендовано использование однорядных оросительных камер с попутным распылением воды и оснащение камер форсунками диаметром более 4,5 мм. Расчет однорядных камер с попутным распылением воды может ориентировочно производиться по данным табл.10 при увеличении вычисленного коэффициента орошения B на 12-18%. В рассматриваемом примере коэффициент орошения для однорядной камеры будет равен $B_0 = B_{д.18} = 1,18$.

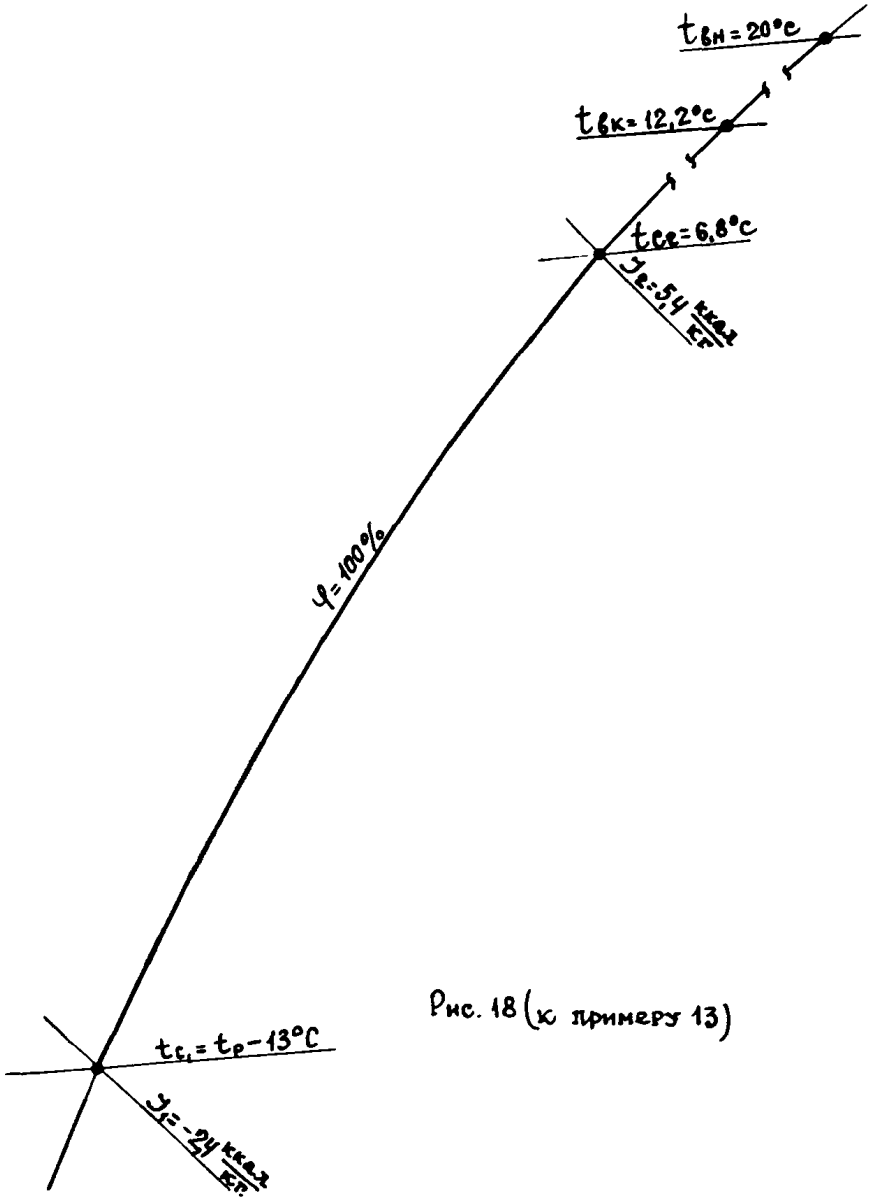


Рис. 18 (к примеру 13)

Пример 14: Расчет охлаждения воды в оросительных камерах .

Решается прямая задача.

Дано: Для работы конденсаторов холодильных машин в оросительной камере Кд 8002 / производительностью по воздуху $G=79500$ кг/ч, $U\gamma=2,8$ кг/м² сек, $\psi=7,9$ м², $Z=2$ / требуется охладить воду с начальной температурой $t_{\delta n}=28^{\circ}\text{C}$ до конечной температуры $t_{\delta k}=24^{\circ}\text{C}$. Начальные параметры воздуха перед входом в камеру соответствуют расчетным условиям для гор.Москвы $t_{c1}=28,5^{\circ}\text{C}$, $J_1=12,9$ ккал/кг., $t_p=13,5^{\circ}\text{C}$, $t_m=19^{\circ}\text{C}$.

Определить: 1. Коэффициент орошения В, и количество воды охлаждаемое в камерах, оснащенных:

а/ форсунками $d_0=3,5$ мм при $n=18$ шт/м² ряд

б/ форсунками $d_0=5,0$ мм при $n=13$ шт/м² ряд.

2. Конечные параметры воздуха J_2 и t_{c2} после орошения.

Р Е Ш Е Н И Е

1. Расчет производим по номограмме 7 и по формулам в табл.12 /см.п.п.58-61 и табл.17/.

Определяем начальную гигрометрическую разность температур

$$\Delta t_p = t_{c1} - t_p = 28,5 - 13,5 = 15^{\circ}\text{C}$$

2. Определяем критерий относительного изменения температуры воды $\Delta \bar{T}_6$.

$$\Delta \bar{T}_6 = \frac{t_{вк} - t_{\delta n}}{t_c - t_p} = \frac{24 - 28}{28,5 - 13,5} = -0,267$$

3. Определяем требующийся коэффициент орошения В по номограмме 7:

на шкале абсцисс /в квадрате Б/ откладываем $t_{\delta n}=28^{\circ}\text{C}$ и проводим вертикальную прямую до пересечения в точке "а" с кривой, соответствующей известному значению $t_p=13,5^{\circ}\text{C}$;

из точки "а" проводим горизонтальную прямую /в квадрат А/ до пересечения в точке "б" с кривой соответствующей вычисленному значению $\Delta t_p = 15^{\circ}\text{C}$;

из точки "б" проводим прямую параллельную наклонным направлениям до пересечения с ней шкалой $\Delta \bar{t}$ в точке "с";

на шкалах $\Delta \bar{t}$ для камер с форсунками $d_0 = 3,5$ мм и $d_0 = 5,0$ мм откладываем значения $\Delta \bar{t} = -0,267$;

соединим прямыми линиями точку "с" со значениями $\Delta \bar{t} = -0,267$ и продолжим их до пересечения со шкалой В. В точках пересечения находим ответ: $B = 0,94$ для $d_0 = 3,5$ мм и $B = 0,77$ для $d_0 = 5,0$ мм.

4. Определяем коэффициент орошения В по расчетным формулам в таблице 12.

При $\Delta t_p > 2,0^{\circ}\text{C}$ имеем:

для $d_0 = 3,5$ мм, $\Delta \bar{t} = 0,15 / 1 + M_I R / R^{-0,3} B^{-0,37}$

для $d_0 = 5,0$ мм $\Delta \bar{t} = 0,136 / 1 + M_I R / R^{-0,3} B^{-0,47}$

5. Определяем критерий R /см.п.48/:

находим разность $t_p - t_{\text{вн}} = 13,5 - 28 = -14,5^{\circ}\text{C}$;

на диаграмме I проводим построения, аналогичные нанесенному примеру и при известных $t_p - t_{\text{вн}} = -14,5^{\circ}\text{C}$ и $t_p = 13,5$ /или $t_{\text{вн}} = 28^{\circ}\text{C}$ / находим $R = 3,7$.

6. Определяем критерий M_I

$$M_I = \frac{t_p - t_{\text{вн}}}{t_{\text{вн}} - t_p} = \frac{13,5 - 28}{28,5 - 13,5} = -0,967$$

7. Определяем произведение критериев $M_I R$.

$$M_I R = -0,967 \times 3,7 = -3,58$$

8. По табл.19 в приложении вычисляем $R^{-0,3} = 3,7^{-0,3} = 0,675$

9. Вычисляем значения В

Для $d_0 = 3,5$ мм

$$B^{0,37} = \frac{0,15 \cdot (-2,58) / 0,675}{-0,267} = 0,978$$

По табл.18 в приложении при $B^{0,37} = 0,978$ находим $B = 0,94$

Для $d_0 = 5,0$ мм

$$B^{0,47} = \frac{0,136 \cdot (-2,58) / 0,675}{-0,267} = 0,887$$

Откуда $B = 0,77$.

Как видим, результаты расчетов по формулам достаточно точно совпали с данными, полученными по номограмме 7.

10. Определяем количество распыляемой воды W величины q_w, q, P_0 и количество отведенного тепла Q .

В камере с форсунками диаметром 3,5 мм

$W = G \cdot B = 79500 \times 0,94 = 74600$ кг/ч. Плотность орошения

$q_w = \frac{W}{\psi} = \frac{74,6}{7,9} = 9,45$ м³/м²ч. При общем числе форсунок в двухрядной камере $l = 288$ шт, производительность одной форсунки составит:

$$q_f = \frac{W}{l} = \frac{74600}{288} = 259 \text{ кг/ч}$$

По рис.2 при $q_f = 259$ кг/ч и $d_0 = 3,5$ мм давление воды перед форсунками составит $P_0 = 1,5$ атм.

Количество отведенного в оросительной камере тепла равно

$$Q = WC_8 (t_{вн} - t_{вк}) = 74600 \cdot 4 = 298000 \text{ ккал/ч}$$

в камере с форсунками диаметром 5,0 мм

$W = G \cdot B = 79500 \times 0,77 = 61200$ кг/ч Плотность орошения

$q_w = \frac{W}{\psi} = \frac{61,2}{7,9} = 7,75$ м³/м²ч. При общем числе форсунок

$i = n \cdot z \cdot \psi = 13 \times 2 \times 7,9 = 206$ шт., производительность одной форсунки

составит

$$q = \frac{61200}{206} = 297 \text{ кг/ч. По рис.2 при } q = 297 \text{ кг/ч}$$

и $d_0 = 5,0$ мм давление воды перед форсунками составит $P_0 = 0,7$ атм.

Количество отведенного тепла равно

$$Q = W C t / t_{6n} t_{6k} / = 61200 \times 4 = 244000 \text{ ккал/ч}$$

Сравнивая полученный результат с первым, видим, что в камере с форсунками диаметром 3,5 мм количество отведенного тепла возрастает приблизительно на 22%.

II. Определяем конечные параметры воздуха J_2 /по формулам для процессов с повышением теплосодержания воздуха в табл.10/.

Для камер с форсунками $d_0 = 3,5$ мм

$$\Delta \bar{J} = 0,6 / 1 + M, R / R^{-0,3} B = 0,6 / -2,58 / \times 0,675 \times 0,961 = -1,005$$

откуда

$$J_2 = J_1 - \Delta \bar{J} C_p (t_{c_1} - t_p) = 12,9 + 1,005 \times 0,24 \times 15 = 16,52 \text{ ккал/кг}$$

$$/ t_{c_2} = 23,5 /$$

Для камер с форсунками $d_0 = 5,0$ мм

$$\Delta \bar{J} = 0,54 / 1 + M, R / R^{-0,3} B = 0,54 / -2,58 / \times 0,675 \times 0,87 = -0,818$$

откуда

$$J_2 = J_1 - \Delta \bar{J} C_p (t_{c_1} - t_p) = 12,9 + 0,818 \times 3,6 = 15,84 \text{ ккал/кг}$$

Температура воздуха после орошения определяется при $\varphi_p = 95\%$
 $/ t_{c_2} = 23^{\circ} \text{C} /$.

