ГОССТРОЙ СССР
ГЛАВПРОМСТРОЙПРОЕКТ
ВСЕСОЮЗНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ СОЮЗСАНТЕХПРОЕКТ
Государственный проектный институт
САНТЕХПРОЕКТ

Серия В3-25

РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО РАСЧЕТУ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАМЕР

МОСКВА 1968

gost.e-ecolog.ru

УТВЕРЖДАЮ:
Главный инженер ГПИ Сантехпроект
Стороверов

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 и 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 Союзсантехпроект.

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

Ф.Гулиашвили
С.Финкельштейн
Л.Зусманович
В.Зусманович
Л.Голоульникова

С О Д Е Р Ж А Н И Е

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

А. Расчет процессов понижения теплосодержания воздуха 19

1/ одноступенчатые оросительные камеры 19

2/ двухступенчатые оросительные камеры 23

Б. Расчет процессов адиабатического увлажнения и охлаждения воздуха 26

В. Расчет процессов повышения теплосодержания воздуха 31

Г. Расчет охлаждения воды в оросительных камерах 35

IУ. Последовательность расчетов обработки воздуха в оросительных камерах 38

У. Примеры расчетов 48

Примеры I 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 I2. Расчеты нагрева и увлажнения воздуха 95

Пример I3. Расчет нагрева и увлажнения насыщенного воздуха 98

Пример I4. Расчет охлаждения воды. Прямая задача 102

Примеры I5 и I6. Расчеты охлаждения воды. Обратная задача 107

УI. Расчетные номограммы и диаграммы 111

Номограмма I 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 I для определения критерия R /при $t_р - t_{вн} \geqslant -15^0$/ 118

Диаграмма 2 для определения критерия R / при $t_р - t_{вн} \leqslant -15^0$/ 119

УП. Приложения 120

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I. 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. I), 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 изданиях альбома от приводимых уравнений состоит в том, что последние учитывают влияние начальных параметров воздуха и воды произведением двух критериев $M_I R$.

4. Произведение критериев $M_I R$ позволило:

выразить общими уравнениями различные процессы обработки воздуха (с понижением и повышением теплосодержания);

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 J-d диаграммы. Приведенные в таблицах 2 и I0 уравнения позволяют рассчитывать процессы охлаждения воздуха до конечной температуры $t_{c_2} = 4 \div 5^{\circ}C$ и процессы увлажнения и нагрева воздуха до $t_{c_2} = 85 \div 40^{\circ}C$.

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-встречным, в трехрядных - как противоточным

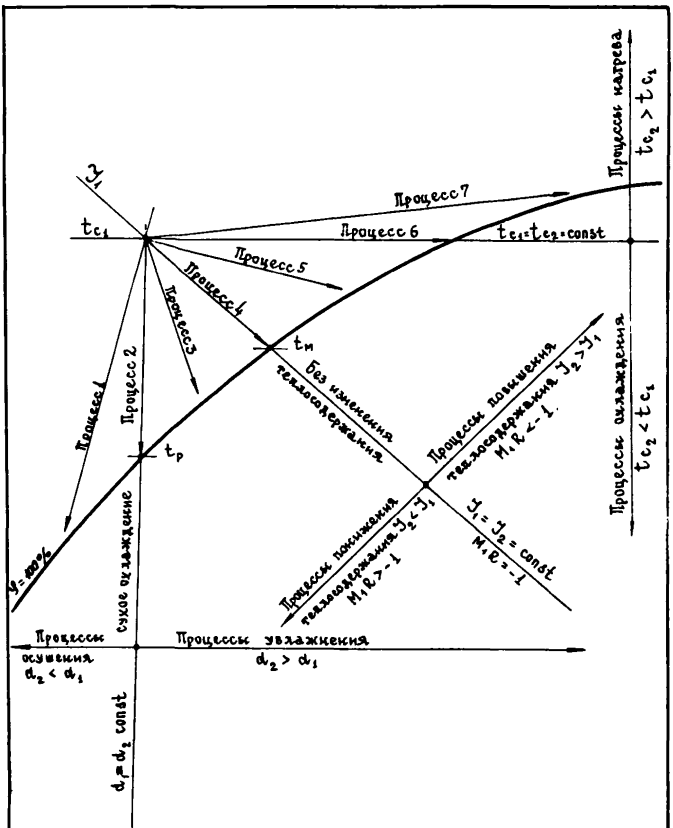


Рис. 1

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 БПК НИИ Сантехники (Кд I002-25) с подводящим каналом диаметром 7,0 мм и выходными отверстиями диаметром 3,0 ÷ 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.

$$q = 38{,}5 \cdot P_0^{0{,}48} \cdot d_0^{1{,}38} \text{ кг/ч}, \quad (1)$$

где P_0 - избыточное давление воды перед форсунками в кгс/см^2;

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 ÷ 6,0 мм. Для процессов охлаждения и увлажнения обычно применяются форсунки с d_0 = 3 ÷ 4 мм.

При выборе диаметра d_0 необходимо учитывать следующее:

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

При этом давление воды перед форсунками тонкого распыления требуется значительно больше, 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, располагаемых в камере при $d_0 \leq 3{,}0$ мм, должно быть увеличено в среднем на I0 ÷ I5%.

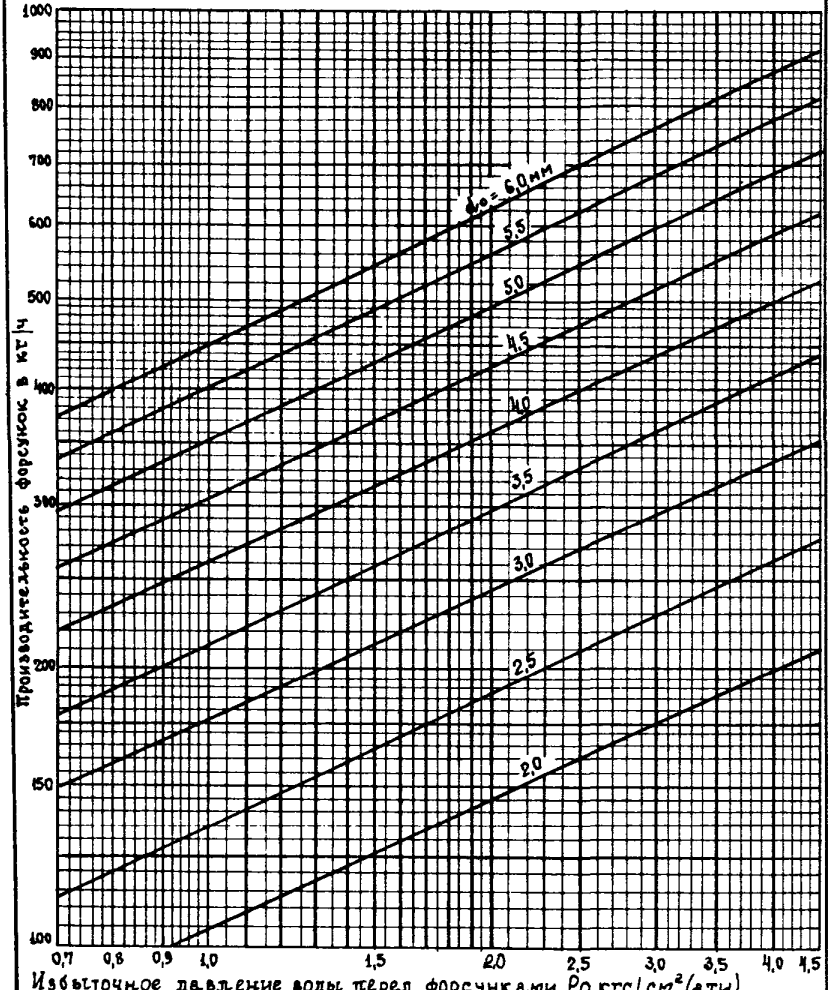


Рис. 2 График для определения производительности форсунок

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

$$W = BG \text{ кг/ч} \qquad /2/$$

где: B - коэффициент орошения, кг/кг

G - количество обрабатываемого воздуха, кг/ч.

Производительность одной форсунки определяется по следующей формуле:

$$q = \frac{W}{i} = \frac{W}{Z n \psi} \text{ кг/ч}, \qquad /3/,$$

где: i - общее число центробежных форсунок в камере;

Z - число рядов стояков с форсунками;

ψ - поперечное сечение камеры, м2 ;

$n = \frac{i}{Z\psi}$ - 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 $\Sigma \xi = 26$,

для трехрядных камер $\Sigma \xi = 35$

II. СУЩНОСТЬ МЕТОДА РАСЧЕТА ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАМЕР

9. Метод расчета оросительных камер, разработанный кандидатом технических наук Л.М. Зусмановичем, основан на применении критериальных зависимостей /4/ и /5/, характеризующих изменения теплосодержания $\Delta\bar{J}$ и температуры $\Delta\bar{T}c$ 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.[x]

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

Для полного теплообмена:

$$\Delta\bar{J} = A\,(1 + M_1 R)\,R^{p} \cdot B^{m} \qquad /4/$$

Для явного теплообмена

$$\Delta\bar{T}c = (C + K \cdot M_1)\,B^{n} \qquad /5/$$

---

x) 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, Е.Е. Карписом, О.Я. Кокориным, Е.В. Стефановым, Н.В. Участкиным, кандидатами наук П.Н. Дербиным, В.В. Мухиным, Д.А. Мателенком, А.В. Пузыревым, И.Г. Сенатовым, В.Н. Тетеревниковым, инженерами И.Н. Мурановым, М.Л. Сосниным, Н.И. Маяковой и др.

где

A, C, K – коэффициенты;

$\rho; m, n$ – показатели степени;

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

$\Delta\bar{T}c = \frac{tc_1 - tc_2}{tc_1 - tp}$ – относительное изменение температуры воздуха;

$J_1 \cup J_2$ – теплосодержания воздуха до и после орошения в ккал/кг;

$tc_1 \cup tc_2$ – температура воздуха по сухому термометру до и после орошения в град;

$J_p \cup tp$ – теплосодержание и температура точки росы воздуха до орошения в ккал/кг и град;

$\Delta tp = tc - tp$ – гигрометрическая разность температур воздуха в град;

$J_1 - J_p = C_p(tc - tp)$ гигрометрическая разность теплосодержаний воздуха в ккал/кг

t_{BH} – начальная температура распыляемой воды в град;

$tp - t_{BH}$ – температурный аналог движущей силы/разности потенциалов/ влагообмена в град;

$M_1 = \frac{tp - t_{BH}}{tc_1 - tp}$ – 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;

Cp – теплоемкость смеси влажного воздуха в ккал/кг град;

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

$$R = 1 + \frac{r_{B_p}}{\alpha} \cdot a = 1 + 2,34a, \qquad /6/$$

где $a = \frac{\rho_n - \rho_{вн}}{t_р - t_{вн}}$ – коэффициент пропорциональности, в мм рт.ст/град;

ρ_n и $\rho_{вн}$ – парциальные давления водяного пара в состоянии насыщения соответственно при температурах $t_р$ и $t_{вн}$ в мм рт.ст.;

$\frac{\alpha}{\beta_р}$ – отношение коэффициентов тепло- и влагообмена;

Для обычных условий работы оросительных камер и градирен $\frac{\alpha}{\beta_р} \approx 0{,}34$ ккал ат/кг град;

r – скрытая теплота парообразования, принимаемая для средних условий равной 585 ккал/кг;

Для определения критерия R может служить также приближенная формула

$$R = 1{,}795 + 0{,}022/\, t_р + t_{вн}/ + 0{,}00077/ t_р^2 + t_р \cdot t_{вн} + t_{вн}^2\, /.$$

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 $\Delta\bar{J}$ 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 движей силы

влагообмена / $t_p - t_{вн}$ / к начальной гигрометрической разности температур воздуха / $t_{c_1} - t_p$ /.

В зависимости от абсолютных значений t_p; $t_{вн}$ и t_c при $M_1 = const$ может иметь место различная величина движущей силы влагообмена $\Delta P = P_n - P_{вн} = a(t_p - t_{вн})$. Поэтому один критерий M_1 характеризует температурные условия только при явном теплообмене /уравнение /5/ .

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 $M_1 R$ 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 $M_1 R$ характеризует и отношение движущей силы влагообмена к движущей силе теплообмена $/t_c - t_{вн}/$

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

Таким образом, тепло - и влагообмен в оросительных камерах, оцениваемый величинами $\Delta \bar{J}$ и $\Delta \bar{T}c$, характеризуется как температурными /произведение $M_1 R$ /, так и гидродинамическими /критерий В/ условиями обмена.