На этом теплотехнический расчет считается законченным. Процесс в $J-d$ диаграмме представлен на рис.19. Значения J_2 (с точностью 4-5%) могут быть вычислены и по уравнению теплового баланса

$$\Delta J = \frac{Q}{G_{\text{возд.}}}$$

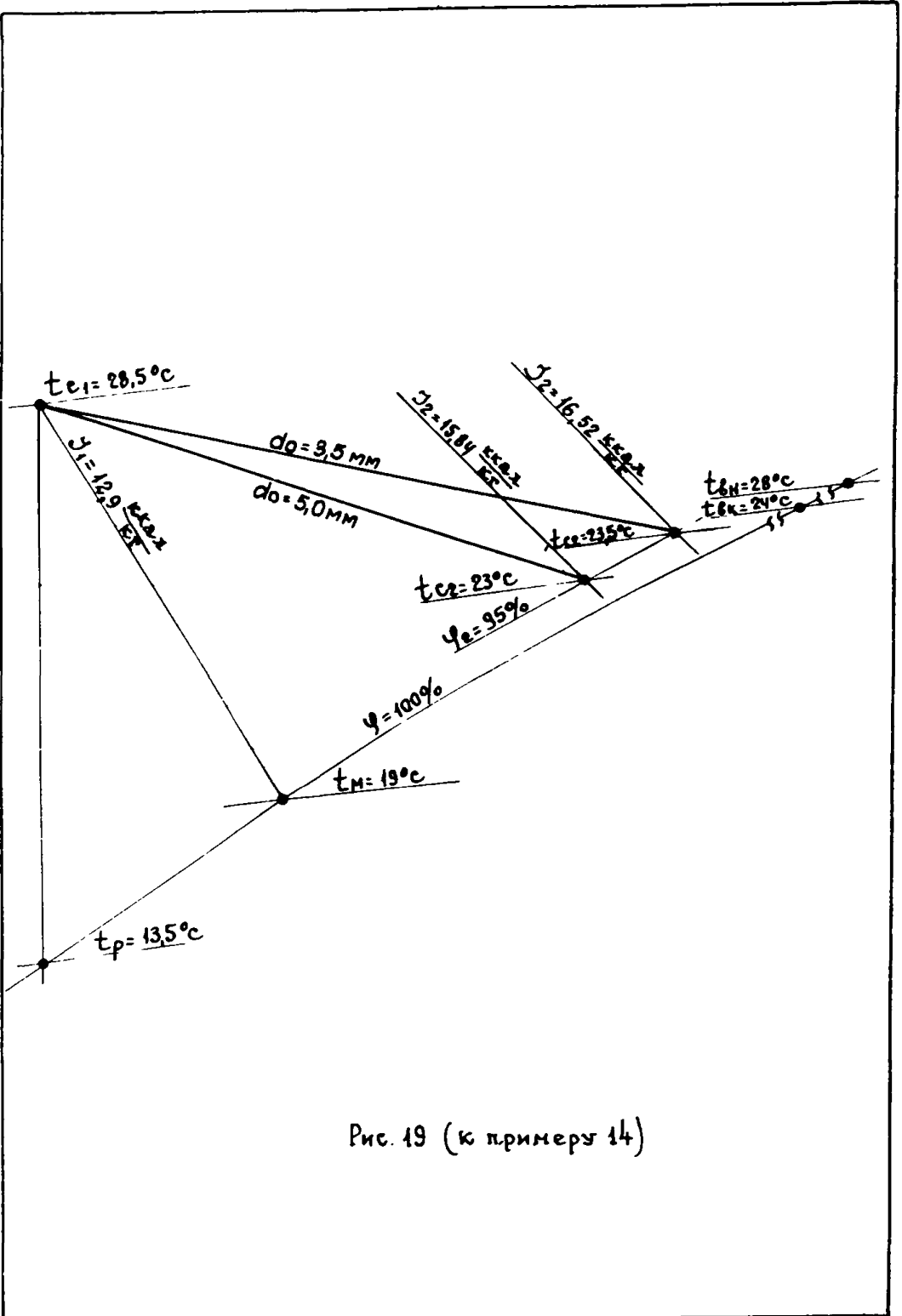


Рис. 19 (к примеру 14)

Пример 15. Расчет охлаждения воды в оросительных камерах.

Решается обратная задача.

Дано: В оросительной камере Кд 8002 / производительность по воздуху $G = 79500$ кг/ч, $V\gamma = 2,8$ кг/м² сек, $\Psi = 7,9$ и $Z = 2$ / охлаждается вода с начальной температурой $t_{\text{вн}} = 24^{\circ}\text{C}$.

Начальные параметры воздуха перед входом в камеру соответствуют расчетным условиям для гор.Москвы $t_{\text{с1}} = 28,5^{\circ}\text{C}$, $J_1 = 12,9$ ккал/кг $t_p = 13,5^{\circ}\text{C}$, $t_m = 19^{\circ}\text{C}$. Коэффициент орошения $B = 1$.

Определить: Конечную температуру воды $t_{\text{вк}}$ после охлаждения в камерах оснащенных :

а/ форсунками $d_0 = 3,5$ мм при $n = 18$ шт/м²ряд;

б/ форсунками $d_0 = 5,0$ мм при $n = 13$ шт/м²ряд.

Р е ш е н и е

1. Расчет производим по номограмме 7 /см.табл.12 и 17/
Определяем начальную гигрометрическую разность температур

$$\Delta t_p = t_{\text{с1}} - t_p = 28,5 - 13,5 = 15^{\circ}\text{C}$$

2. Определяем величину относительного изменения температуры воды $\Delta \bar{T} \bar{b}$.

Производим построения на номограмме 7:

на шкале абцисс /в квадрате Б/ откладываем $t_{\text{вн}} = 24^{\circ}\text{C}$ и проводим вертикальную прямую до пересечения в точке "а" с кривой соответствующей известному значению $t_p = 13,5^{\circ}\text{C}$;

из точки "а" проводим горизонтальную прямую /в квадрате А/ до пересечения в точке "б" с кривой соответствующей вычисленному значению $\Delta t_p = 15^{\circ}\text{C}$;

из точки "б" проводим прямую параллельную наклонным направляющим до пересечения с немой шкалой Δ в точке "с";

на шкале В откладываем $B=I$;

соединяем прямой линией точку "с" и $B=I$.

В точках пересечения прямой со шкалами $\Delta T\theta$ находим ответ:
 $\Delta T\theta = -0,143$ при $d_0 = 3,5$ мм и $\Delta T\theta = -0,13$ при $d_0 = 5,0$ мм.

3. Определяем температуру воды $t_{\theta k}$ после охлаждения в охлаждающей камере по следующей формуле:

$$\text{Величина } \Delta T\theta = \frac{t_{\theta k} - t_{\theta n}}{t_{c_2} - t_p} \text{ / откуда } t_{\theta k} = t_{\theta n} + \Delta T\theta (t_{c_2} - t_p)$$

Тогда:

для $d_0 = 3,5$ мм

$$t_{\theta k} = 24 - 0,143 / 28,5 - 13,5 = 21,85^\circ\text{C} \quad / \quad t_{m_1} = 19^\circ\text{C};$$

для $d_0 = 5,0$ мм;

$$t_{\theta k} = 24 - 0,13 / 28,5 - 13,5 = 22,05^\circ\text{C} \quad / \quad t_{m_1} = 19^\circ\text{C}.$$

4. Определяем количество распыляемой воды W , плотность орошения q_w , значения q , P_0 и количество отведенного тепла Q_w .

Для $d_0 = 3,5$ мм

$$W = G \cdot B = 79500 \times I = 79500 \text{ кг/ч. Плотность орошения}$$

$$q_w = \frac{W}{\psi} = \frac{79,5}{7,9} = 10 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч. При общем числе форсунок}$$

$$i = 288 \text{ шт и } n = 18 \text{ шт/м}^2\text{ряд, имеем } q = \frac{W}{L} = \frac{79500}{288} = 276 \text{ кг/ч.}$$

По рис.2 при $q = 276$ кг/ч и $d_0 = 3,5$ мм находим $P_0 = 1,7$ атм.

$$Q_w = W G_s (t_{\theta n} - t_{\theta k}) = 79500 \times I / 24 - 21,85 = 171000 \text{ ккал/час.}$$

Для $d_0 = 5,0$ мм

$$\text{Общее число форсунок составит } i = n \cdot Z \cdot \psi = 18 \cdot 2 \cdot 7,9 = 286 \text{ шт.,}$$

$$\text{тогда } q = \frac{79500}{286} = 278 \text{ кг/ч. По рис.2 находим } P_0 = 1,2 \text{ атм.}$$

$$Q_w = 79500 \cdot I / 24 - 22,05 = 155000 \text{ ккал/ч}$$

На этом теплотехнический расчет считается законченным.

Пример 16. Расчет охлаждения воды в оросительных камерах.
Решается обратная задача.

Дано: В оросительной камере Кд 6002 / производительностью по воздуху $G = 68100$ кг/ч, $V\gamma = 2,85$ кг/м² сек, $d_0 = 5,0$ мм, $p = 13$ кг/м² ряд, $\psi = 6,64$ м² и $Z = 2$ / требуется охладить воду на $\Delta t = 6,9^\circ\text{C}$. Начальные параметры воздуха перед входом в камеру $t_c = 24^\circ\text{C}$, $J_1 = 8,85^\circ\text{C}$, $t_p = 4^\circ\text{C}$, $t_m = 13^\circ\text{C}$. Коэффициент орошения $B = 0,8$.

Определить: Максимальное значение начальной температуры воды $t_{\text{н}}$, которая может быть охлаждена на $\Delta t = 6,9^\circ\text{C}$ при указанных начальных параметрах воздуха и коэффициенте орошения.

Решение

1. Расчет производим по номограмме 7 / см. табл. 12, 17 и п. 81 /
Определяем начальную гигрометрическую разность температур

$$\Delta t_p = t_c - t_p = 24 - 4 = 20^\circ\text{C}$$

2. Определяем величину относительного изменения температуры воды $\Delta \bar{t}_6$.

$$\Delta \bar{t}_6 = \frac{-\Delta t}{t_c - t_p} = \frac{t_{\text{вк}} - t_{\text{н}}}{t_c - t_p} = \frac{-6,9}{24 - 4} = -0,345$$

3. Определяем начальную температуру воды $t_{\text{н}}$ с помощью номограммы 7:

на шкале B откладываем $B = 0,8$;

на шкале $\Delta \bar{t}_6$ / при $d_0 = 5,0$ мм / откладываем $\Delta \bar{t}_6 = -0,345$;

соединяем $B = 0,8$ и $\Delta \bar{t}_6 = -0,345$ прямой линией и продолжаем ее до пересечения с ней шкалой t в точке "с";

из точки "с" /в квадрате А/ проводим прямую параллельную наклонным направляющим до пересечения в точке "б" с кривой, соответствующей вычисленному значению $\Delta t_p = 20^\circ\text{C}$;

из точки "б" проводим горизонтальную прямую /в квадрат В/ до пересечения в точке "а" с кривой, соответствующей известному значению $t_p = 4^\circ\text{C}$;

из точки "а" проводим вертикальную линию до оси абсцисс, на которой находим ответ $t_{\text{вн}} = 30^\circ\text{C}$.