Графическая интерпретация величин $\Delta\bar{J}; \Delta\bar{T}c; M_1; R$ и a 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.I/, которые разделяются на три группы.

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

процесс I - 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.I/ относится только один процесс 4 - процесс адиабатического увлажнения и охлаждения воздуха $/d_2 > d_1/$

В. Процессы, сопровождающиеся 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_c и t_p);
коэффициента орошения B.

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

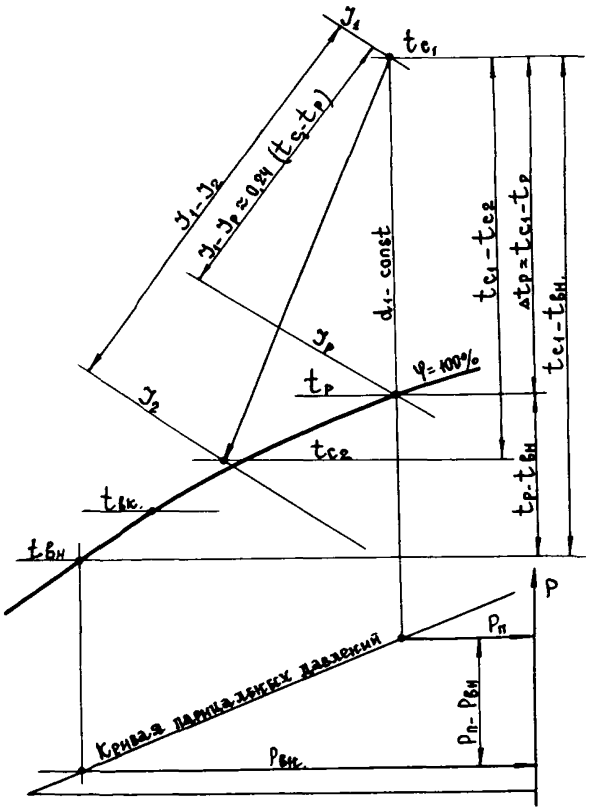


Рис.3 Графическая интерпретация расчетных величин $\Delta\bar{J}$; $\Delta\bar{T}c$; M_1; R и α в J-d - диаграмме.

$\Delta t_p = t_{c_1} - t_p$ - гигрометрическая разность;

$\Delta\bar{J} = \frac{J_1 - J_2}{J_1 - J_p} = \frac{J_1 - J_2}{0{,}24(t_{c_1} - t_p)}$ - относительное изменение теплосодержания;

$\Delta\bar{T}c = \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{t_{c_1} - t_p}$ - относительное изменение температуры;

$M_1 = \frac{t_p - t_{бн}}{t_{c_1} - t_p}$ - температурный критерий;

$R = 1 + \frac{\gamma_{вп}}{\alpha} a = 1 + 2{,}34a$ - критерий, учитывающий влияние влаговыпаривания на теплообмен;

$a = \frac{P_п - P_{бн}}{t_p - t_{бн}}$ - коэффициент, мм рт. ст / 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 $M_1R=-1$ 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.

$$\Delta J = J_1 - J_2 = AC_p(t_{c_1} - t_p)R^{p} \cdot B^{m} + AC_p(t_p - t_{вн})R^{1+p} \cdot B^{m} \qquad /7/$$

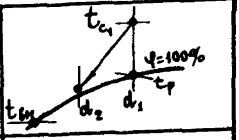
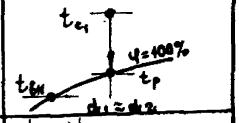
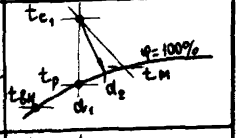
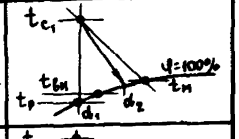
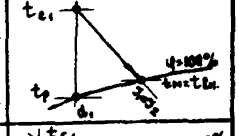
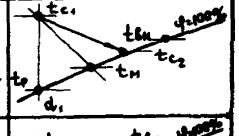
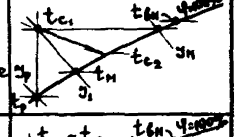
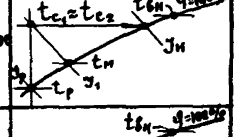
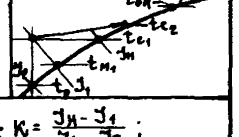
Из уравнения /7/ следует, что разность ΔJ охлаждаемого воздуха состоит из двух слагаемых. Первое определяется начальной гигрометрической разностью температур $/t_{c_1} - t_p/$, а второе-величиной температурного аналога движущей силы влагообмена $/t_p - t_{вн}/$. Чем меньше значение $/t_{c_1} - t_p/$, т.е. чем больше относительная влажность воздуха φ_1, тем незначительнее доля первого слагаемого в общем теплообмене.

При $/t_{c_1} - t_p/ = 0$ и $\varphi_1 = 100\%$ величина первой составляющей в уравнении равна нулю. При этом условии получены уравнения для расчета процессов обработки насыщенного воздуха.

I5. Уравнения/4/ и /5/ применимы для описания процессов тепло-и влагообмена происходящих в оросительных камерах

Условия проведения процессов при непосредственном контакте ненасыщенного воздуха с водой в оросительных камерах

Таблица 1

Условия проведения процессов: Необходимые: Начальная температура распыляемой воды, $t_{вн}$	Необходимые: M_1R	Достаточные: Коэффициент орошения, B		Процесс изменения состояния воздуха	
$t_{вн} < t_p$ $(M_1 > 0)$	$M_1R > -1$	$B > \frac{C_p}{M_1 C_в}$	с понижением теплосодержания.	Процесс 1 охлаждение и осушение $d_2 < d_1$	
		$B_m = \frac{C_p}{M_1 C_в}$		Процесс 2 сухое охлаждение $d_1 = d_2$	
		$B < \frac{C_p}{M_1 C_в}$		Процесс 3 увлажнение и охлаждение $d_2 > d_1$	
$t_p \leq t_{вн} < t_м$ $(-1 < M_1 \leq 0)$		$B > 0$		Процесс 3 увлажнение и охлаждение $d_2 > d_1$	
$t_{вн} = t_м$ $(-1 < M_1 < 0)$	$M_1R = -1$	$B > 0$		Процесс 4 адиабатическое увлажнение без изменения теплосодержания.	
$t_м < t_{вн} \leq t_{c_1}$ $(-1 \leq M_1 < 0)$	$M_1R < -1$	$B > 0$	с повышением теплосодержания.	Процесс 5 охлаждение и увлажнение $t_{c_2} < t_{c_1}$	
$t_{вн} > t_{c_1}$ $(M_1 < -1)$		$B < \frac{C_p K}{M_ч C_в}$		Процесс 5 охлаждение и увлажнение $t_{c_2} < t_{c_1}$	
		$B_m = \frac{C_p \cdot K}{M_ч C_в}$		Процесс 6 изотермическое увлажнение $t_{c_2} = t_{c_1}$	
		$B > \frac{C_p K}{M_ч C_в}$		Процесс 7 нагрев и увлажнение $t_{c_2} > t_{c_1}$	

Примечание. Критерий $M_ч = -(1+M_1) = \frac{t_{вн} - t_c}{t_c - t_p}$; коэффициент $K = \frac{J_н - J_1}{J_1 - J_p}$;
B_m – теоретический коэффициент орошения; C_p и $C_в$ – 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 $d_ф$, 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 величины коэффициентов A, C и K.

I6. Численные значения коэффициентов и показателей степеней в уравнениях /4/ и /5/, в зависимости от указанных в п.I5 конструктивных факторов, приведены в расчетных таблицах 2,5 и I0.

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.

I7. Обобщающие уравнения, приведенные в табл.2,5 и I0, 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.I0/ насыщенного воздуха при φ_1 = I00%. При постоянном произведении критериев $M_1 R$ величины $\Delta \bar{J}$ не зависят от гигрометрической разности температур $(t_{c_1} - t_p)$ т.е. при $M_1 R$ = const

$$\Delta \bar{J} \neq f(t_{c_1} - t_p).$$

I8. Для получения частных расчетных зависимостей для охлаждения насыщенного воздуха при φ = 100% обобщающие уравнения следует представить в развернутом виде (см. пункт I4) и приравнять к нулю первое слагаемое в уравнении (7), так как $(t_{c_1} - t_p) = 0$.

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

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

Таким же способом могут быть получены и частные расчетные формулы для охлаждения воздуха с различными начальными параметрами при конкретных значениях $(t_{c_1} - t_p) \neq 0$.

I9. При расчетах оросительных камер - охлаждения и осушения воздуха возникает необходимость определения величины коэффициента влаговыпадения.

Коэффициент влаговыпадения определяется по следующей формуле

$$\xi = 1{,}04(1 + M_2 R')R^{-0{,}3} B^{0{,}18}, \qquad (9)$$

где $M_2 = \dfrac{t_p - t_{бн}}{t_{c_1} - t_{бн}}$ – температурный критерий, представляющий отношение температурного аналога движущей силы влагообмена к движущей силе теплообмена;

$R' = R - 1 = \dfrac{r\beta_p}{\alpha} \cdot \sigma$ – 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, при изменении M_1 от 0 до + I и при условии $t_{бн} < t_p$.

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

Коэффициент ξ определяется также и с помощью уравнений (I0) ÷ (I6) для $\Delta \bar{J}$ и $\Delta \bar{T}_c$, так как $\xi = \dfrac{\Delta \bar{J}}{\Delta \bar{T}_c}$.

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

висимости, приведенные в таблицах 2,5,7 и I0, связывают воедино 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. I4, I5,I6 и I7.

II. РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ ПРИ НЕПОСРЕДСТВЕННОМ КОНТАКТЕ ВОЗДУХА С ВОДОЙ

А. Расчет процессов понижения теплосодержания воздуха

I. Одноступенчатые оросительные камеры

2I. 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 (I0) ÷ (I6)/ [illegible] рассчитываются различные оросительные камеры, характеристики которых представлены в табл. 3.

Пределы изменения параметров воздуха и воды для расчетных формул (I0) - (I6) указаны в табл. 4.

22. Для облегчения расчетов по формулам (I0)-(I6) составлены номограммы I,2 и 4.

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

Для облегчения аналитических расчетов в приложении приведены табл. I8 и I9, 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 $t_{вк}$ (т.е. процесс отклоняется вправо от значения $t_{вк}$).

Таблица 2.

Данные для расчета процессов понижения теплосодержания 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: Для определения величин $\Delta\bar{J}$ и J_2	Расчетные зависимости: Для определения величин $\Delta\bar{T}c$ и tc_2	Материалы для упрощения расчетов: Номограммы	Диаграммы	Таблицы
$0 \leq \Delta t_p \leq 35$	Осушение, сухое охлаждение и увлажнение воздуха	5,0 ÷ 4,5	$\Delta\bar{J} = 0{,}67\left(1 + M_1 R\right) R^{-0,3} B^{0,53}$ (10)	$\Delta\bar{T}c = \left(0{,}73 + 0{,}49 M_1\right) B^{0,35}$ (11)	Номограмма 1	Диаграмма 1 для определения критерия R	Таблицы 18 и 19 с вычисленными значениями B и R в соответствующих степенях.
		4,0	$\Delta\bar{J} = 0{,}62\left(1 + M_1 R\right) R^{-0,3} B^{0,56}$ (12)	$\Delta\bar{T}c = \left(0{,}78 + 0{,}38 M_1\right) B^{0,3}$ (13)	Номограмма 2		
		3,0	$\Delta\bar{J} = 0{,}7\left(1 + M_1 R\right) R^{-0,3} B^{0,62}$ (14)	$\Delta\bar{T}c = \left(0{,}8 + 0{,}46 M_1\right) B^{0,33}$ (15)	Номограмма 2		
$0 \leq \Delta t_p \leq 2{,}0$	Осушение кассетного воздуха	5,0 ÷ 4,5	$\Delta J = J_1 - J_2 = 0{,}157\left(t_p - t_{вн}\right) R^{0,7} B^{0,53}$ (16)	Значение tc_2 определяется по J_2 и $\varphi_2 \approx 100\%$	Номограмма 4.		

Таблица 3.

Характеристики одноступенчатых оросительных камер.

Число рядов форсунок z	Направление распыления воды	Плотность расположения форсунок на стояках, шт/м² ряд.	Расстояние между рядами форсунок, м	Примечание.
2 и 3	Взаимно-встречное и противоточное	13 – 18	$\simeq 0{,}6$	Без орошения выходного сепаратора

Таблица 4.

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

Величина тигрометрической 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/м² 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	$0{,}7 \leq P_0 \leq 2{,}5$	$1{,}6 \leq v\gamma \leq 3{,}0$	$2 \leq t_{вн} \leq 25$	$5 \leq t_p \leq 25$
	4,0	$1{,}0 \leq P_0 \leq 3{,}0$			
	3,0	$1{,}0 \leq P_0 \leq 3{,}5$			

Относительная влажность $\varphi_в$ 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 распыляемой воды $t_{бн}$ и коэффициента орошения B должен проводиться в соответствии с рекомендациями табл. I. В зависимости от величины B, определяемой по формулам в табл. I, при $t_{бн}$ меньшей точки росы воздуха $t_р$ возможно проведение всех трех процессов влагообмена с понижением теплосодержания воздуха (процессы I,2 и 3 на рис. I).

Процессы осушения и сухого охлаждения (процессы I и 2) проводятся всегда при значениях $t_{бн}$ меньших точки росы воздуха $t_р$. Для проведения сухого охлаждения воздуха расчетный коэффициент орошения должен составлять $B = I,I \div I,2\ B_m$ 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 $t_{бн}$ целесообразно выбирать равными или близкими к температуре точки росы $t_р$.

При этом рассчитываемый коэффициент B не должен, как правило, превышать $B=I,2 \div I,5$.

25. Расчет процессов осушения насыщенного воздуха ($t_{c_1} - t_р$) = 0 или воздуха, близкого к состоянию насыщения ($t_{c_1} - t_р$) $\leqslant$ 2,0 (см. указания в п.п. I7 и I8), следует проводить по формуле (16), приведенной в табл. 2, или по номограмме 4. Конечная температура воздуха t_{c_2} определяется при J_2 и φ_2 = 100%. Последовательность расчета этих процессов иллюстрируется в примере 7.

26. При применении оросительных камер с плотностью расположения форсунок меньшей I3 шт/м^2 ряд (n=8÷I0 шт/м^2 ряд, что достигается путем заглушения части форсунок в типовых камерах), значения $\Delta\bar{J}$ и $\Delta\bar{T}c$, полученные по формулам или номограммам I,2 и 4, должны быть увеличены в среднем на 4-6%.

При повышенных плотностях (n=24 ÷ 28 шт/м^2 ряд) величины

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

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

28. Методика расчета и последовательность решения прямых и обратных задач с помощью формул и номограмм приведены в табл. I4 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_c и $t_м$ = const; $t_{бн}$ = const; B = const; $U\gamma$ и P = const) обеспечивают увеличение полного теплообмена (ΔJ и $\Delta\bar{J}$) при охлаждении и осушении воздуха на 30-85% и явного теплообмена (ΔTc и $\Delta\bar{T}c$) в среднем на I5-I7%. На режимах увлажнения и сухого охлаждения увеличение полного теплообмена составляет в среднем I5-20%., а явного I0-I2%.

3I. Двухступенчатые оросительные камеры целесообразно применять при ограниченном расходе холодной воды (например, при артезианском водоснабжении), а также для охлаждения воздуха более теплой водой, предварительно отработанной 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 $\Delta\bar{J}$ и $\Delta\bar{T}c$. Формулы для расчетов приведены в табл. 5.

По табл. 5 / см. формулы (I7) и (I8) / можно рассчитывать различные оросительные камеры, характеристики которых представлены в табл. 8.

Таблица 5.

Данные для рассчета процессов понижения теплосодержания воздуха в противоточных двухступенчатых оросительных камерах.

Гигрометрическая 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 tc_2	Номограммы	Диаграммы	Таблицы
$0 \leq \Delta t_p \leq 30$	Осушение, сухое охлаждение и увлажнение воздуха	5,0 ÷ 4,5	$\Delta\bar{J} = 0{,}88\left(1 + M_1 R\right) R^{-0{,}3} B^{0{,}55}$ (17)	$\Delta\bar{T}c = (0{,}85 + 0{,}64 M_1) B^{0{,}25}$ (18)	Номограмма 3	Диаграмма 1 для определения критерия R	Таблицы 18 и 19

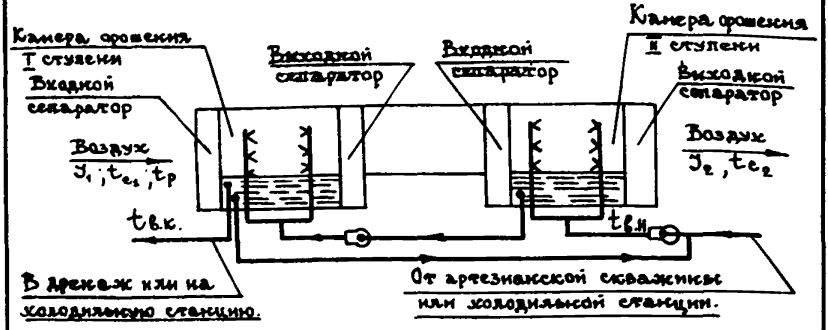


Рис. 4 Принципиальная схема противоточной двухступенчатой оросительной камеры.

Таблица 6

Пределы изменения параметров воздуха и воды в двухступенчатых оросительных камерах.

Величина психрометрической разности температур	Диаметр выходного отверстия форсунок d_0, мм	Избыточное давление воды перед форсунками p_0, ати.	Весовая скорость воздуха в камере v_γ, кг/м² сек.	Температура распыляемой воды $t_{в.н.}$, град.	Температура точки росы обрабатываемого воздуха, t_p, град
$0 \leq \Delta t_p \leq 30$	4,5 ÷ 5,0	1,0 ÷ 2,5	$1,6 \leq v_\gamma \leq 3,0$	$8 \leq t_{вн} \leq 20$	$5 \leq t_p \leq 25$

Пределы изменения параметров воздуха и воды для расчетных формул (I7) и (I8) указаны в табл. 6.

33. Для облегчения расчетов по формулам в табл. 5 составлена номограмма 3 и в приложении приведены таблицы I8 и I9, в которых содержатся значения коэффициентов орошения B и критерия R , вычисленные в соответствующих степенях. Значения критерия R определяются по диаграмме I, 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_{c_2} , покидающего камеру орошения второй ступени, как правило, оказывается ниже температуры воды $t_{бк}$, отработанной 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. I4 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 взаимовстречным распылением. При круглогодовом 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 теплосодержания ($J_1 \approx J_2$; $\Delta J = 0$ и $\Delta \bar{J} = 0$) протекают в оросительных камерах при рециркуляции распыляе-

мой воды, которая при этом приобретает температуру мокрого термометра обрабатываемого воздуха ($t_{м_1} \approx t_{вн} \approx t_{вк}$).

89. При адиабатическом увлажнении воздуха с различными начальными параметрами величина произведения критериев $M_1 R \approx -1$. Это значение сохраняется постоянным при проведении адиабатических процессов в различных теплообменных аппаратах при непосредственном контакте воздуха с рециркулирующей водой.

При $M_1 R \cong -1$ величины $\Delta J_и \Delta J$ равны О. См. формулу (4). Поэтому расчет адиабатических процессов производится по перепадам температур воздуха, определяемым по уравнению

$$\Delta \bar{T}_c = D R^K B^n , \qquad (19)$$

где D - коэффициент.

40. Расчет процессов адиабатического увлажнения и охлаждения воздуха в оросительных камерах различных поперечных сечений производится по значениям критерия $\Delta \bar{T}c$. 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 ($t_р - t_{вн}$).

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

42. При значениях критерия $R < 2{,}7$, которые соответствуют зимним режимам адиабатического увлажнения воздуха, величины $\Delta \bar{T}c$, вычисленные по формулам (20) и (21) или по номограмме 5, умножаются на понижающий коэффициент $\beta < 1$, определяемый по графику рис. 5.

43. Для однорядных и двухрядных оросительных камер, оснащенных форсунками диаметром 3 ÷ 3,5 мм, значения $\Delta \bar{T}c$, 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_0, мм	Число рядов форсунок в камерах, z	Расчетные зависимости для определения величин $\Delta\bar{T}c$ и t_{c2}	Материал для упрощения расчетов		Примечание
			Номограммы	Диаграммы	
5,0 – 4,5	$z=1$ (однорядные камеры)	$\Delta\bar{T}c = 0{,}331\, R^{0{,}56}\, B^{0{,}4}$ (20)	Номограмма 5	Диаграммы 1 и 2 для определения критерия R	При $R < 2{,}7$ значения $\Delta\bar{T}c$, найденные по формулам (20) и (21) или номограмме 5, умножаются на коэффициент B, определяемый по графику на рис. 5.
	$z=2$ (двухрядные камеры)	$\Delta\bar{T}c = 0{,}304\, R^{0{,}56}\, B^{0{,}35}$ (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 n шт/м² ряд.	Расстояние между рядами форсунок, м	Примечание
$z=1$ (Однорядные камеры)	Против потока воздуха	от 13 до 18	~ 0,6	Без орошения выходного сепаратора
$z=2$ (двухрядные камеры)	Взаимно-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_0, мм	Число рядов форсунок в камерах, z	Коэффициент орошения, B	Избыточное давление воды перед форсунками, P_o, ати	Весовая скорость воздуха, $V\gamma$ кг/м² сек.	Температура воздуха по мокрому термометру
4,5 – 5,0	$z=1$ (Однорядные камеры)	$0,35 \leq B \leq 1,0$	$1,0 \leq P_o \leq 3,5$	$1,6 \leq V\gamma \leq 3,0$	$4 \leq t_м \leq 28$
	$z=2$ (Двухрядные камеры)	$0,6 \leq B \leq 1,4$			

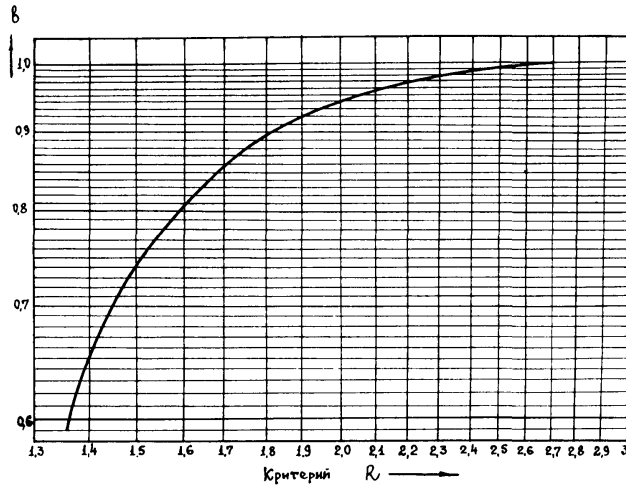


Рис. 5. Зависимость $b = f(R)$ для процессов адиабатического увлажнения воздуха.

личить на 7 ÷ 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 ($t_{c_1} \geq 0°C$), осуществляются, как правило, в двухрядных оросительных камерах со взаимновстречным распылением или в однорядных камерах с противоточным распылением воды.

47. Расчет процессов повышения теплосодержания воздуха в оросительных камерах различных поперечных сечений производится по значениям 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 ($t_p - t_{бн}$) $\geq -15^0C$ определяется по диаграмме 1. При разности ($t_p - t_{бн}$) $\leq -15^0C$ 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 теплосодержания воздуха в в одноступенчатых оросительных камерах.

Гигрометрическая разность температур, $\Delta t_p = t_c - t_p$	Характер процессов обработки воздуха.	Диаметр выходного отверстия форсунок, d_0, мм	Расчетные зависимости для определения величин $\Delta\bar{J}$ и J_2	Материалы для упрощения расчетов			Примечание.
				Номограммы	Диаграммы	Таблицы	
$0 \leq \Delta t_p \leq 5,0$	Охлаждение и увлажнение, изотермическое увлажнение, нагрев и увлажнение.	5,0 ÷ 4,5	$\Delta\bar{J} = 0,54\left(1+M_1 R\right)R^{-0,3}B^{0,53}$ (22)	Номограмма 6.	Диаграммы 1 и 2 для определения критерия R	Таблицы 18 и 19 с вычисленными значениями B и R в соответствующих степенях	1. Значения $\Delta\bar{J}$ и ΔJ отрицательны. 2. Значения t_{c_2} определяются по значению J_2 при $\varphi_2 = 94 \div 98\%$.
		3,5	$\Delta\bar{J} = 0,6\left(1+M_1 R\right)R^{-0,3}B^{0,63}$ (23)				
$0 \leq \Delta t_p \leq 2,0$	Нагрев и увлажнение	5,0 ÷ 4,5	$\Delta J = J_1 - J_2 = 0,14\left(t_p - t_{6н}\right)R^{0,7}B^{0,53}$ (24)	Номограмма 4.			Значения t_{c_2} определяются по значению J_2 при $\varphi_2 \approx 100\%$.