4. Определяем количество распыляемой воды w и значения $q_w, q_{\text{и}p_0}$. $W = G \cdot \beta = 68100 \times 0,8 = 54500$ кг/ч. Плотность орошения $q_w = \frac{w}{\psi} = \frac{54,5}{6,64} = 8,21$ м³/м²ч. Общее число форсунок равно $i \cdot z \cdot n \cdot \psi = 2 \cdot 13,6,64 = 173$ шт. Производительность форсунки

$$q = \frac{w}{i} = \frac{54500}{173} = 315 \text{ кг/ч. По рис.2 при } d_0 = 5,0 \text{ мм и}$$

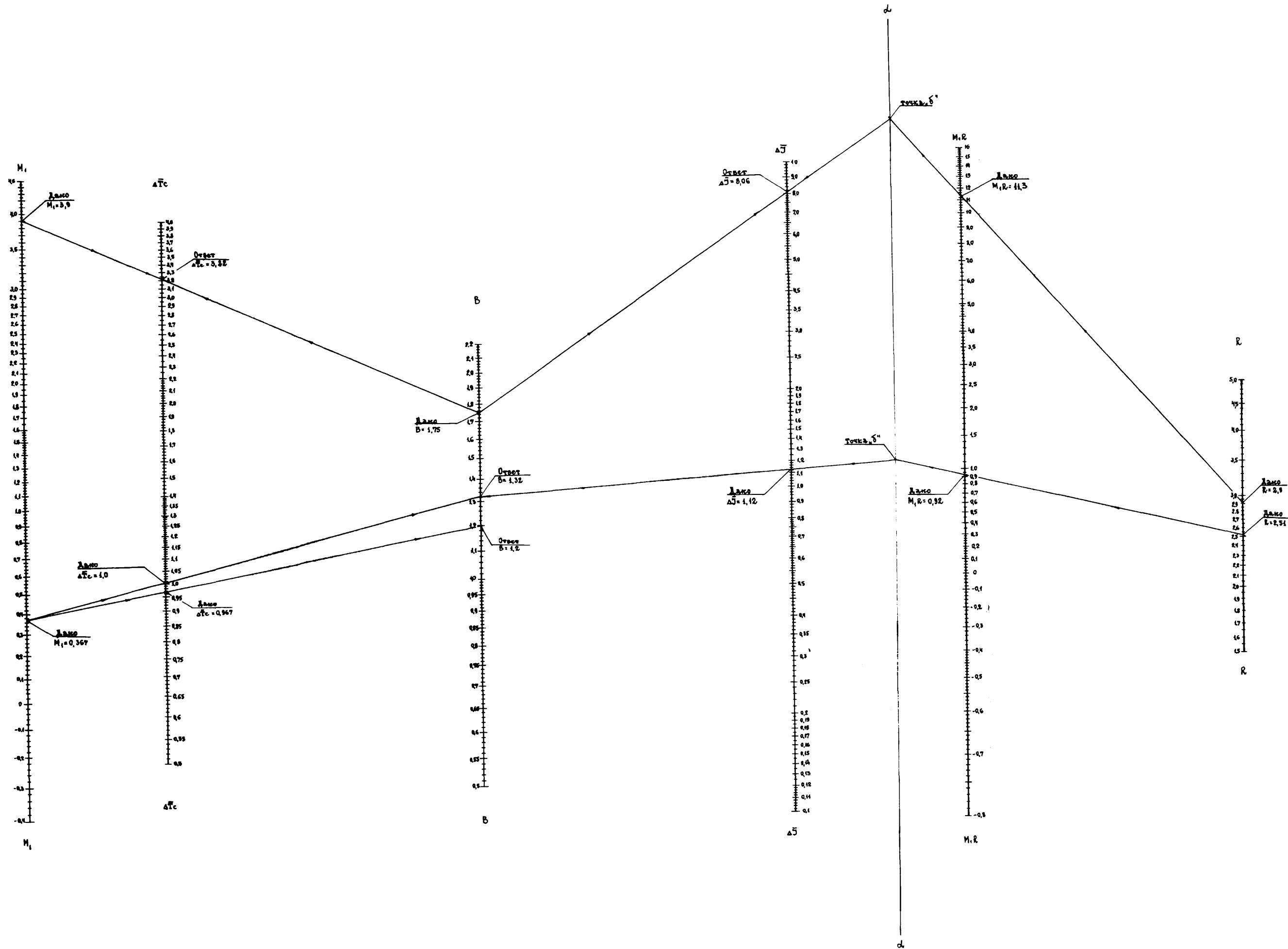
$q = 315$ имеем $P_0 = 0,8$ атм. Количество отведенного в камеру тепла составит

$$Q = w \Delta t_g = W (t_{\text{вн}} - t_{\text{вк}}) = 54500 \cdot 16,91 = 376000 \text{ ккал/ч.}$$

5. Конечная температура охлажденной воды равна

$$t_{\text{вк}} = t_{\text{вн}} + \Delta \bar{T}_g (t_{\text{с}} - t_p) = 30 - 0,345 \times 20 = 23,1^\circ\text{C}.$$

На этом теплотехнический расчет считается законченным.



Номотрамма 1

Номотрамма для расчёта процессов с понижением теплодержания воздуха в оросительных камерах по методу к.т.н. Л.М. Эусмановича.
Диаметр форсунок 4,5 ÷ 5,0 мм.

Составлена по формулам:
 $\Delta J = 0,67 (1 + M_1 R) R^{-0,3} B^{0,53}$
 $\Delta T_c = (0,75 + 0,49 M_1) B^{0,35}$

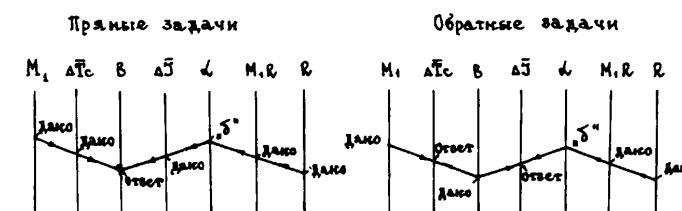
$d_{fo} = 4,5 \div 5,0$ мм; $n = 13 \div 18$ шт/м² ряд; $z = 2 \div 3$ ряда, взаимовстречное распыление воды; $35 \geq (t_c - t_p) \geq 2,0$ °C.

$\Delta J = \frac{J_1 - J_2}{0,24(t_{c1} - t_p)}$; $\Delta T_c = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_p}$; $M_1 = \frac{t_p - t_{вн}}{t_{c1} - t_p}$;

$R = 1 + 2,34 \alpha$; $\alpha = \frac{P_n - P_{вн}}{t_p - t_{вн}}$ мм рт.ст./град;

B - коэффициент орошения.

Схема решения теплотехнических задач



Пример 1 (прямая задача)

Дано: $t_{c1} = 28,5$ °C, $J_1 = 12,9$ ккал/кг; $t_p = 13,5$ °C;
 $\Delta t_p = 28,5 - 13,5 = 15$ °C; $t_{c2} = 13,5$ °C; $J_2 = 8,86$ ккал/кг

Определить: B и т.н.

Решение.

- $\Delta J = \frac{12,9 - 8,86}{0,24 \cdot 15} = 1,12$; $\Delta T_c = \frac{28,5 - 13,5}{15} = 1,0$;
- При $t_{вн} = 8$ °C; $M_1 = \frac{13,5 - 8}{28,5 - 13,5} = 0,367$
- При $t_p - t_{вн} = 5,5$ °C и $t_{вн} = 8$ °C; $R = 2,51$; $M_1 R = 0,92$.
- При $R = 2,51$; $M_1 R = 0,92$ и $\Delta J = 1,12$, $B_2 = 1,32$.
- При $M_1 = 0,367$ и $\Delta T_c = 1,0$, $B = B_2 = 1,32$.
- Так как $B_2 = B_2 = 1,32$, то окончательно принимаем $B = B_2 = 1,32$.

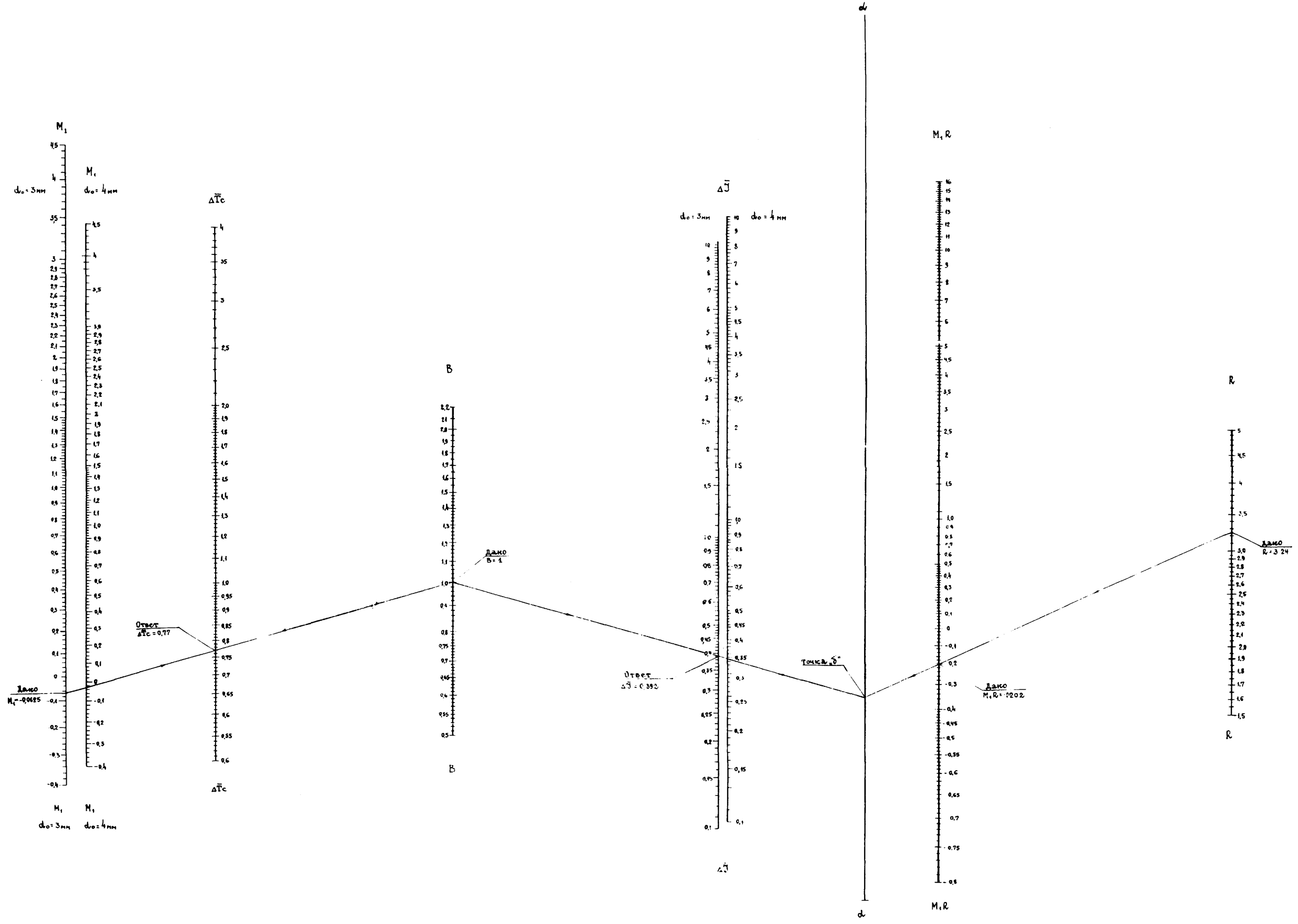
Пример 3 (обратная задача)

Дано: $t_{c1} = 26$ °C; $J_1 = 16,7$ ккал/кг; $t_p = 22$ °C; $t_{вн} = 6,4$ °C;
 $B = 1,75$; $\Delta t_p = t_{c1} - t_p = 4$ °C.

Определить: J_2 (ΔJ) и t_{c2} (ΔT_c).

Решение.

- При $t_p - t_{вн} = 22 - 6,4 = 15,6$ °C и $t_p = 22$ °C, $R = 2,9$.
- $M_1 = \frac{22 - 6,4}{26 - 22} = 3,9$, $M_1 R = 3,9 \cdot 2,9 = 11,3$
- При $B = 1,75$ и $M_1 = 3,9$ $\Delta T_c = 3,22$.
- $t_{c2} = t_{c1} - \Delta T_c (t_{c1} - t_p) = 26 - 3,22 \cdot 4 = 13,1$ °C.
- При $B = 1,75$, $M_1 R = 11,3$, $R = 2,9$ $\Delta J = 8,06$.
- $J_2 = J_1 - \Delta J C_p (t_{c1} - t_p) = 8,93$ ккал/кг.



Номограмма 2

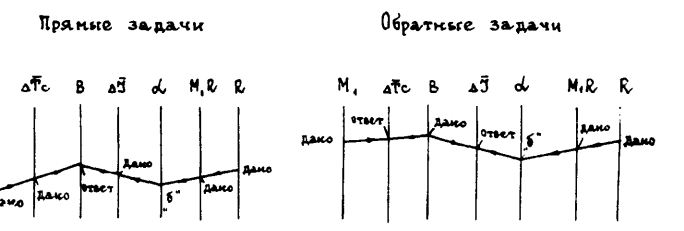
Номограмма для расчета процессов с понижением
теплосодержания воздуха в оросительных
камерах по методу ктн Л.М. Зусмановича.
Диаметр форсунок 3,0-4,0 мм

Составлена по формулам:

Для $d_0 = 3.0 \text{ мм}$
 $\Delta \bar{J} = 0.7 (1 + M_1 R) R^{-0.3} B^{0.62}$, $\Delta \bar{T}_c = (0.8 + 0.46 M_1) B^{0.33}$
 Для $d_0 = 4.0 \text{ мм}$
 $\Delta \bar{J} = 0.62 (1 + M_1 R) R^{-0.3} B^{0.56}$; $\Delta \bar{T}_c = (0.76 + 0.38 M_1) B^{0.3}$
 $n = 13 - 16 \text{ шт/м}^2 \text{ ряд}$ $z = 2-3 \text{ ряда}$,

Взаимовстречное распыление воды, $35 \geq (t_c - t_p) \geq 2.0^\circ \text{C}$,
 $\Delta \bar{J} = \frac{J_1 - J_2}{0.24(t_c - t_p)}$; $\Delta \bar{T}_c = \frac{t_c - t_{c2}}{t_c - t_p}$; $M_1 = \frac{t_p - t_{вн}}{t_c - t_p}$; $R = 1 + 2.34 \alpha$;
 $\alpha = \frac{P_n - P_{вн}}{t_p - t_{вн}}$ мм рт. ст./град.
 B - коэффициент орошения.