Таблица 11

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

Величины гигрометрической разности температур $\Delta t_p = t_{c_1} - t_p$	Диаметр выходного отверстия форсунок d_o, мм	Избыточное давление воды перед форсунками P_o, ати.	Весовая скорость воздуха в камере V_γ кг/м² сек	Начальная температура распыляемой воды $t_{вк}$, град	Температура точки росы обрабатываемого воздуха, град.	Температура воздуха по сухому термометру t_{c_1}, град
$0 \leq \Delta t_p \leq 50$	5,0 ÷ 4,5	$0,7 \leq P_o \leq 2,5$	$1,6 \leq V_\gamma \leq 3,0$	$10 \leq t_{вк} \leq 45$	$-26 \leq t_p \leq 25$	$0 < t_{c_1} \leq 40$
	3,5	$1,0 \leq P_o \leq 3,5$				

49. Процессы с повышением теплосодержания воздуха протекают при больших разностях парциальных давлений водяных паров в обрабатываемом воздухе и в пограничном слое воздуха у распыляемой воды. Поэтому воздух после орошения горячей водой приобретает относительную влажность равную, как правило, $\varphi_2 \cong 94 \div 98\%$, по которой при известном J_2 определяют значения t_{c_2}.

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

51. Выбор начальной температуры распыляемой воды $t_{вн}$ 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 $t_{вн}$ большей, чем температура воздуха t_{c_1} 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 $t_{вн}$ всегда больших, чем t_{c_1}.

Для проведения процессов охлаждения и увлажнения с повышением теплосодержания (процесс 5) значения $t_{вн}$ целесообразно выбирать меньшими температуры воздуха t_{c_1}.

52. Для проведения процессов изотермического увлажнения воздуха ($d_1 \approx 3 \div 4$ гр/кг сух. воздуха) начальная температура распыляемой воды должна приниматься, $=$ обычно, на 9–II°C выше начальной температуры воздуха

$$t_{вн} = t_{c_1} + (9 \div 11^{\circ}C).$$

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 путем умножения полученных величин $\Delta\bar{J}$ на коэффициент $\ell = 0{,}96 \div 0{,}98$.

54. Расчет процессов нагрева насыщенного воздуха ($t_{c_1} - t_p$) = 0 или воздуха, близкого к состоянию насыщения ($t_{c_1} - t_p$) $\leq$ $\leq 2{,}0^{\circ}C$ (см. указания п. 17 и 18), следует проводить по формуле (24) или по номограмме 4. Конечная температура воздуха t_{c_2} определяется при 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 11-14.

Г. Расчет охлаждения воды в оросительных камерах

57. Охлаждение циркуляционной воды в различных системах оборотного 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 $\Delta\bar{T}_в$, определяемого по уравнению

$$\Delta\bar{T}_в = A\left(1 + M_1 R\right) R^{-p} \cdot B^{-K}. \qquad (25)$$

Величина $\Delta\bar{T}_6 = \frac{t_{6к} - t_{6н}}{t_c - t_p}$ имеет отрицательное значение, так как температура воды после охлаждения $t_{6к}$ будет меньше начальной $t_{6н}$.

59. Формулы для расчетов величин $\Delta\bar{T}_6$ приведены в табл. I2.

Данные табл. I2 /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. II.

60. Для облегчения расчетов по формулам (26)-(28)составлена номограмма 7 и в приложении приведены табл. I8 и I9, в которых содержатся значения коэффициентов орошения B и критерия R, вычисленные в соответствующих степенях.

Критерий R определяется по диаграммам I или 2 в зависимости от величины отрицательной разности $t_p - t_{6н}$.

При разности $(t_p - t_{6н}) \geq -I5$ следует пользоваться диаграммой I, а при $(t_p - t_{6н}) \leq -I5$ - диаграммой 2. По формуле (6) критерий R определяется с помощью таблиц водяного пара. Для обычных охладительных нагрузок целесообразно принимать $B < I,75$.

6I. 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. I2. Уравнение (28), полученное как частный случай из обобщающего уравнения (26) при $(t_c - t_p) = 0$ (см. п. I8), по своей структуре аналогично формуле Вольфа, применяемой в настоящее время для расчета брызгальных вентиляторных градирен.

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

Таблица 12

Данные для расчета охлаждения воды в оросительных камерах

Гигрометрическая разность температур $\Delta t_p = t_{c_1} - t_p$.	Характер процесса	Диаметр выходного отверстия форсунок d_0, мм	Расчетные зависимости для определения величин $\Delta\bar{T}_в$ и $t_{вк}$.	Материалы для упрощения расчетов		
				Номограммы	Диаграммы	Таблицы
$0 \leq \Delta t_p \leq 5,0$	Охлаждение воды ненасыщенным воздухом.	5,0 ÷ 4,5	$\Delta\bar{T}_в = 0,136\left(1+M_1 R\right) R^{-0,3} B^{-0,47}$ (26)	Номограмма 7	Диаграммы 1 и 2. для определения критерия R	Таблицы 18 и 19 с вычислительными значениями B и R в соответствующих степенях.
		3,5	$\Delta\bar{T}_в = 0,15\left(1+M_1 R\right) R^{-0,3} B^{-0,37}$ (27)			
$0 \leq \Delta t_p \leq 2,0$	Охлаждение воды насыщенным воздухом	5,0 ÷ 4,5	$\Delta t_в = t_{вк} - t_{вн} = 0,14\left(t_p - t_{вн}\right) R^{0,7} B^{-0,47}$ (28)			

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

В то же время, если выбор параметров воздуха производится из ряда сочетаний параметров, имеющих постоянную точку росы $t_р$, 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.

IУ. 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 (J_1; t_{c_1}; $t_р$ и $t_{м_1}$) перед орошением для обоих видов задач являются известными.

Целью прямых задач является нахождение коэффициента орошения В и начальной температуры воды $t_{в_н}$ для обеспечения требуемых (заданных) конечных параметров воздуха J_2 и t_{c_2}.

Целью обратных задач является определение конечных параметров воздуха J_2 и t_{c_2} (или воды $t_{в_к}$), получающихся в результате орошения при известных значениях В и $t_{в_н}$.

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 теплотехнических задач	Процессы при непосредственном контакте воздуха с водой									
	Процессы с понижением теплосодержания воздуха.					Процессы адиабатического увлажнения воздуха	Процессы с повышением теплосодержания воздуха.				
	Осушение и охлаждение	Сухое охлаждение	Увлажнение и охлаждение	Осушение насыщенного воздуха	Осушение воздуха в двухступенчатых камерах		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. I3.

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. I4-I7.

I. Процессы, протекающие с понижением теплосодержания воздуха

69. Расчет оросительных камер, работающих на режимах понижения теплосодержания воздуха, следует проводить в соответствии с указаниями пп. 2I-28 и в последовательности, изложенной в табл. I4.

70. Последовательность расчета процессов охлаждения насыщенного воздуха (при $\Delta t_p = t_{c_1} - t_p = 0$) 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_1 подсчитывается разность температур ($t_p - t_{\delta н}$).

Расчет иллюстрируется примером 7 (см. также пп. I7,I8 и 25).

7I. 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 $t_{\delta н}$.

Предварительно приняв $t_{\delta н}$, значения $B = B_J$ (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_{c_2} также может быть получена при различных сочетаниях B и $t_{\delta н}$. Если исходить из принятого значения $t_{\delta н}$, то величина $B = B_T$, необходимая для получения t_{c_2} ($\Delta \bar{T}c$) определяется по расчетным уравнениям для $\Delta \bar{T}c$, приведенным в табл. 2 (или по номограммам (2)

в/ величина B_J в общем случае может не совпасть со значением B_T, определенным при ранее принятой температуре воды $t_{\delta н}$

Таблица 14.

Методика расчета процессов понижения теплосодержания ненасыщенного воздуха (процессы осушения, сухого охлаждения и увлажнения воздуха)

Виды теплотехнических задач	Заданные величины	Неизвестные величины	Ход расчета.
Прямые задачи	$J_1; t_{c_1}; J_p; t_p; J_2; t_{c_2}$	$B; t_{вн}; t_{вк}$.	1. Определяется $\Delta t_p = t_{c_1} - t_p$. 2. Определяются $\Delta\bar{J} = \frac{J_1 - J_2}{0{,}24(t_{c_1} - t_p)}$ и $\Delta\bar{t}_c = \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{t_{c_1} - t_p}$ 3. Предварительно задаются $t_{вн}$ согласно указаниям п. 24 и таблицы 1 4. При известных $t_p, t_{вн}$ вычисляется $(t_p - t_{вн})$ и по диаграмме 1, или по формуле (6), находится критерий R. 5. Вычисляются $M_1 = \frac{t_p - t_{вн}}{t_{c_1} - t_p}$ и $M_1 R$. 6. Определяется B: а) при известных R; $M_1 R$ и $\Delta\bar{J}$ по номограммам (или по формулам в таблицах 2 и 5) вычисляется $B = B_J$; б) при известных M_1 и $\Delta\bar{t}_c$ по номограммам 1, 2 или 3 (или по формулам в табл. 2 и 5) вычисляется $B = B_T$; в) если $B_J = B_T$ (с точностью 5÷7%), то расчет окончен и $B_J = B$; если $B_J \neq B_T$, 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	$J_1; t_{c_1}; J_p; t_p; B; t_{вн}$	$J_2; t_{c_2}; t_{вк}$.	1. Определяется $\Delta t_p = t_{c_1} - t_p$. 2. При известных $t_p, t_{вн}$ вычисляется $(t_p - t_{вн})$ и по диаграмме 1, или по формуле (6), находится R 3. Вычисляются $M_1 = \frac{t_p - t_{вн}}{t_{c_1} - t_p}$ 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 $\Delta\bar{J}$, а при известных M_1 и B находится $\Delta\bar{t}_c$. 5. Определяются $J_2 = J_1 - \Delta\bar{J}(t_{c_1} t_p)$; $t_{c_2} = t_{c_1} - \Delta\bar{t}_c (t_{c_1} - t_p)$. 6. Определяется $t_{вк} = t_{вн} + \frac{J_1 - J_2}{B}$.

г/ процессы в камерах орошения могут протекать только при определенных величинах B и $t_{вн}$. Поэтому в расчет должны быть приняты такие значения B и $t_{вн}$, 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 $t_{вн}$ (согласно п. 24 и табл. I), вычислить $M_1; R; M_1R; \Delta\bar{J}$ и определить с помощью номограмм или формул коэффициент $B = B_J$, необходимый для получения требуемого $J_2(\Delta\bar{J})$;

б/ при принятом ранее $t_{вн}$ (M_1), по номограмме или формулам вычислить коэффициент орошения $B = B_T$, необходимый для получения заданного значения t_{c_2} $(\Delta\bar{T}c)$;

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

г/ если расхождения между B_J и B_T более значительны, то следует задаться новым значением $t_{вн}$ и расчет повторить, определив новое B_J.

Перед повторением расчета необходимо вычислить конечную температуру воздуха t'_{c_2}, получающуюся при принятых B_J и $t_{вн}$ (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 $t_{вн}$ следует несколько понизить; коэффициент орошения B_J при этом тоже уменьшится.

Если же $t'_{c_2} > t_{c_2}$, то новую температуру воды $t_{вн}$ следует несколько повысить. Коэффициент орошения B_J 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 большей частью встречаются обратные задачи.

Температура и количество воды, направляемой к двухступечатым 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. I5.

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

Для нахождения коэффициента орошения B (прямые задачи) значения $\Delta\bar{T}c$, вычисленные по известным t_{c_1} и t_{c_2}, делятся на коэффициент β.

При этом величина $\frac{\Delta\bar{T}c}{\beta}$ откладывается на шкале $\Delta\bar{T}c$ номограммы 5.

Для нахождения конечной температуры воздуха после орошения t_{c_2} (обратные задачи), найденные значения $\Delta\bar{T}c$ умножаются на понижающий коэффициент β (см. табл. I5 и пример I0).

3. Процессы 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. I6.

78. Отличие данной методики от методики расчета процессов понижения теплосодержания (табл. I4) заключается в том, что при процессах, протекающих с повышением теплосодержания, конечную температуру воздуха t_{c_2} рекомендуется определять по расчетному значению J_2 и $\varphi_2 = 94 \div 98\%$ (см. п. 49), в то время как при расчетах процессов, протекающих с понижением теплосодержания, каждый из конечных параметров воздуха J_2 и t_{c_2} определяется расчетом.

Таблица 15

Методика расчета процессов без изменения теплосодержания воздуха (процессы адиабатического увлажнения)

Виды теплотехнических задач	Заданные величины и параметры	Искомые величины и параметры	Ход расчета
Прямые задачи	$\gamma_1, t_{c_1}, t_p, t_м = t_{вн}, t_{c_2}$	B	1. Определяется $\Delta\bar{T}c = \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{t_{c_1} - t_p}$. 2. При известных t_p и $t_{вн} = t_м$ 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 B. 4. При $R < 2{,}7$ по рис. 5 находится коэффициент $\beta < 1$. 5. Определяется $\Delta\bar{T}_{ср} = \frac{\Delta\bar{T}c}{\beta}$. 6. По номограмме 5 (или по формулам в табл. 7) при известных $\Delta\bar{T}_{ср}$ и R. определяется коэффициент орошения B.
Обратные задачи	$\gamma_1, t_{c_1}, t_p, t_{м_1} = t_{вн}$; B	t_{c_2}	1. При известных t_p и $t_{вн} = t_м$ 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 B вычисляется $\Delta\bar{T}c$. 3 Определяется t_{c_2} а) при $R \geq 2{,}7$ (коэффициент $\beta = 1$ см. рис. 5) $t_{c_2} = t_{c_1} - \Delta\bar{T}c\,(t_{c_1} - t_p)$ б) при $R < 2{,}7$ по рис. 5 находится коэффициент $\beta < 1$ и $t_{c_2} = t_{c_1} - \Delta\bar{T}c\,\beta\,(t_{c_1} - t_p)$.

Таблица 16.

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

Виды теплотехнических задач	Заданные величины и параметры	Искомые величины и параметры	Ход расчета.
Прямые задачи	J_1; t_{c_1}; J_p; t_p; $J_н$; J_2; t_{c_2}	B; $t_{вн}$; $t_{вк}$.	1. Определяется $\Delta t_p = t_{c_1} - t_p$ 2. Определяется $\Delta \bar{J} = \frac{J_1 - J_2}{0{,}24(t_{c_1} - t_p)}$. 3. Предварительно задаются $t_{вн}$ согласно указаниям табл. 1 и пп. 51 и 52. 4. Определяется B по номограмме 6 при известных $t_{вн}$, t_p; Δt_p и $\Delta \bar{J}$. Определение коэффициента орошения B аналитическим путем. 5. При известных t_p и $t_{вк}$ вычисляется $(t_p - t_{вк})$ и по диаграмме 1 (или 2) находится R. 6. Вычисляются $M_1 = \frac{t_p - t_{вн}}{t_{c_1} - t_p}$ и $M_1 R$. 7. По формулам в табл. 10 при известных R; $M_1 R$ и $\Delta \bar{J}$, вычисляется B. 8. Определяется $t_{вк} = t_{вн} - \frac{J_2 - J_1}{B}$ 9. Величина t_{c_2} проверяется по J-d диаграмме при J_2 и $\varphi_2 = 94 \div 98\%$
Обратные задачи	J_1; t_{c_1}; J_p; t_p; $J_н$; B и $t_{вк}$.	J_2; t_{c_2}; $t_{вк}$.	1. Определяется $\Delta t_p = t_{c_1} - t_p$ 2. Определяется $\Delta \bar{J}$ по номограмме 6 при известных $t_{вн}$; t_p; Δt_p и B. 3. Вычисляется $J_2 = J_1 - \Delta \bar{J} C_p (t_{c_1} - t_p)$. 4. Находится t_{c_2} по J-d диаграмме при J_2 и $\varphi_2 = 94 \div 98\%$. 5. Определяется $t_{вк} = t_{вн} - \frac{J_2 - J_1}{B}$. Определение $\Delta \bar{J}$ аналитическим путем 6. При известных t_p и $t_{вк}$ вычисляется $(t_p - t_{вк})$ 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 теплосодержания ненасыщенного воздуха (табл. I6) и приведена в примере I3 (см. такие пп. 54,I7,I8 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. I7.

8I. По номограмме 7 наряду с обычным решением прямых и обратных задач (табл. I7) 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 $t_{вн}$ и конечной температуры $t_{вк}$ воды, при которых может быть обеспечена требующаяся величина охлаждения воды $\Delta t_в$.

Эти задачи широко распространены при совместных расчетах поверхностных воздухоохладителей, питаемых хладоносителем от систем оборотного 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. I8,I9 приведены значения коэффициентов орошения B и критерия R , вычисленные в степенях, указанных в расчетных уравнениях (см. табл. 2,5,I0 и I2).

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.

Таблица 17

Методика расчета процессов охлаждения воды в оросительных камерах.

Виды теплотехнических задач	Заданные величины и параметры	Искомые величины и параметры	Ход расчета
Прямые задачи	$J_1; t_{c_1}; J_p; t_p; t_{вн}; t_{вк}$	B	1. Определяется $\Delta t_p = t_{c_1} - t_p$. 2. Определяется $\Delta\bar{T}_в = \frac{t_{вк} - t_{вн}}{t_{c_1} - t_p}$. 3. Определяется B по номограмме 7 при известных $t_{вн}, t_p, \Delta t_p$ и $\Delta\bar{T}_в$. Определение коэффициента орошения аналитическим путем. 4. При известных t_p и $t_{вн}$ вычисляется $(t_p - t_{вн})$ и по диаграмме 1(или 2) находится R. 5. Вычисляются $M_1 = \frac{t_p - t_{вн}}{t_{c_1} - t_p}$ и $M_1 R$. 6. По формулам в таблице 12 при известных R; $M_1 R$ и $\Delta\bar{T}_в$ вычисляется B.
Обратные задачи	$J_1; t_{c_1}; J_p; t_p; t_{вн}; B$	$t_{вк}$	1. Определяется $\Delta t_p = t_{c_1} - t_p$ 2. Определяется $\Delta\bar{T}_в$ по номограмме 7 при известных $t_{вн}; t_p; \Delta t_p$ и B. 3. Определяется $t_{вк} = t_{вн} + \Delta\bar{T}_в (t_{c_1} - t_p)$. Определение $\Delta\bar{T}_в$ аналитическим путем. 4. При известных t_p и $t_{вн}$ 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 $\Delta\bar{T}_в$ при известных R; $M_1 R$ и B.
	$J_1; t_{c_1}; J_p; t_p; B; \Delta t_в$	$t_{вн}; t_{вк}$.	1. Определяется $\Delta t_p = t_{c_1} - t_p$ 2. Определяется $\Delta\bar{T}_в = \frac{t_{вк} - t_{вн}}{t_{c_1} - t_p} = \frac{-\Delta t_в}{t_{c_1} - t_p}$. 3. По номограмме 7 при известных $\Delta\bar{T}_в$; B; Δt_p и t_p находится $t_{вн}$. 4. Определяется $t_{вк} = t_{вн} + \Delta\bar{T}_в (t_{c_1} - t_p)$.

У. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ

Пример I. Расчет процесса охлаждения и осушения воздуха.

Решается прямая задача с помощью номограмм.

Дано: Воздух начального состояния t_{c_1} =28,5°С; J_1 =I2,9 ккал/кг; $t_р$ =I3,5°С в количестве G=79500 кг/ч требуется охладить и осушить в двухрядной оросительной камере Кд 8002 до состояния t_{c_2} =I4°С; J_2 =8,86 ккал/кг. Поперечное сечение камеры Ф=7,9 м²; n=I8шт/м² рад. i=288 шт; d_0=4,5 мм; $U_ж$ =2,8 кг/м²сек.

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

Решение

I. 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

$$\Delta t_р = t_{c_1} - t_р = 28,5 - I3,5 = I5^{\circ}C$$

2. Определяем значения $\Delta\bar{J}$ и $\Delta\bar{T}c$

$$\Delta\bar{J} = \frac{J_1 - J_2}{0,24(t_{c_1} - t_р)} = \frac{I2,9 - 8,86}{0,24 \cdot I5} = \frac{4,04}{3,6} = I,I2$$

$$\Delta\bar{T}c = \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{t_{c_1} - t_{р_1}} = \frac{28,5 - I4}{I5} = 0,967 = 0,97$$

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

Принимаем $t_{вн}$ =8°С

4. Определяем критерий R:

находим разность температур $t_р - t_{вн}$ =I3,5-8 = 5,5°С;

на диаграмме I производим построения, аналогичные нанесенному примеру. При $t_р - t_{вн}$ =5,5°С; $t_р$ =I3,5 и $t_{вн}$ =8°С находим R =2,5I.

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 немой шкалой $\mathcal{L}$;

на шкале $\Delta\bar{J}$ откладываем $\Delta\bar{J} = I,I2$;

Соединяем $\Delta\bar{J} = I,I2$ и точку "б" прямой и продолжаем ее до пересечения со шкалой B. В точке пересечения находим ответ

$B_J = I,82$.

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 - $B_T = I,2$.

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

I0. Определяем действительное значение $\Delta\bar{T}_c'$, которое будет соответствовать B=I,32 и t_{BH} =8°C /M_I=0,367/, см.п.72.

Производим построения на номограмме I:

соединяем прямой значения M_I=0,367 и B=I,32;

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

II. Определяем действительную конечную температуру воздуха после орошения

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

Сравнение вновь полученного значения t_{c_2}' =I3,5 с требуемым по заданию / t_{c_2}=I4°C/ показывает, что величины t_{c_2} весьма близки. Принимаем в расчет значения t_{c_2} =I3,5°C /при B=I,32 и t_{BH}=8°C/.

I2. Определяем конечную температуру воды

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

I3. Определяем количество распыляемой воды W, производительность форсунки q и давление воды P_0 перед форсунками.

$W = B \cdot G$ =I,32x79500 = I05000 кг/ч;

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

q =365 и d_0=4,5 мм определяем P_0 =I,5 ати

I4. Определяем мощность насоса /без учета сопротивления сети/

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

I5. Определяем количество холодной воды, подаваемой к оросительной камере от холодильной станции /при температуре холодной воды $t_x = 5^0C$/.

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

На этом теплотехнический расчет считается законченным. Процесс на J - d диаграмме представлен на рис.6.

Примечания:

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

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

В случае одновременного повышения коэффициента орошения до I,8 и $t_{вн}$ до I0° /M_x=0,233/ получается практически та же величина J_2 =8,9/ $\Delta\bar{J}$ =I,II/, но при t_{c_2}=I3° / $\Delta\bar{T}_c$ =I,03/.

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

Начальные параметры воздуха	$t_{вн}$, град.	В	Конечные параметры воздуха: t_{c_2}, град.	Конечные параметры воздуха: J_2, ккал/кг	$t_{вн}$, град.	Холод. нагрузка Qх тыс. ккал/ч	К-во холод. воды W_0 т/ч	К-во рассол. воды W_1 т/ч	Давление P_0, ати	Мощность циркул. насоса кВт
t_{c_1}=28,5°С	6	I,0	I8,95	8,86	I0	32I	64,4	79,5	0,85	8,8
J_1=I2,9 ккал/кг	8	I,82	I8,5		II	32I	58,5	I05	I,5	5,4
t_p=I3,5°С	I0	I,8	I8,0	8,9	I2,2	3I8	44,2	I48	2,7	I8

Выбор оптимального варианта сочетаний значений В и $t_{вн}$ должен проводиться с учетом технико-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 В=I,32 в данном случае приняты за расчетные.