Схемы решения теплотехнических задач



Пример.
 Дано: $t_{c1} = 33^\circ \text{C}$, $J_1 = 15.4 \text{ ккал/кг}$; $t_p = 17^\circ \text{C}$;
 $t_{вн} = 18^\circ \text{C}$; $B = 1$; $\Delta t_p = 33 - 17 = 16$, $d_0 = 3.0 \text{ мм}$
 Определить: J_2 ($\Delta \bar{J}$) и t_{c2} ($\Delta \bar{T}_c$).

- Решение.
- 1 При $t_p - t_{вн} = 17 - 18 = -1^\circ \text{C}$ и $t_p = 17^\circ \text{C}$; $R = 3.24$.
 - 2 $M_1 = \frac{17 - 18}{33 - 17} = -0.0625$, $M_1 R = -0.202$.
 - 3 При $B = 1.0$ и $M_1 = -0.0625$, $\Delta \bar{T}_c = 0.77$
 - 4 $t_{c2} = t_c - \Delta \bar{T}_c (t_c - t_p) = 33 - 0.77 \cdot 16 = 20.7^\circ \text{C}$
 - 5 При $R = 3.24$, $M_1 R = -0.202$, $B = 1$ $\Delta \bar{J} = 0.392$.
 - 6 $J_2 = J_1 - \Delta \bar{J} c_p (t_c - t_p) = 15.4 - 0.392 \cdot 0.24 \cdot 16 = 13.89 \text{ ккал/кг}$
 - 7 $t_{вк} = t_{вн} + \frac{\Delta \bar{J}}{B} = 18 + 1.51 = 19.5^\circ \text{C}$.

Номограмма 3.

Номограмма для расчета процессов с понижением теплосодержания воздуха в двухступенчатых орошительных камерах по методу к.т.н. Л.М. Зусмановича.

Составлена по формулам:

$$\Delta \bar{J} = 0,88 (1 + M, R) R^{-0,3} B^{0,55}$$

$$\Delta \bar{T}_c = (0,85 + 0,64 M, R) B^{0,25}$$

$$d_o = 4,5 \div 5,0 \text{ мм}; \quad n = 13 \div 18 \text{ шт/м}^2 \text{ ряд}; \quad Z = 2 \div 3 \text{ ряда};$$

$$35 \leq (t_c - t_p) \leq 2,0,$$

$$\Delta \bar{J} = \frac{J_1 - J_2}{0,24(t_{c1} - t_p)}; \quad \Delta \bar{T}_c = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_p}; \quad M_i = \frac{t_p - t_{вн}}{t_{c1} - t_p};$$

$$R = 1 + 2,34 \alpha; \quad \alpha = \frac{P_n - P_{вн}}{t_p - t_{вн}} \text{ мм рт.ст./град.}$$

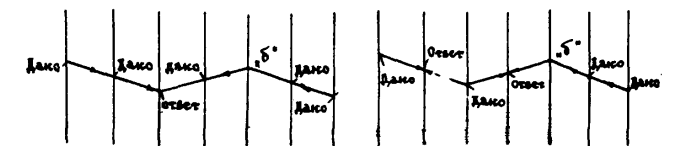
B - коэффициент орошения.

Схемы решения теплотехнических задач.

Прямые задачи.

Обратные задачи

M, $\Delta \bar{T}_c$ B $\Delta \bar{J}$ α M, R R M, $\Delta \bar{T}_c$ B $\Delta \bar{J}$ α M, R R



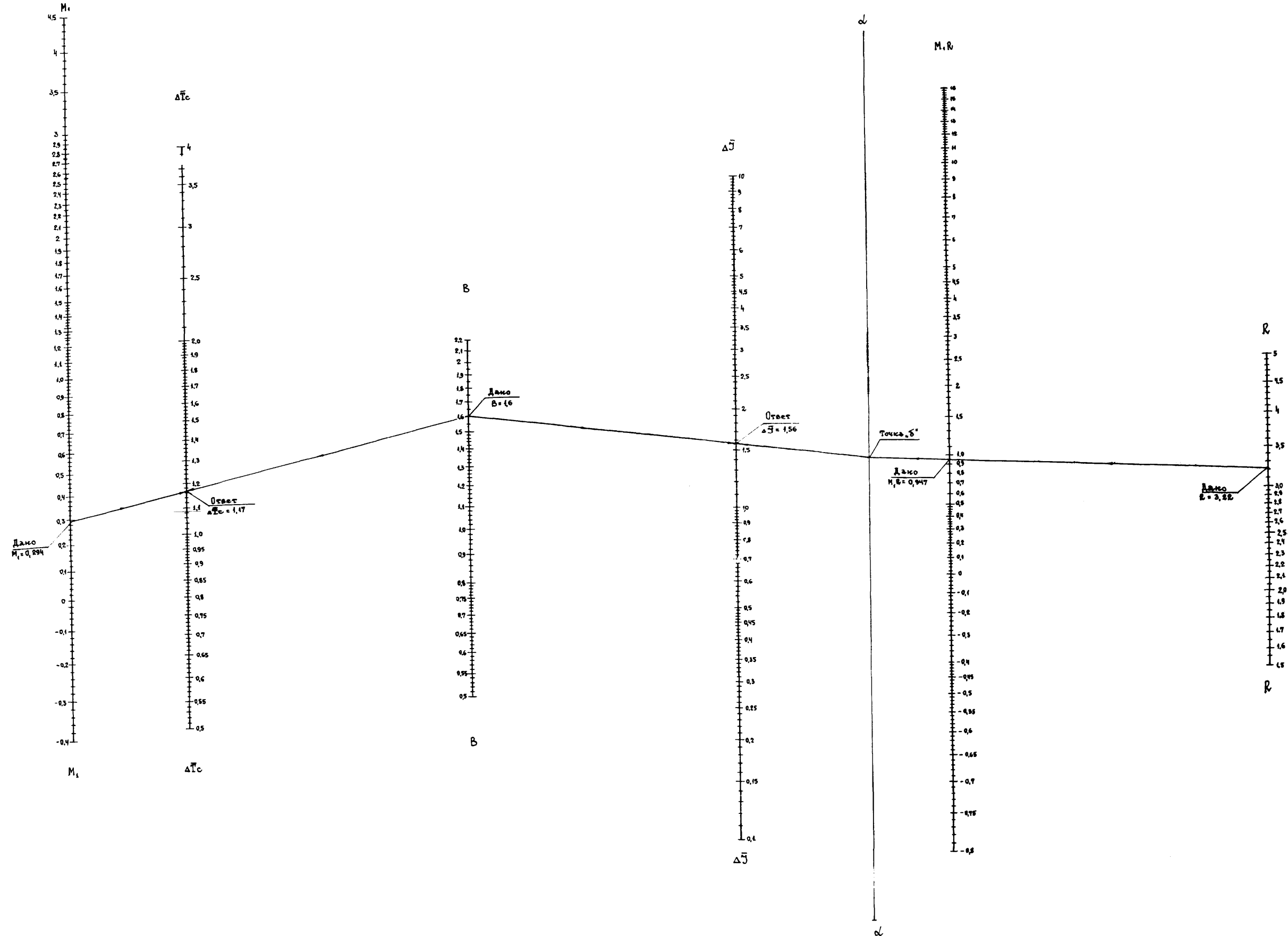
Пример (обратная задача)

Дано: $t_{c1} = 37^\circ \text{C}$; $t_{c2} = 17,9^\circ \text{C}$; $t_p = 20^\circ \text{C}$; $t_{вн} = 15^\circ \text{C}$; B = 16;
 $\Delta t_p = 37 - 20 = 17^\circ \text{C}$.

Определить: J_2 ($\Delta \bar{J}$); t_{c2} ($\Delta \bar{T}_c$).

Решение.

1. При $t_{вн} = 15^\circ \text{C}$, $t_p - t_{вн} = 5^\circ \text{C}$ $R = 3,22$. 2. $M_i = \frac{20 - 15}{37 - 20} = 0,294$;
 $M, R = 0,294 \cdot 3,22 = 0,947$. 3. При B = 16, $M_i = 0,294$ $\Delta \bar{T}_c = 1,17$.
4. $t_{c2} = t_{c1} - \Delta \bar{T}_c (t_{c1} - t_p) = 37 - 1,17 \cdot 17 = 17,15^\circ \text{C}$.
5. При $R = 3,22$, $M, R = 0,947$ и B = 16 $\Delta \bar{J} = 1,56$.
6. $J_2 = J_1 - \Delta \bar{J} c_p (t_{c1} - t_p) = 17,9 - 1,56 \cdot 0,24 \cdot 17 = 11,53 \text{ ккал/кг}$.
7. $t_{вк} = t_{вн} + \frac{\Delta \bar{J}}{B} = 15 + \frac{1,56}{16} = 15,97^\circ \text{C}$.



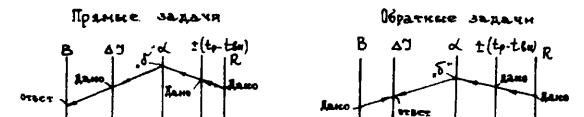
Номограмма 4

Номограмма для расчета процессов охлаждения и нагрева насыщенного воздуха в приточных камерах по методу к.т.н. Л.М. Зусмановича.

Составлена по формулам

Для процессов охлаждения $\Delta J = 0,167 (t_p - t_{вн}) R^{0,7} B^{0,53}$
 Для процессов нагрева $\Delta J = 0,14 (t_p - t_{вн}) R^{0,7} B^{0,53}$
 $d_0 = 4,5 \div 5,0 \text{ мм}$; $Z = 2 \div 3 \text{ ряда}$; $n = 13 \div 18 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ рад}$;
 $\Delta J = J_1 - J_2 \text{ ккал/кг}$; B - коэффициент орошения.

Схемы решения теплотехнических задач



Пример (охлаждение насыщенного воздуха)

Дано: $t_{с1} = 15^\circ\text{C}$, $J_1 = 10,2 \text{ ккал/кг}$, $t_p = 15^\circ\text{C}$, $\varphi_1 = 100\%$,
 $t_{вн} = 2^\circ\text{C}$, $B = 1,5$.

Определить: J_2 (ΔJ), $t_{вк}$.

Решение

- $t_p - t_{вн} = 15 - 2 = 13^\circ\text{C}$.
- При $(t_p - t_{вн}) = 13^\circ\text{C}$ и $t_p = 15^\circ\text{C}$ находим $R = 2,36$.
- При $R = 2,36$, $(t_p - t_{вн}) = 13^\circ\text{C}$ и $B = 1,5$ находим $\Delta J = 4,61 \text{ ккал/кг}$.
- $J_2 = J_1 - \Delta J = 10,2 - 4,61 = 5,59 \text{ ккал/кг}$; $t_{с2} = 7,2^\circ\text{C}$.
- $t_{вк} = t_{вн} + \frac{\Delta J}{B} = 2 + 3,1 = 5,1^\circ\text{C}$.

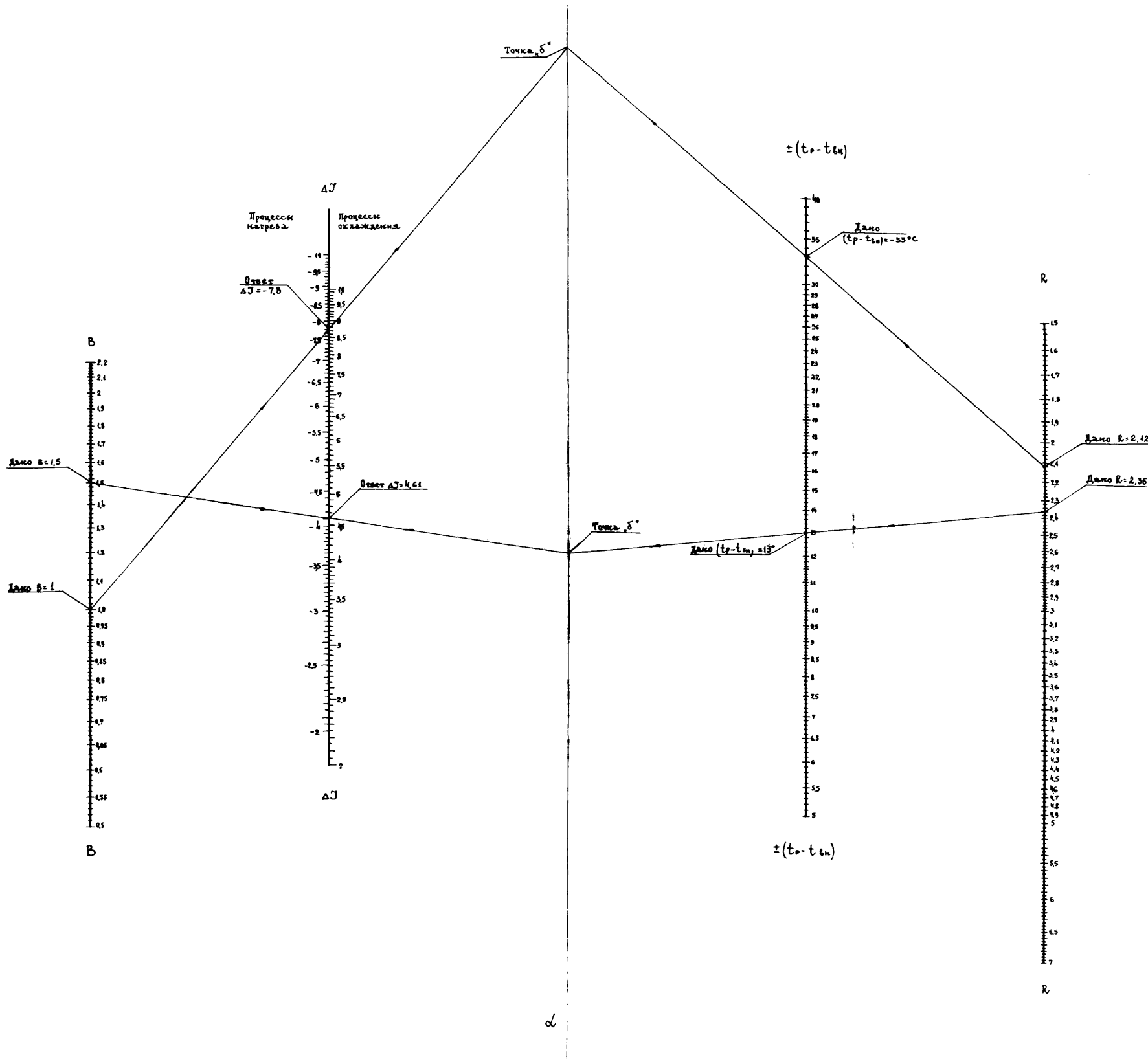
Пример (нагрев насыщенного воздуха)

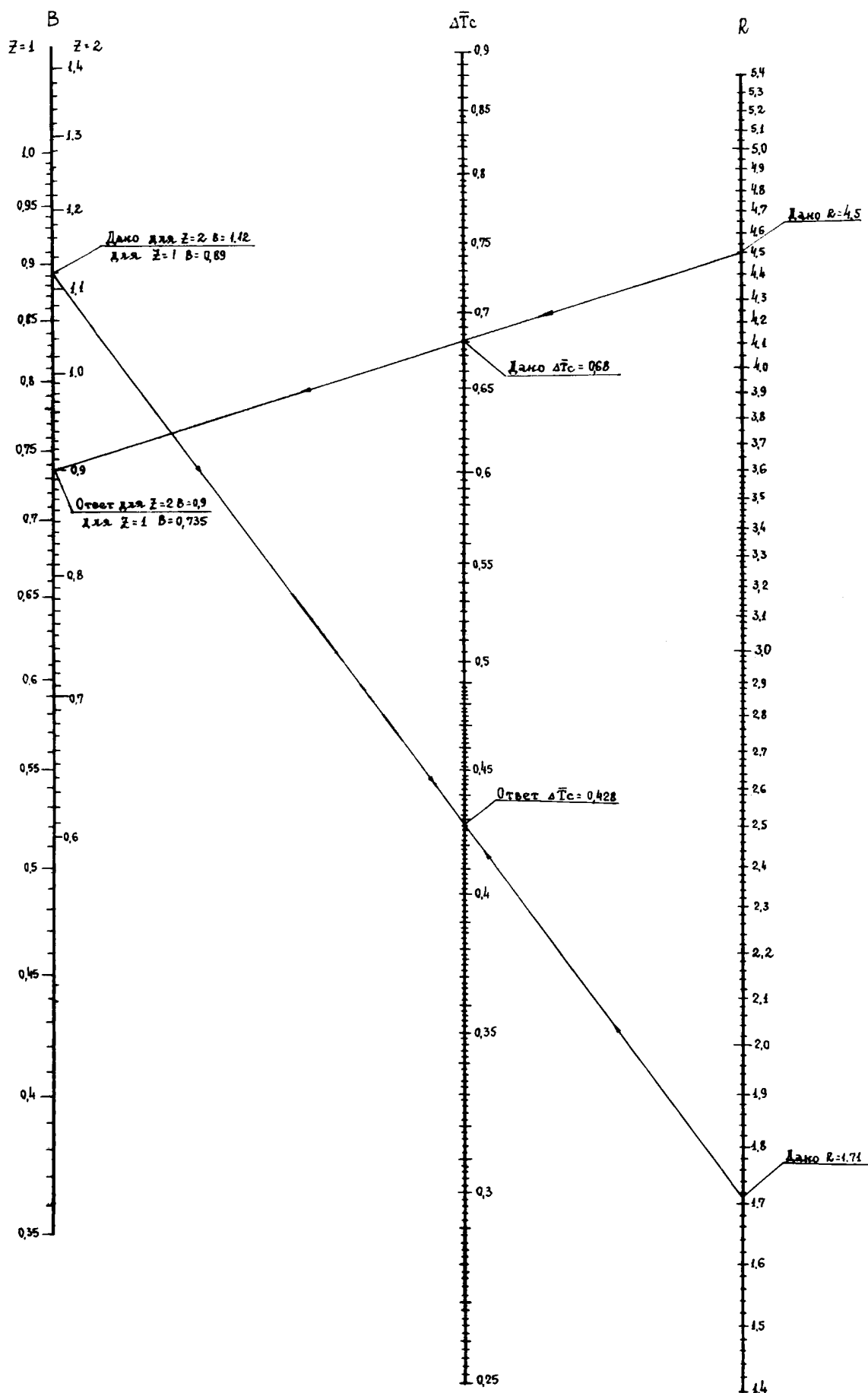
Дано: $t_{с1} = 13^\circ\text{C}$, $J_1 = -2,4 \text{ ккал/кг}$, $t_p = -13^\circ\text{C}$,
 $t_{вн} = 20^\circ\text{C}$, $B = 1,0$.

Определить J_2 (ΔJ) и $t_{вк}$.

Решение

- $t_p - t_{вн} = -13 - 20 = -33^\circ\text{C}$.
- При $(t_p - t_{вн}) = -33^\circ\text{C}$ и $t_{вн} = 20^\circ\text{C}$ находим $R = 2,12$.
- При $R = 2,12$, $(t_p - t_{вн}) = -33^\circ\text{C}$ и $B = 1,0$ находим $\Delta J = -7,8 \text{ ккал/кг}$.
- $J_2 = J_1 - \Delta J = -2,4 + 7,8 = +5,4 \text{ ккал/кг}$, $t_{с2} = 6,8^\circ\text{C}$.
- $t_{вк} = t_{вн} + \Delta J = 20 - 7,8 = 12,2^\circ\text{C}$.





Номограмма 5

Номограмма для расчета процессов адиабатического увлажнения воздуха в оросительных камерах по методу к.т.н. Л.М. Зусмановича.

Составлена по формулам:

Для однорядных камер ($Z=1$) $\Delta T_c = 0,331 B^{0,4} R^{0,56}$

Для двухрядных камер ($Z=2$) $\Delta T_c = 0,304 B^{0,35} R^{0,56}$

$d_o = 45 \div 50$ мм, $n = 13 \div 18$ м²/м² ряд.

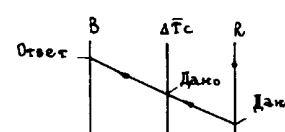
$\Delta T_c = \frac{t_{c1} - t_{c2}}{t_{c1} - t_p}$; $R = 1 + 2,34\alpha$; $\alpha = \frac{P_n - P_m}{t_p - t_m}$;

B - коэффициент орошения; $4 \leq (t_c - t_p) \leq 50$ °C.

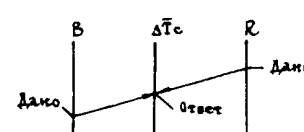
Для значений $R < 2,7$ (эвклидов режим) в расчетные формулы вводится поправка „ β “ см. график на рис. 5.

Схемы решения теплотехнических задач

Прямые задачи



Обратные задачи



Пример (прямая задача)

Дано: Воздух $t_c = 33,5$ °C, $t_m = 27$ °C, $t_p = 24,9$ °C

охлаждается до $t_{c2} = 27,65$ °C,

$d_o = 50$ мм.

Определить Коэффициент орошения B .

Решение

1. $\Delta T_c = \frac{33,5 - 27,65}{33,5 - 24,9} = 0,68$ 2. При $t_p - t_m = t_p - t_m = -2,1$ °C, $t_p = 24,9$ °C находим $R = 4,5$.

3. При $R = 4,5$ и $\Delta T_c = 0,68$ находим $B = 0,735$ для $Z = 1$,
 $B = 0,9$ для $Z = 2$.

Пример. (обратная задача)

Дано: $t_{c1} = 16,8$ °C, $t_m = 6$ °C, $t_p = -10$ °C, $B = 1,12$, $Z = 2$, $d_o = 50$ мм.

Определяется: t_{c2} (ΔT_c)

Решение

1. При $t_p - t_m = -10 - 6 = -16$ °C и $t_p = -10$ °C

находим $R = 1,71$

2. При $R = 1,71$ и $B = 1,12$ находим $\Delta T_c = 0,428$

3. По рис. 5 при $R = 1,71$ находим $\beta = 0,86$.

4. Определяем действительное $\Delta T_{c2} = 0,428 \cdot 0,86 = 0,367$

5. $t_{c2} = t_{c1} - \Delta T_{c2} (t_{c1} - t_p) = 16,8 - 0,367 (16,8 + 10) \approx 7,0$ °C.