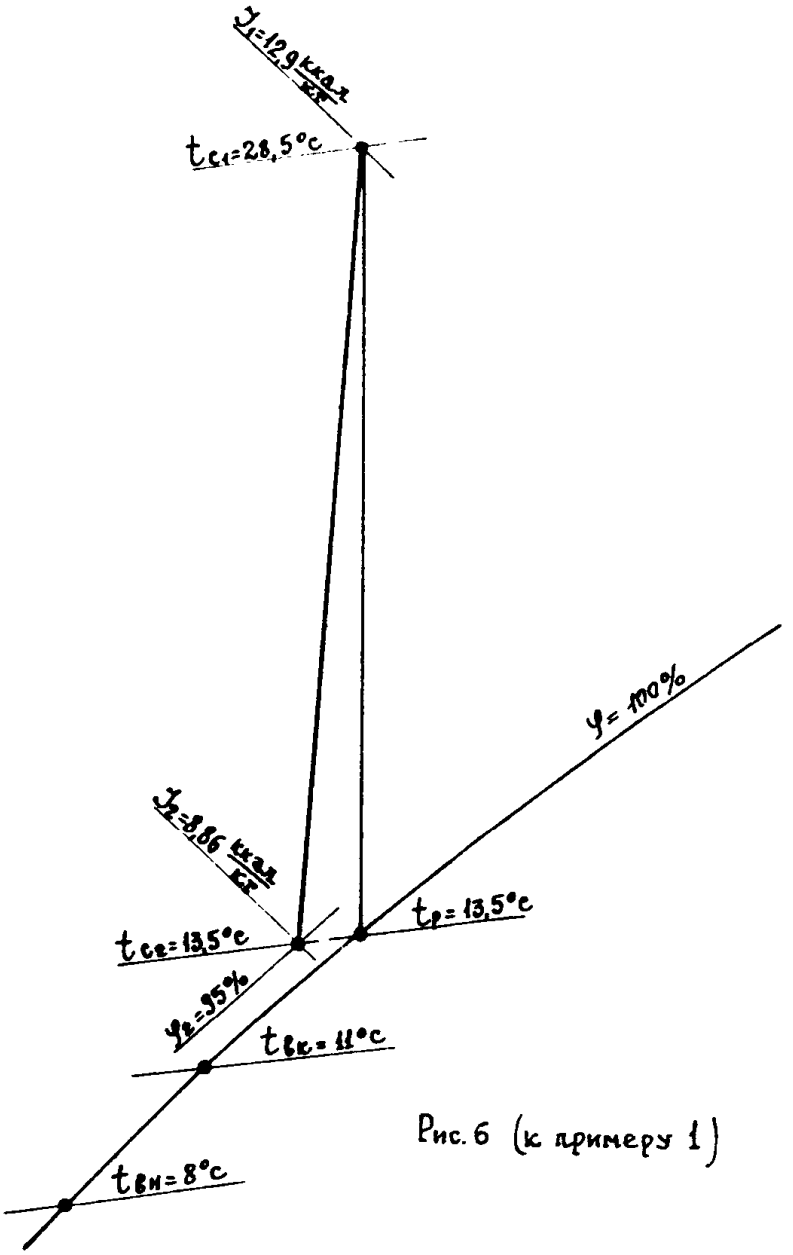


Рис. 6 (к примеру 1)

Пример 2. Расчет процесса охлаждения и осушения воздуха.

Решается прямая задача с помощью номограммы и расчетных формул.

Дано: Воздух начального состояния $t_{c_1}=25,5^{\circ}C$; $J_1=11,5$ ккал/кг; $t_p=12^{\circ}C$ в количестве $G=20200$ кг/ч требуется охладить и осушить в двухрядной оросительной камере Кд 2002 до состояния $J_2=5,74$ ккал/кг $t_{c_2}=8^{\circ}C$. Поперечное сечение камеры $\Psi=2,0$ м^2, $d_0=5,0$ мм, $n=18$ вт/м^2 град. $i=72$ вт., $V\gamma=2,8$ кг/м^{2}сек.

Определить: Коэффициент орошения B, начальную t_{δ_H} и конечную температуру воды.

Решение

Определяем начальную гигрометрическую разность температур

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

1. Расчет проводим по номограмме I и по формулам в табл.2 /см.также табл.14 и п.п.71 и 72/.

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

$$\Delta\bar{J}=\frac{J_1-J_2}{c_p(t_{c_1}-t_p)}=\frac{11,5-5,74}{0,24\cdot13,5}=1,78$$

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

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

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

4. Определяем значение критерия R;

находим разность температур $t_p-t_{\delta_H}=12-4=8$;

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

5. Определяем значение критерия M_I.

$$M_I = \frac{t_p - t_{вн}}{t_{c_1} - t_p} = \frac{I2-4}{25,5-I2} = 0,593$$

6. Определяем произведения критериев M_1R.

$$M_1R = 0,593 \times 2,3 = I,365$$

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_1R откладываем $M_1R = I,365$;

соединяем значения $R = 2,3$ и $M_1R = I,365$ прямой линией и продолжаем ее до пересечения в точке "б" с немой шкалой α;

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

соединяем $\Delta\bar{J} = I,78$ 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 /I0/ в табл.2

$$\Delta\bar{J} = 0,67\ /1 + M_1R\ /\ R^{-0,3} B^{0,53}$$

Решая относительно

$$B^{0,53} = \frac{\Delta\bar{J}}{0,67/1+M_1R/\ R^{-0,3}} = \frac{1,78}{0,67/1+1,365/\ 0,779} = I,444,$$

найдем, что $B_J = 2,0$.

Значения $R^{-0,3} = 2,3^{-0,3} = 0,779$ и $B=2,0$ при $B^{0,53} = I,444$ вычисляются по таблицам I8 и I9 в приложении.

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

а/ с помощью номограммы I:

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

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

соединяем значения $M_1 = 0,593$ и $\Delta\bar{T}_C = I,3$ 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

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

Решая относительно

$$B^{0,35} = \frac{\Delta\bar{T}_c}{/0,73+0,49M_1/} = \frac{I,3}{0,73+0,49x0,593} = I,274,$$ найдем, что $B_T = 2,0$. Значение $B = 2,0$ при $B^{0,35} = I,274$ определяется по табл.I8 в приложении.

9. Сравнение B_T и B_J показывает, что они совпадают. Следовательно, при $B = 2,0$ и $t_{бн} = 4,0^0$ /$M_I = 0,593$/ достигается одновременное получение величин $J_2 = 5,74$ и $t_{c_2} = 8^0C$.

I0. Определяем конечную температуру воды $t_{бк}$.

$$t_{бк} = t_{бн} + \frac{\Delta J}{B} = 4 + \frac{5,76}{2,0} = 4+2,88 = 6,88^0C$$

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

$$W = B.C = 2,0.20200 = 40400 \text{ кг/ч}$$

$$q = \frac{W}{i} = \frac{40400}{72} = 562 \text{ кг/ч}.$$ По рис.2 определяем Ро=2,65 ати. При температуре воды от холодильной станции $t_x = 4^0C$ $W_x = 40400$ 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 $t_{бн}$ справедлив для различных количеств воздуха G, обрабатываемого в рассматриваемой форсуночной камере /см.примечание к примеру 3/.

При этом различные значения U_{γ} и соответствующие им давления воды Ро перед форсунками /для обеспечения постоянного коэффициента орошения B=const при n и i=const/ должны находиться в пределах указанных в табл.4/.

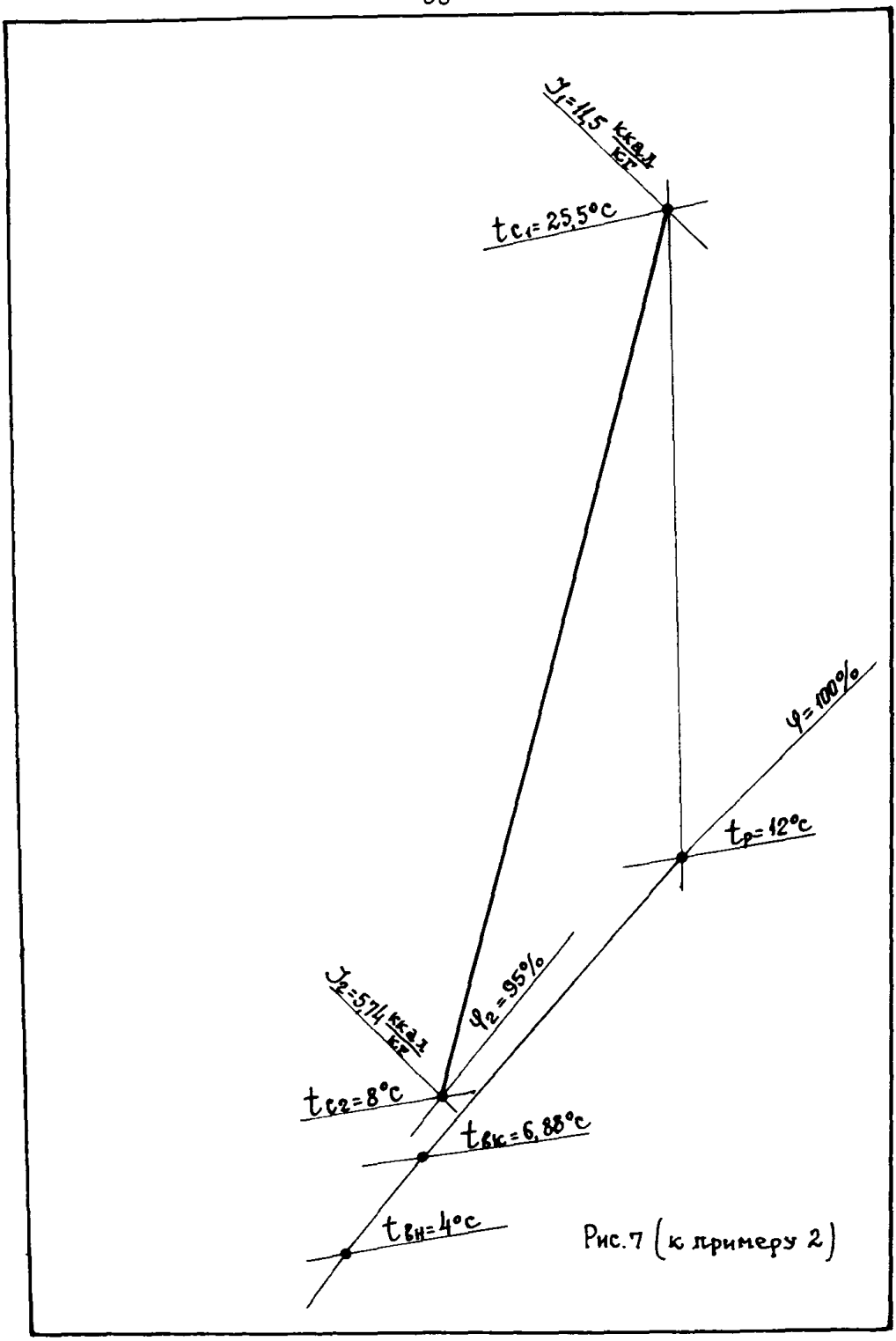


Рис. 7 (к примеру 2)

Пример 3. Расчет процесса охлаждения и осушения воздуха.

Решается обратная задача с помощью номограмм и расчетных формул.

Дано: Воздух начального состояния $t_{c_1}=26^0C$; $J_1=16,7$ ккал/кг; $t_p=22^0C$ $\varphi_1=78\%$ в количестве $G=16550$ кг/ч орошается водой в типовой двухрядной форсуночной камере Кд 2002. Поперечное сечение камеры $\Psi=2,0$ м^2, плотность расположения форсунок на стояках $n=18$ шт/м^2 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 $t_{вн}=6,4^0C$.

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.14/.

Определяем начальную гигрометрическую разность температур

$$\Delta t_p = t_{c_1} - t_p = 26-22 = 4^0C$$

2. Определяем критерий R.

а/ С помощью диаграммы I:

находим разность $t_p - t_{вн} = 22-6,4 = 15,6^0C$;

на оси абсцисс диаграммы откладываем $t_p - t_{вн} = 15,6^0C$ и через эту отметку проводим вертикальную прямую до пересечения в точке "а" с линией соответствующей $t_p = 22^0C$.

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

б/ с помощью формулы /6/ R =I+2,34α.

По таблицам парциальных давлений водяного пара находим:

при $t_р$ =22°С Рп=I9,827 мм рт.ст.

при $t_{вн}$ =6,4°С Рвн=7,209 мм рт.ст.

Вычисляем коэффициент α

$$\alpha = \frac{P_п - P_{вн}}{t_р - t_{вн}} = \frac{I9,827-7,209}{22-6,4} = 0,8I \ \frac{мм\ рт.ст.}{град.}$$

Определяем R =I+2,34x0,8I = 2,895. В расчет принимаем R=2,9.