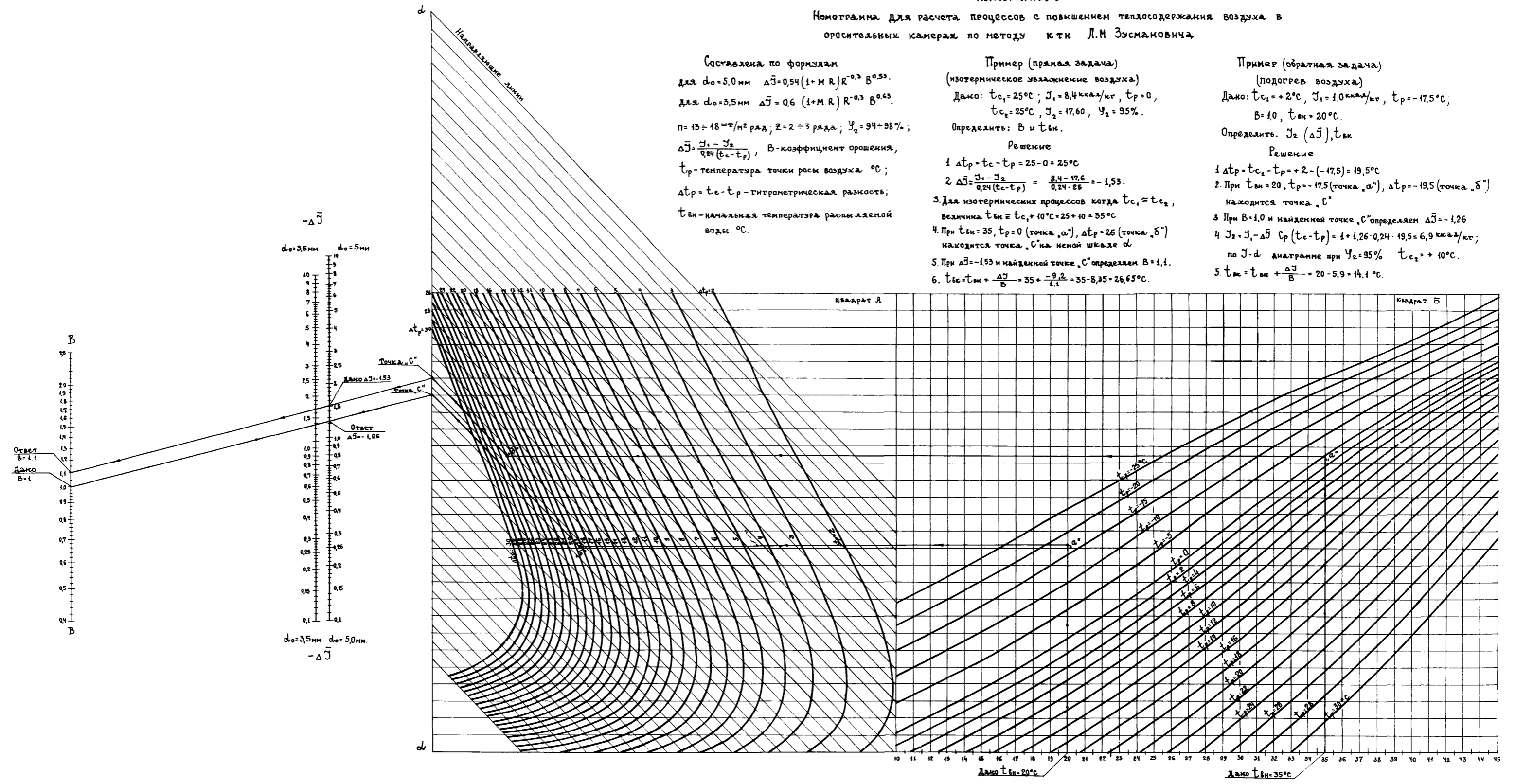
Номограмма б

Номограмма для расчета процессов с повышением теплосодержания воздуха в оросительных камерах по методу ктк Л.М Зусмановича

Составлена по формулам
 для $d_0=5,0$ мм $\Delta \bar{J} = 0,54 (1 + M R) R^{-0,3} B^{0,53}$.
 для $d_0=3,5$ мм $\Delta \bar{J} = 0,6 (1 + M R) R^{-0,3} B^{0,63}$.
 $n = 13 \div 18$ шт/м² ряд; $Z = 2 \div 3$ ряда; $U_2 = 94 \div 98\%$;
 $\Delta \bar{J} = \frac{J_1 - J_2}{0,24 (t_c - t_p)}$, B - коэффициент орошения,
 t_p - температура точки росы воздуха °С;
 $\Delta t_p = t_c - t_p$ - психрометрическая разность;
 $t_{вн}$ - начальная температура распыляемой воды °С.

Пример (прямая задача)
 (изотермическое увлажнение воздуха)
 Дано: $t_{c1} = 25^\circ\text{С}$; $J_1 = 8,4$ ккал/кг, $t_p = 0$,
 $t_{c2} = 25^\circ\text{С}$, $J_2 = 17,60$, $U_2 = 95\%$.
 Определить: B и $t_{вн}$.
 Решение
 1 $\Delta t_p = t_c - t_p = 25 - 0 = 25^\circ\text{С}$
 2 $\Delta \bar{J} = \frac{J_1 - J_2}{0,24 (t_c - t_p)} = \frac{8,4 - 17,6}{0,24 \cdot 25} = -1,53$.
 3. Для изотермических процессов когда $t_{c1} \approx t_{c2}$,
 величина $t_{вн} \approx t_{c1} + 10^\circ\text{С} = 25 + 10 = 35^\circ\text{С}$.
 4. При $t_{вн} = 35$, $t_p = 0$ (точка „а“); $\Delta t_p = 25$ (точка „б“) находится точка „с“ на неной шкале d
 5. При $\Delta \bar{J} = -1,53$ и найденной точке „с“ определяем $B = 1,1$.
 6. $t_{вн} = t_{вн} + \frac{\Delta \bar{J}}{B} = 35 + \frac{-1,53}{1,1} = 35 - 1,39 = 33,61^\circ\text{С}$.

Пример (обратная задача)
 (подогрев воздуха)
 Дано: $t_{c1} = +2^\circ\text{С}$, $J_1 = 1,0$ ккал/кг, $t_p = -17,5^\circ\text{С}$;
 $B = 1,0$, $t_{вн} = 20^\circ\text{С}$.
 Определить: J_2 ($\Delta \bar{J}$), $t_{вн}$
 Решение
 1 $\Delta t_p = t_{c1} - t_p = 2 - (-17,5) = 19,5^\circ\text{С}$
 2. При $t_{вн} = 20$, $t_p = -17,5$ (точка „а“), $\Delta t_p = 19,5$ (точка „б“) находится точка „с“
 3. При $B = 1,0$ и найденной точке „с“ определяем $\Delta \bar{J} = -1,26$
 4 $J_2 = J_1 - \Delta \bar{J} \cdot 0,24 \cdot (t_c - t_p) = 1 + 1,26 \cdot 0,24 \cdot 19,5 = 6,9$ ккал/кг;
 по J - d диаграмме при $U_2 = 95\%$ $t_{c2} = +10^\circ\text{С}$.
 5. $t_{вн} = t_{вн} + \frac{\Delta \bar{J}}{B} = 20 - 1,26 = 18,74^\circ\text{С}$.



Номограмма б

Номограмма 7.

Номограмма для расчета охлаждения воды в оросительных камерах по методу к.т.н. Л.М. Зусмановича.

Составлена по формулам:
 Для $d_o = 3,5 \text{ мм}$ $\Delta \bar{T}_g = 0,15(1 + M_1 R) R^{-0,3} B^{-0,37}$
 Для $d_o = 5,0 \text{ мм}$ $\Delta \bar{T}_g = 0,136(1 + M_1 R) R^{-0,3} B^{-0,47}$
 $n = 13-18 \text{ шт/м}^2 \text{ ряд}$; $Z = 2-3 \text{ ряда}$;
 встречное распыление воды;
 $\Delta \bar{T}_g = \frac{t_{вк} - t_{вн}}{t_c - t_p}$; $M_1 = \frac{t_p - t_{вн}}{t_c - t_p}$;
 $\Delta t_p = t_c - t_p$; $R = 1 + 2,34 \alpha$;
 $\alpha = \frac{P_n - P_{вн}}{t_p - t_{вн}} \text{ мм рт.ст./град}$;
 B - коэффициент орошения;

$t_{вн}$ - начальная температура воды, град;
 $t_{вк}$ - конечная температура воды, град;
 t_p - температура точки росы воздуха.

Пример (прямая задача)
 Дано: $t_c = 28,5^\circ\text{C}$; $J_1 = 12,9 \text{ ккал/кг}$; $t_p = 13,5^\circ\text{C}$; $t_{вн} = 19^\circ\text{C}$
 $t_{вк} = 28^\circ\text{C}$; $t_{вк} = 24^\circ\text{C}$; $Z = 2$; $d_o = 3,5$; $d_o = 5,0 \text{ мм}$

Определить: B .
 Решение.
 1. Находим $\Delta t_p = t_c - t_p = 28,5 - 13,5 = 15^\circ\text{C}$.
 2. Находим $\Delta \bar{T}_g = \frac{24 - 28}{28,5 - 13,5} = -0,267$.
 3. При $t_{вн} = 28^\circ\text{C}$; $t_p = 13,5^\circ\text{C}$; $\Delta t_p = 15^\circ\text{C}$ и $\Delta \bar{T}_g = -0,267$
 определяем $B = 0,94$ для $d_o = 3,5 \text{ мм}$; $B = 0,77$ для $d_o = 5,0 \text{ мм}$.

Пример (обратная задача)

Дано: $t_c = 24^\circ\text{C}$; $J_1 = 8,85 \text{ ккал/кг}$; $t_p = 4^\circ\text{C}$; $t_{вн} = 13^\circ\text{C}$;
 $B = 0,8$; $\Delta t = t_{вн} - t_{вк} = 6,9$; $d_o = 5,0 \text{ мм}$; $Z = 2$.

Определить: $t_{вн}$ и $t_{вк}$, при $\Delta t_g = 6,9^\circ\text{C}$.

Решение.

- Находим $\Delta t_p = t_c - t_p = 24 - 4 = 20^\circ\text{C}$.
- Находим $\Delta \bar{T}_g = \frac{t_{вк} - t_{вн}}{t_c - t_p} = \frac{-\Delta t_g}{\Delta t_p} = \frac{-6,9}{24 - 4} = -0,345$.
- При $B = 0,8$, $\Delta \bar{T}_g = -0,345$, $\Delta t_p = 20^\circ\text{C}$ и $t_p = 4^\circ\text{C}$
определяем $t_{вн} = 30^\circ\text{C}$.
- $t_{вк} = t_{вн} - \Delta t_g = 30 - 6,9 = 23,1^\circ\text{C}$.

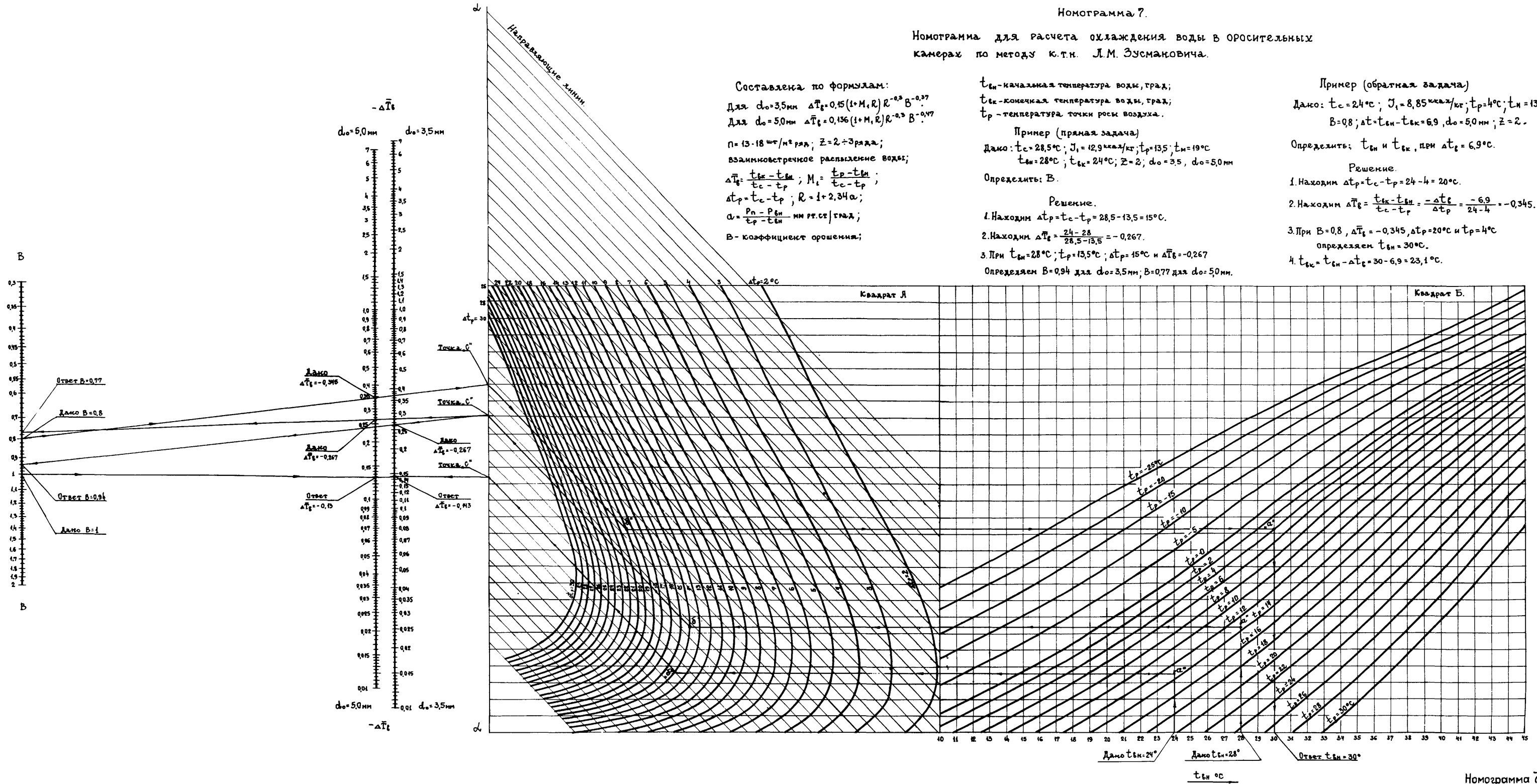


Диаграмма 1

Диаграмма для определения критерия R

$$R = 1 + a \frac{t_{\text{вп}} - t_{\text{вн}}}{t_p - t_{\text{вн}}} = 1 + 2,34a,$$

$$a = \frac{P_{\text{п}} - P_{\text{вн}}}{t_p - t_{\text{вн}}};$$

$P_{\text{п}}$ и $P_{\text{вн}}$ - парциальное давление
водяных паров в состоянии
насыщения при t_p и $t_{\text{вн}}$ в мм рт.ст.;

t_p - температура точки росы;

$t_{\text{вн}}$ - температура (поверхности)
распыляемой воды.

Пример

дано: $t_p = 22^\circ\text{C}$, $t_{\text{вн}} = 6,4^\circ\text{C}$,

$$t_p - t_{\text{вн}} = 22 - 6,4 = 15,6^\circ\text{C}$$

по диаграмме $R = 2,9$

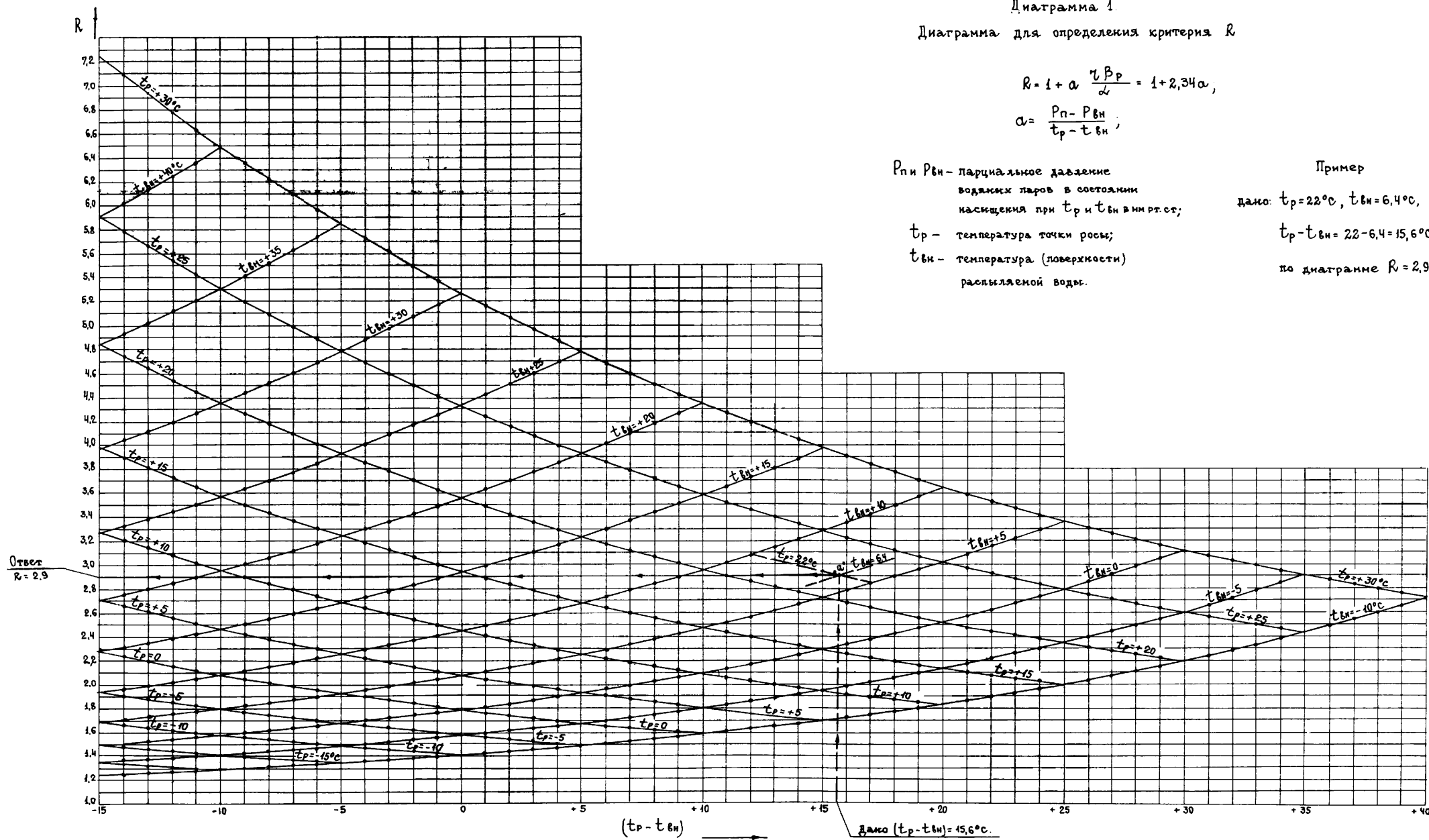


Диаграмма 1.

Диаграмма 2
Диаграмма для определения критерия R

$$R = 1 + \alpha \frac{\nu \beta p}{\alpha} = 1 + 2,34 \alpha;$$

$$\alpha = \frac{p_n - p_{вн}}{t_p - t_{вн}};$$

p_n и $p_{вн}$ - парциальное давление водяных паров в состоянии насыщения при t_p и $t_{вн}$ в мм рт.ст.
 t_p - температура точки росы
 $t_{вн}$ - температура (поверхности) расширяемой среды.

Пример.
 Дано $t_p = -17,5$; $t_{вн} = +20^\circ$
 при $t_p - t_{вн} = -17,5 - 20 = -37,5^\circ\text{C}$ и $t_{вн} = 20^\circ\text{C}$.
 по диаграмме $R = 2,02$.

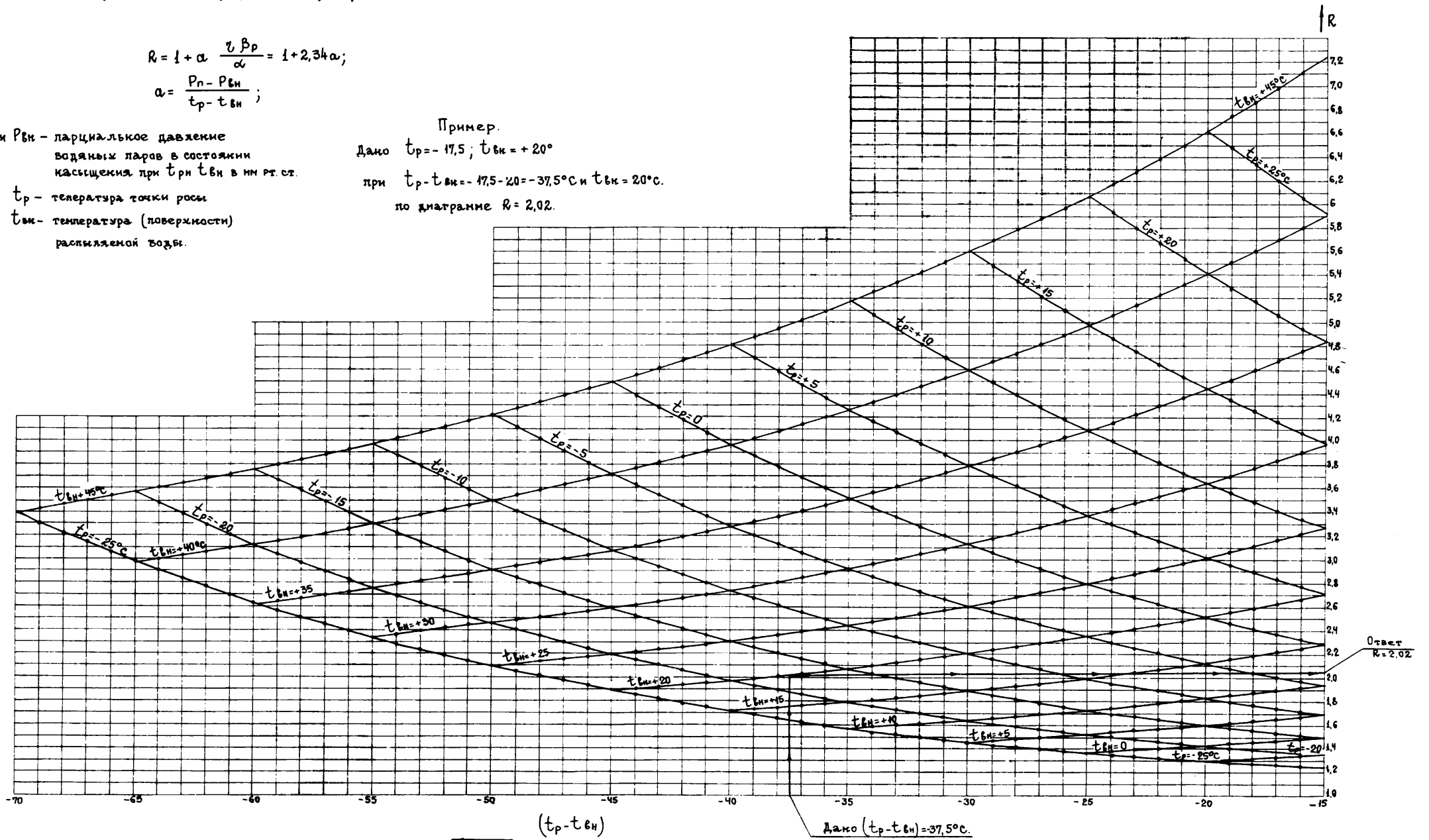


Диаграмма 2.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица № 18
 Значения коэффициента орошения в B степени n (B^n)

B	n							
	0,25	0,3	0,33	0,35	0,37	0,4	0,47	0,53
0,5	0,841	0,812	0,796	0,785	0,774	0,758	0,722	0,693
0,55	0,861	0,836	0,821	0,811	0,802	0,787	0,755	0,728
0,6	0,880	0,858	0,845	0,836	0,828	0,815	0,787	0,763
0,65	0,898	0,879	0,868	0,860	0,853	0,842	0,817	0,796
0,7	0,915	0,898	0,889	0,883	0,876	0,867	0,846	0,828
0,75	0,931	0,917	0,910	0,904	0,899	0,891	0,874	0,858
0,8	0,946	0,935	0,929	0,925	0,921	0,914	0,900	0,888
0,85	0,960	0,952	0,948	0,945	0,942	0,937	0,926	0,917
0,9	0,974	0,969	0,966	0,964	0,962	0,959	0,952	0,946
0,95	0,987	0,985	0,983	0,982	0,981	0,980	0,976	0,973
1,00	1	1	1	1	1	1	1	1
1,05	1,012	1,015	1,016	1,017	1,018	1,020	1,023	1,026
1,1	1,024	1,029	1,032	1,034	1,036	1,039	1,046	1,052
1,15	1,036	1,043	1,047	1,050	1,053	1,058	1,068	1,077
1,20	1,047	1,056	1,062	1,066	1,070	1,076	1,089	1,102
1,25	1,057	1,069	1,076	1,081	1,086	1,093	1,110	1,126
1,30	1,068	1,082	1,090	1,096	1,102	1,110	1,131	1,149
1,35	1,078	1,094	1,104	1,111	1,118	1,127	1,152	1,172
1,40	1,087	1,106	1,117	1,125	1,133	1,144	1,171	1,175
1,45	1,097	1,118	1,130	1,139	1,148	1,161	1,191	1,218
1,50	1,106	1,129	1,143	1,153	1,162	1,176	1,210	1,240

(см. продолжение)

Таблица №18 (продолжение)
 Значения коэффициента орошения в степени n (B^n)