3. Вычисляем критерий M_I.

$$M_1 = \frac{t_р - t_{вн}}{t_{с_1} - t_р} = \frac{22-6,4}{26-22} = 3,9$$

4. Вычисляем произведение критериев $M_1 R$.

$$M_1 R = 3,9x2,9 = II,3$$

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

а/ с помощью номограммы I:

на шкале R откладываем R =2,9;

на шкале $M_1 R$ откладываем $M_1 R$ =II,3;

соединяем R =2,9 и $M_1 R$ =II,3 прямой линией и продолжаем ее до пересечения в точке "б" с немой шкалой d;

на шкале В откладываем В=I,75;

соединяем прямой линией В=I,75 и точку "б" на немой шкале d.

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.I9 в приложении при $R=2,9$ вычисляем значение $R^{-0,3}=2,9^{-0,3}=0,727$.

По табл.I8 в приложении при $B=I,75$ находим $B^{0,53}=I,75^{0,53}=I,345$.

Определяем критерий $\Delta\bar{J}$

$$\Delta\bar{J}=0,67/I+M_1R/R^{-0,3}B^{0,53}=0,67/I+II,3/0,727xI,345=8,06$$

6. Определяем конечное теплосодержание воздуха после орошения водой.

$$J_2=J_1-\Delta\bar{J}c_p(t_{c_1}-t_p)=I6,7-8,06x0,24x4=I6,7-7,77=8,93 \text{ ккал/кг}$$

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 $B=I,75$;

соединяем $M_1=3,9$ и $B=I,75$ прямой линией и продолжаем 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.I8 в приложении при $B=I,75$ находим $B^{0,35}=I,75^{0,35}=I,2I6$.

Определяем критерий $\Delta\bar{T}c$

$$\Delta\bar{T}c=/0,73+0,49M_1/B^{0,35}=/0,73+0,49x3,9/xI,2I6=3,22$$

8. Определяем температуру воздуха после орошения водой.

$$t_{c_2}=t_{c_1}-\Delta\bar{T}c/t_{c_1}-t_p/=26-3,22x4=I3,I^0C.$$

9. Определяем конечную температуру воды

$$t_{BK}=t_{BH}+\frac{\Delta J}{B}=6,4+\frac{7,77}{I,75}=6,4+4,43=I0,83^0C$$

10. Определяем расход воды W_x холодильной станцией при температуре холодной воды $t_x = 5^0C$.

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

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 Ро перед форсунками

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

При $q = 403$ кг/ч и $d_0 = 5,0$ мм по рис.2 определяем Ро=1,45ати

Определяем мощность циркуляционного насоса /без учета сопротивления сети/.

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

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

Примечание

Приведенный выше расчет величин J_2 и t_{c_2} справедлив для различных количеств воздуха G, обрабатываемого в оросительной камере /$G = V\alpha\tau$; и $V\gamma = V\alpha\tau$ /.

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

Так, например:

а/ По условиям примера G=I6550 кг/ч $\upsilon\gamma = \frac{G}{3600 \cdot \psi}$ =

$= \frac{16550}{3600 \cdot 2}$ =2,3 кг/м^{2}сек. $W = B \cdot C$=I,75xI6550 = 29000 кг/час,

q=403 кг/ч и Ро=I,45 ати.

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

$\upsilon\gamma = \frac{20200}{3600 \cdot 2}$ =2,8 кг/м^{2}сек., имеем $W = B$ G=I,75.20200=

=36390 кг/ч и $q = \frac{W}{l} = \frac{36390}{72}$ =492 кг/ч. По рис.2 при d_0=5,0 мм

Ро=2,I ати.

в/ При G=I4400 кг/ч чему соответствует $\upsilon\gamma = \frac{14400}{7200}$ =

=2,0 кг/м^{2}сек, имеем W =I,75xI4400= 25200 кг/ч и

$q = \frac{25200}{72}$ = 350 кг/ч.

По рис.2 получим Ро=I,0 ати.

Таким образом, полученные в результате расчета при условии B=I,75 и t_{BH}=6,4 конечные параметры воздуха и воды J_2=8,98 ккал/кг t_{C_2}=I3,I°C и t_{BK}=I0,83°C останутся без изменений несмотря на обработку в оросительной камере разных количеств воздуха: G=20200 кг/ч / $\upsilon\gamma$ =2,8/; G=I6550 кг/ч /$\upsilon\gamma$ =2,3/ и G=I4400 кг/ч / $\upsilon\gamma$ =2,0/.

Полученные сочетания величин $\upsilon\gamma$ =2,8 и Ро=2,I ати. $\upsilon\gamma$=2,3 и Ро=I,45 ати; $\upsilon\gamma$=2,0 и Ро=I,0 ати находятся в пределах указанных в табл.4.

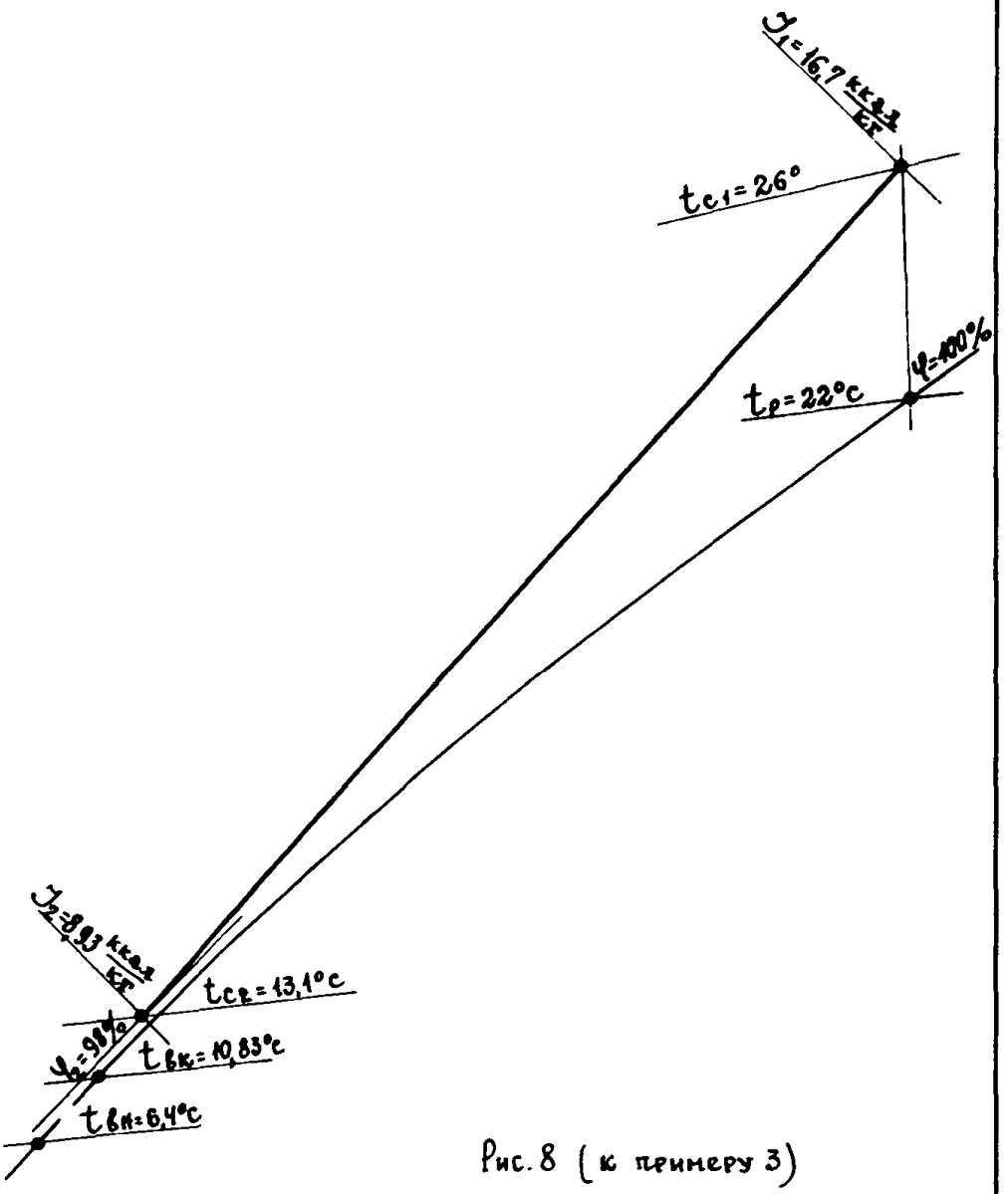


Рис. 8 (к примеру 3)

Пример 4. Расчет процесса охлаждения и осушения воздуха.

Решается обратная задача с помощью номограмм.

Дано: Воздух начального состояния $t_{c_1}=37^0C$ $J_1=17,9$ ккал/кг $t_p=20^0$ в количестве $G=109000$ кг/ч.

Орошается водой в двухрядной /$i=2$/ форсуночной камере Кд 12002 с поперечным сечением $\Psi=12,1$ м^2. Плотность расположения форсунок $n=18$ шт/м^2 град. $d_0=5,0$ мм. Общее число форсунок $i=432$ шт, взаимовстречное распыление воды. Весовая скорость воздуха $v\gamma=2,5$ кг/м^{2}сек. Коэффициент орошения $B=1,4$. Начальная температура распыляемой воды $t_{бн}=9,8^0C$.

Определить: Конечные параметры воздуха после орошения J_2 и t_{c_2} конечную температуру воды $t_{бк}$ и расход воды холодильной станцией.

Решение

1. Расчет проводим по номограмме I /см.табл.2 и 14/ .

Определяем начальную гигрометрическую разность температур

$\Delta t_p = t_{c_1} - t_p = 37-20 = 17^0C$

2. Определяем критерий R :

находим разность $t_p - t_{бн} = 20-9,8 = 10,2^0C$;

на диаграмме I производим построения, аналогичные нанесенному примеру. При $t_p - t_{бн} = 10,2^0C$ и $t_p = 20^0$ находим $R=2,94$.

3. Вычисляем критерий M_I

$$M_1 = \frac{t_p - t_{бн}}{t_{c_1} - t_p} = \frac{20-9,8}{37-20} = 0,6$$

4. Вычисляем произведение критериев

$M_1 R = 0,6 \cdot 2,94 = 1,765.$

5. Определяем относительное изменение теплосодержания ΔJ.

Производя построения на номограмме I /в последовательности указанной в примере 3 п.5а/ найдем, что при известных R =2,94; M_1R=I,765 и B=I,4 величина ΔJ=I,59.

6. Определяем конечное теплосодержание воздуха после орошения водой.

$$J_2 = J_1 - \Delta J C_p (t_{c_1} - t_p) = I7,9 - I,59\ 0,24.I7 = I7,9 - 6,49 = II,4 \text{ ккал/кг}$$

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=I,4 и M_T=0,6 величина $\Delta \bar{T}c$ =I,I53.

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

$$t_{c_2} = t_{c_1} - \Delta \bar{T}c\,(t_{c_1} - t_p) = 37 - I,I53.I7 = 37 - I9,6I = I7,4^0C.$$

9. Определяем конечную температуру отепленной воды

$$t_{бк} = t_{бн} + \frac{\Delta J}{B} = 9,8 + \frac{6,49}{I,4} = 9,8 + 4,64 = I4,44^0C$$

I0. Определяем расход воды холодильной станцией при t_x=5°C

$$W_x = \frac{G \cdot \Delta J}{t_{бк} - t_x} = \frac{I09000.6,49}{I4,44 - 5,0} = 75000 \text{ кг/ч}$$

II. Определяем расход воды в камере орошения

$$W = B.G = I,4.I09000 = I52500 \text{ кг/ ч}$$

I2. Находим производительность форсунок $q_ф$ /при $d_в$=5,0 мм/ давление воды Ро и мощность насоса /без учета сопротивления сети/

$$q_ф = \frac{W}{i} = \frac{I52500}{432} = 354 \text{ кг/ч}.$$ По графику на рис.2 при $q_ф$=354 находим Ро=I,05 ати

$$N = \frac{10,5.I52500}{3600.I02.0,88} \times I,I = 55 \text{ квт}$$

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

На этом теплотехнический расчет заканчивается.

I3. Определяем коэффициент влаговыпадения ξ. Согласно п.I9 при M_I от 0 до +I,0 коэффициент ξ по начальным параметрам воздуха и воды находим по формуле /9/:

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

вычисляем $R' = R - I = 2,94 - I = I,94$;

вычисляем $B^{0,I8} = I,062$;

$\xi = I,04/I + M_2 R' / R^{-0,3} B^{0,I8} = I,04/I + 0,375 \times I,94 / x0,724 \times$

$\times I,062 = I,38$.