B	n							
	0,25	0,3	0,33	0,35	0,37	0,4	0,47	0,53
1,55	1,116	1,140	1,156	1,166	1,176	1,191	1,229	1,260
1,6	1,125	1,151	1,168	1,179	1,190	1,207	1,248	1,280
1,65	1,133	1,162	1,180	1,191	1,203	1,222	1,266	1,300
1,7	1,142	1,173	1,192	1,204	1,217	1,237	1,283	1,325
1,75	1,150	1,183	1,203	1,216	1,230	1,251	1,301	1,345
1,8	1,158	1,193	1,215	1,228	1,243	1,265	1,318	1,366
1,85	1,166	1,203	1,226	1,240	1,256	1,279	1,335	1,386
1,9	1,174	1,213	1,236	1,252	1,269	1,293	1,352	1,406
1,95	1,182	1,222	1,246	1,263	1,280	1,306	1,369	1,425
2,0	1,189	1,231	1,257	1,274	1,292	1,319	1,386	1,444
2,05	1,197	1,240	1,268	1,285	1,304	1,332	1,402	1,463
2,10	1,204	1,249	1,277	1,296	1,316	1,346	1,417	1,482
2,15	1,211	1,258	1,287	1,307	1,327	1,358	1,433	1,500
2,20	1,218	1,267	1,297	1,318	1,339	1,371	1,448	1,519
2,25	1,225	1,276	1,307	1,328	1,350	1,383	1,464	1,537
2,30	1,232	1,284	1,317	1,338	1,361	1,395	1,479	1,555
2,35	1,238	1,292	1,326	1,349	1,372	1,407	1,494	1,573
2,40	1,245	1,300	1,335	1,359	1,382	1,419	1,509	1,591

Таблица 18. продолжение
 Значения коэффициента орошения B в степени n (B^n)

B	n					B	n				
	0,55	0,56	0,6	0,62	0,63		0,55	0,56	0,6	0,62	0,63
0,5	0,688	0,678	0,660	0,651	0,646	1,55	1,273	1,278	1,301	1,313	1,318
0,55	0,720	0,716	0,699	0,690	0,686	1,6	1,295	1,301	1,326	1,339	1,345
0,6	0,755	0,751	0,736	0,728	0,725	1,65	1,317	1,324	1,351	1,365	1,371
0,65	0,789	0,786	0,772	0,766	0,762	1,7	1,339	1,346	1,375	1,391	1,396
0,7	0,822	0,819	0,807	0,802	0,799	1,75	1,360	1,368	1,399	1,416	1,422
0,75	0,854	0,851	0,842	0,837	0,834	1,8	1,381	1,390	1,423	1,440	1,448
0,8	0,884	0,882	0,875	0,871	0,869	1,85	1,403	1,411	1,446	1,464	1,473
0,85	0,914	0,913	0,907	0,904	0,903	1,9	1,425	1,432	1,470	1,489	1,498
0,9	0,944	0,943	0,938	0,937	0,936	1,95	1,444	1,453	1,493	1,513	1,523
0,95	0,972	0,972	0,970	0,969	0,968	2,0	1,464	1,474	1,516	1,537	1,547
1,00	1	1	1	1	1	2,05	1,484	1,495	1,538	1,561	1,571
1,05	1,028	1,027	1,037	1,03	1,031	2,10	1,504	1,515	1,560	1,584	1,595
1,10	1,054	1,055	1,059	1,06	1,062	2,15	1,524	1,535	1,582	1,607	1,619
1,15	1,08	1,081	1,087	1,09	1,091	2,20	1,543	1,555	1,604	1,630	1,643
1,20	1,108	1,107	1,115	1,119	1,121	2,25	1,562	1,575	1,626	1,653	1,666
1,25	1,131	1,133	1,143	1,148	1,151	2,30	1,581	1,594	1,648	1,676	1,690
1,30	1,156	1,158	1,170	1,177	1,180	2,35	1,600	1,614	1,670	1,699	1,715
1,35	1,180	1,183	1,197	1,204	1,208	2,40	1,618	1,633	1,690	1,721	1,736
1,40	1,203	1,207	1,224	1,232	1,236						
1,45	1,227	1,231	1,250	1,259	1,264						
1,50	1,250	1,255	1,276	1,286	1,291						

Таблица N 19
Значения критерия R в степени n (R^n)

R	R^n			R	R^n			R	R^n		
	$n=0,3$	$n=0,56$	$n=0,7$		$n=0,3$	$n=0,56$	$n=0,7$		$n=0,3$	$n=0,56$	$n=0,7$
1,0	1,000	1,000	1,000	2,10	0,801	1,515	1,681	3,20	0,705	1,918	2,257
1,05	0,988	1,028	1,035	2,15	0,795	1,535	1,709	3,25	0,702	1,935	2,282
1,10	0,972	1,055	1,069	2,20	0,789	1,555	1,737	3,30	0,699	1,952	2,307
1,15	0,959	1,081	1,103	2,25	0,784	1,575	1,764	3,35	0,696	1,968	2,331
1,20	0,947	1,108	1,136	2,30	0,779	1,594	1,792	3,40	0,693	1,985	2,355
1,25	0,935	1,133	1,169	2,35	0,774	1,614	1,819	3,45	0,690	2,001	2,380
1,30	0,924	1,158	1,201	2,40	0,769	1,633	1,845	3,50	0,687	2,017	2,404
1,35	0,914	1,183	1,234	2,45	0,764	1,652	1,873	3,55	0,684	2,032	2,428
1,40	0,904	1,207	1,266	2,50	0,760	1,670	1,899	3,60	0,681	2,048	2,451
1,45	0,894	1,231	1,297	2,55	0,756	1,689	1,925	3,65	0,678	2,065	2,475
1,50	0,886	1,255	1,328	2,60	0,751	1,708	1,952	3,70	0,675	2,081	2,499
1,55	0,877	1,278	1,359	2,65	0,746	1,726	1,978	3,75	0,673	2,096	2,523
1,60	0,868	1,301	1,390	2,70	0,742	1,744	2,004	3,80	0,670	2,112	2,546
1,65	0,861	1,323	1,420	2,75	0,738	1,762	2,030	3,85	0,667	2,127	2,569
1,70	0,853	1,346	1,450	2,80	0,734	1,780	2,056	3,90	0,665	2,143	2,593
1,75	0,846	1,368	1,479	2,85	0,730	1,798	2,082	3,95	0,662	2,159	2,617
1,80	0,838	1,390	1,509	2,90	0,727	1,815	2,107	4,0	0,660	2,174	2,640
1,85	0,831	1,411	1,538	2,95	0,723	1,832	2,132	4,05	0,657	2,189	2,663
1,90	0,825	1,432	1,568	3,0	0,719	1,850	2,158	4,10	0,655	2,204	2,685
1,95	0,819	1,453	1,596	3,05	0,716	1,867	2,183	4,15	0,653	2,219	2,708
2,00	0,813	1,474	1,625	3,10	0,712	1,885	2,208	4,20	0,650	2,234	2,730
2,05	0,806	1,495	1,653	3,15	0,709	1,901	2,232	4,25	0,648	2,249	2,753

(см. продолжение)

Таблица 119 (продолжение)
 Значения критерия R в степени n (R^n)

R	R^n			R	R^n			R	R^n		
	$n=0,3$	$n=0,56$	$n=0,7$		$n=0,3$	$n=0,56$	$n=0,7$		$n=0,3$	$n=0,56$	$n=0,7$
4,30	0,646	2,263	2,776	5,35	0,605	2,558	3,235	6,40	0,573	2,828	3,667
4,35	0,643	2,278	2,799	5,40	0,603	2,571	3,256	6,45	0,572	2,840	3,687
4,40	0,641	2,293	2,821	5,45	0,601	2,584	3,277	6,50	0,570	2,852	3,707
4,45	0,639	2,308	2,844	5,50	0,600	2,598	3,298	6,55	0,569	2,865	3,727
4,50	0,637	2,322	2,866	5,55	0,598	2,611	3,319	6,60	0,568	2,877	3,747
4,55	0,635	2,336	2,888	5,60	0,596	2,624	3,339	6,65	0,567	2,889	3,767
4,60	0,633	2,350	2,911	5,65	0,595	2,637	3,360	6,70	0,565	2,901	3,787
4,60	0,631	2,364	2,933	5,70	0,593	2,650	3,381	6,75	0,564	2,913	3,806
4,70	0,629	2,379	2,955	5,75	0,592	2,633	3,402	6,80	0,563	2,925	3,826
4,75	0,627	2,393	2,977	5,80	0,590	2,676	3,423	6,85	0,561	2,937	3,846
4,80	0,625	2,407	2,998	5,85	0,589	2,689	3,443	6,90	0,560	2,949	3,866
4,85	0,623	2,421	3,020	5,90	0,587	2,702	3,464	6,95	0,559	2,961	3,885
4,90	0,621	2,435	3,042	5,95	0,586	2,714	3,485	7,00	0,558	2,973	3,904
4,95	0,619	2,449	3,063	6,00	0,584	2,727	3,505	7,05	0,557	2,985	3,923
5,00	0,617	2,463	3,085	6,05	0,583	2,740	3,526	7,10	0,555	2,997	3,943
5,05	0,615	2,477	3,107	6,10	0,581	2,753	3,546	7,15	0,554	3,009	3,963
5,10	0,613	2,490	3,128	6,15	0,580	2,766	3,567	7,20	0,553	3,021	3,982
5,15	0,611	2,503	3,150	6,20	0,579	2,778	3,587	7,25	0,552	3,033	4,001
5,20	0,610	2,517	3,171	6,25	0,577	2,790	3,607				
5,25	0,608	2,531	3,193	6,30	0,576	2,803	3,627				
5,30	0,606	2,545	3,214	6,35	0,575	2,816	3,647				

Таблица 20

Конструктивные характеристики типовых оросительных камер
Харьковского завода кондиционеров.

Площадь поперечного сечения камеры №		Оросительная часть																
		2-рядная камера								3-рядная камера								
		Индекс камеры		Габаритные размеры, мм			Количество форсунок при плотности расположения			Индекс камеры		Габаритные размеры, мм			Количество форсунок при плотности расположения			
							18 шт / м ² ряд	24 шт / м ² ряд	18 шт / м ² ряд						24 шт / м ² ряд			
Правое исполнение	Левое исполнение	Высота	Длина	Ширина	На один стояк	Всего	На один стояк	Всего	Правое исполнение	Левое исполнение	Высота	Длина	Ширина	На один стояк	Всего	На один стояк	Всего	
																		18 шт / м ² ряд
1,0	Кд.1002	Кд.1002 л	1792	1800	980	6	36	8	48	Кд.1003	Кд.1003 л	1792	2425	980	6	54	8	72
2,0	Кд.2002	Кд.2002 л	1792	1800	1710	6	72	8	96	Кд.2003	Кд.2003 л	1792	2425	1710	6	108	8	144
3,7	Кд.4002	Кд.4002 л	2295	1800	2168	8	128	11	176	Кд.4003	Кд.4003 л	2295	2425	2168	8	192	11	264
6,64	Кд.6002	Кд.6002 л	3074	1800	2703	12	240	16	320	Кд.6003	Кд.6003 л	3074	2425	2703	12	360	16	480
7,9	Кд.8002	Кд.8002 л	3074	1800	3203	12	288	16	384	Кд.8003	Кд.8003 л	3074	2425	3203	12	432	16	576
12,1	Кд.12002	Кд.12002 л	4594	1800	3243	9	432	12	576	Кд.12003	Кд.12003 л	4594	2425	3243	9	648	12	864
В железобетонном исполнении																		
12,1	Кд.12002	Кд.12002 л	4600	1800	3243	9	432	12	576	Кд.12003	Кд.12003 л	4600	2425	3243	9	648	12	864
16,1	Кд.16002	Кд.16002 л	4600	1800	4243	9	576	12	768	Кд.16003	Кд.16003 л	4600	2425	4243	9	864	12	1152
20,2	Кд.20002	Кд.20002 л	5600	1800	4243	12	768	16	1024	Кд.20003	Кд.20003 л	5600	2425	4243	12	1154	16	1536
23,9	Кд.24002	Кд.24002 л	5600	1800	4993	12	912	16	1216	Кд.24003	Кд.24003 л	5600	2425	4993	12	1368	16	1824

**т-12992 от 9/Х-68 г. Зак.439 Тир.6000 Цена 2р. 46 коп.
Формат 60x84/16 Объем 12 печ.л.**

**Печатно-множительная лаборатория института Гипротис
Москва, В-465, Новые Черемушки, квартал 28, корпус 3**