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

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

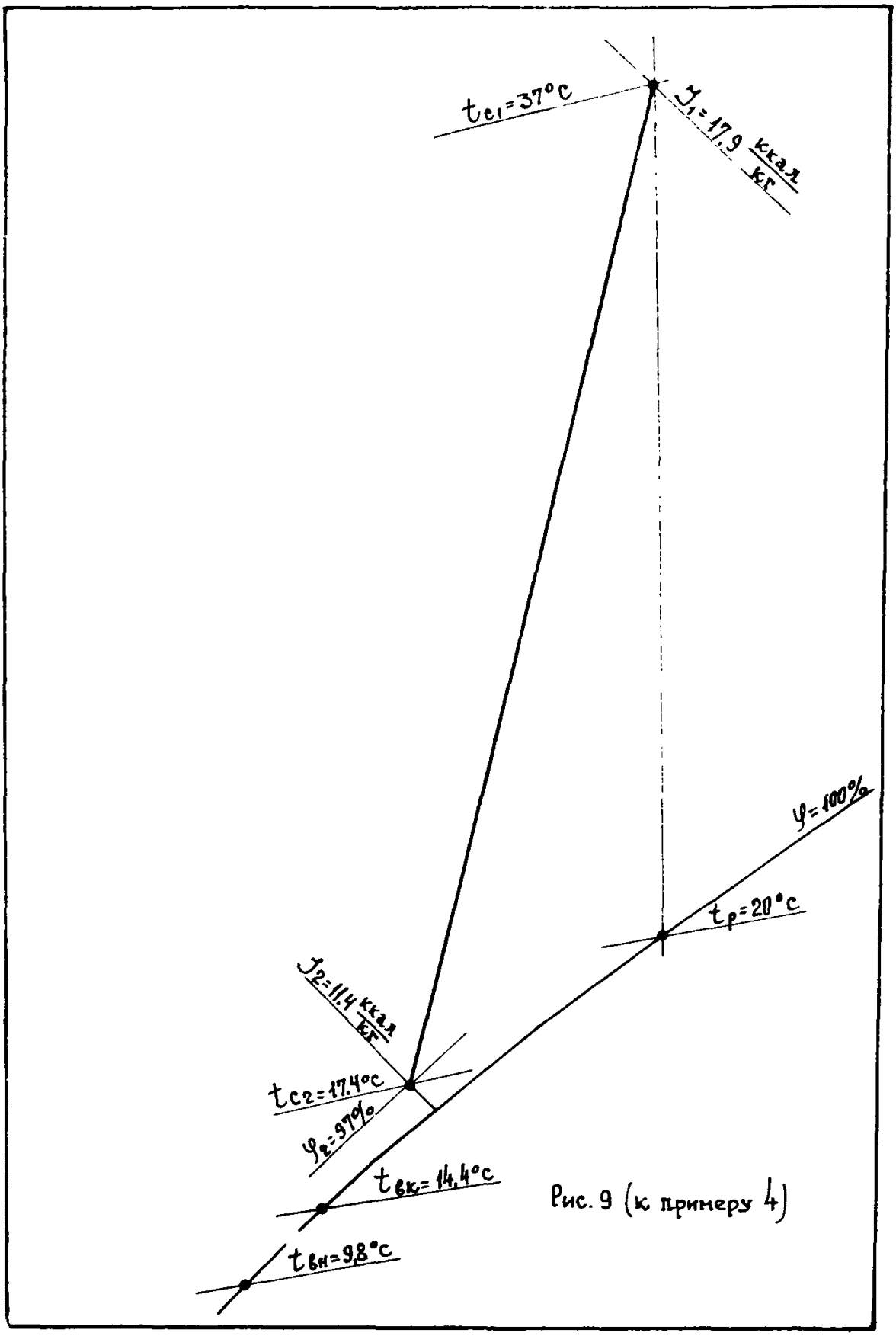


Рис. 9 (к примеру 4)

Пример 5. Расчет процесса сухого охлаждения воздуха / d_1=const/.

Решается прямая задача с помощью номограмм.

Дано: Воздух начального состояния t_{c_1} =31°С; J_1=14,4 ккал/кг и t_p =16°С требуется охладить при постоянном влагосодержании / $d_1 \simeq d_2$=const/ до состояния t_{c_2} =17°С; J_2=11,09 ккал/кг φ_2=95% в двухрядной оросительной камере Кд 6002; n=18 шт/м²град. i=240 шт., d_0=5,0 мм ψ =6,64 м². Количество воздуха G =64500 кг/ч; UJ=2,7 кг/м²сек.

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

Решение

1. Расчет проводим по номограмме I /см.табл.2, 14 и п.п.71 и 72/.

Определяем начальную гигрометрическую разность температур

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

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 $t_{бн} < t_p$; принимаем начальную температуру воды $t_{вн}$=13°С

4. Определяем критерий R:

находим разность $t_p - t_{вн}$ =16-13 = 3°С;

на диаграмме I при $t_p - t_{бн}$ =3°С, t_p =16 и $t_{вн}$ =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

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

7. Определяем коэффициент орошения $B=B_J$, 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 $R = 2,87$, $M_I R = 0,574$ 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_J показывает, что они совпадают. Следовательно, при $B=1,4$ и $t_{вн} = 13^0C$ /$M_I = 0,2$/ достигается одновременное получение величин $J_2 = 11,09$ ккал/кг, $t_{c_2} = 17^0C$.

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

$$t_{вк} = t_{вн} + \frac{\Delta J}{B} = 13 + \frac{14,4-11,09}{1,4} = 13 + 2,36 = 15,36^0C$$

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

$W = B.G = 1,4.64500 = 90400$ кг/ч $\quad q = \frac{W}{L} = \frac{90400}{240} = 376$ кг/ч

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

I2. Определяем расход воды холодильной станцией при t_x=5°С.

$$W_x = \frac{G \cdot \Delta J}{t_{вк} - t_x} = \frac{64500 \cdot 3,31}{15,35-5} = 20600 \text{ кг/ч}$$

Процесс в J-d диаграмме представлен на рис.I0.

На этом теплотехнический расчет считается законченным.

Примечание:

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

При этом различные значения /$\vartheta\gamma$/ и соответствующие им давления воды Ро перед форсунками /для обеспечения B=const/ при и и i=const/ должны находиться в пределах указанных в табл.4/.

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

$$B_m = \frac{C_p}{M_I C_в} = \frac{0,24}{0,21} = I,2$$

Действительное значение B_I согласно п.24, обычно в I,I÷I,2 раза больше теоретического значения. Тогда B_I=I,I7·B_m I,I7·I,2 = =I,4, что соответствует коэффициенту В определенному по номограмме I.

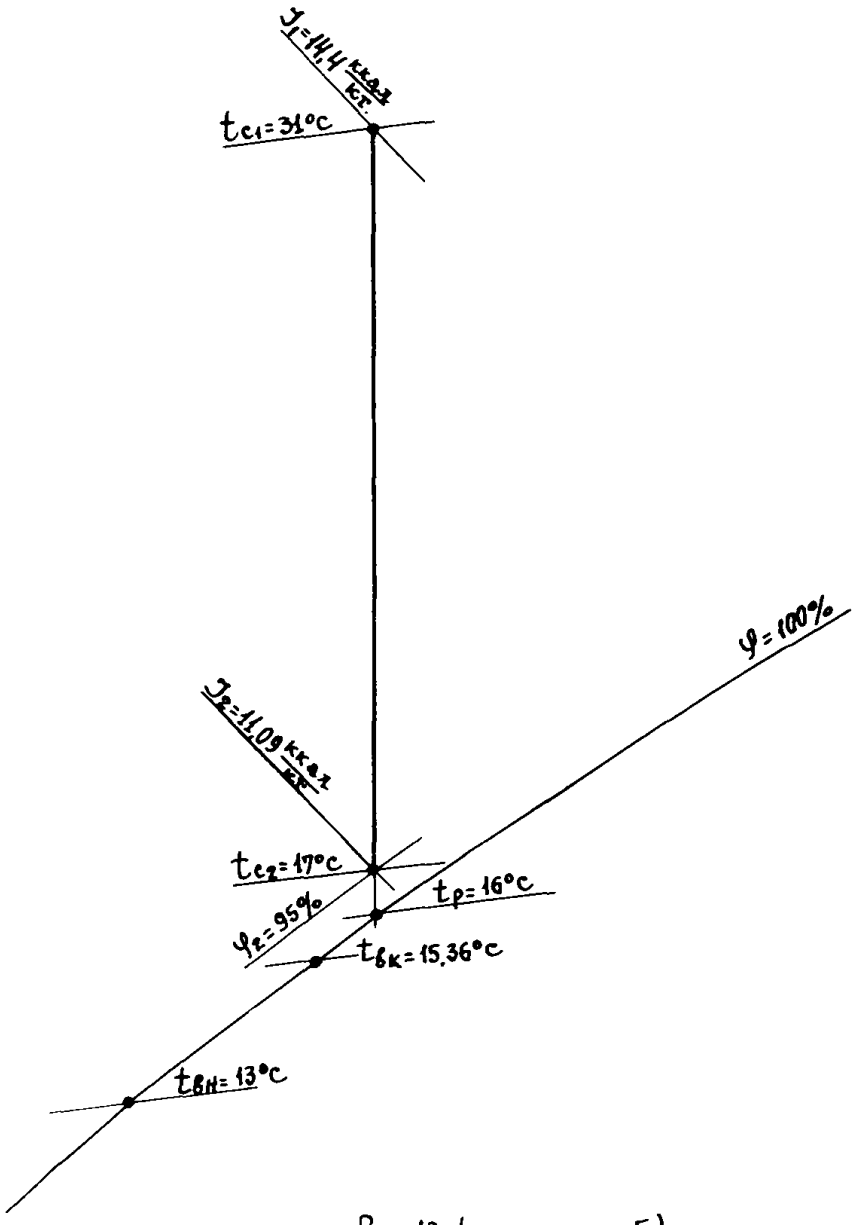


Рис. 10 (к примеру 5)

Пример 6. Расчет процессов охлаждения и увлажнения воздуха.

Решается обратная задача.

Дано: Воздух начального состояния $t_{c_1}=33^0C$; $J_1=15,4$ ккал/кг $t_p=17^0C$ в количестве $G=20500$ кг/ч / $U=2,85$ кг/м^{2}сек./охлаждается и увлажняется в двухрядной оросительной камере Кд 2002. Поперечное сечение камеры $\Psi=2,0$ м^2; $n=18$ шт/м^{2}ряд; $i=72$ шт. Коэффициент орошения $B=1,0$. Начальная температура распыляемой воды $t_{BH}=18^0C$.

Определить: Конечные параметры J_2 и t_{c_2} 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

I. Расчеты проводим по номограммеI и 2 /см.табл.2 и I4/

Определяем гигрометрическую разность температур

$$\Delta t_p = t_{c_1} - t_p = 33-17 = 16^0C$$

2. Определяем критерий R:

находим разность $t_p - t_{BH} = 17-18 = -1^0C$;

на диаграмме I производим построения аналогичные нанесенному примеру. При $t_p - t_{BH} = -1^0C$, $t_p = 17^0C$ и $t_{BH} = 18^0C$ находим $R=3,24$.

3. Вычисляем критерий M_I

$$M_I = \frac{t_p - t_{BH}}{t_{c_1} - t_p} = \frac{-1}{16} = -0,0625$$

4. Определяем произведение критериев $M_1 R$.

$$M_1 R = -0,0626 \cdot 3,24 = -0,202$$

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

Производя построения на номограммах /в последовательности указанной в примере 3 п.5а/ при известных $R=3,24$; $M_1R=0,202$ и $B=1$ найдем:

по номограмме I, 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

$$J_2=J_1-\Delta\bar{J}C_p(t_c-t_p)=15,4-0,375\ 0,24\cdot16=15,4-1,44=13,96 \text{ ккал/кг};$$

для $d_0=3,0$ мм

$$J_2=J_1-\Delta\bar{J}C_p(t_c-t_p)=15,4-0,392\ 0,24\cdot16=15,4-1,51=13,89 \text{ ккал/кг}$$

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

Производя построения на номограммах /в последовательности указанной в примере 3 п.7/ при известных $B=1$ и $M_1=0,0625$, найдем:

по номограмме I, 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

$$t_{c_2}=t_{c_1}-\Delta\bar{T}c\,(t_{c_1}-t_p)=33-0,7\cdot16=33-11,2=21,8^{\circ}C;$$

для $d_0=3,0$ мм

$$t_{c_2}=t_{c_1}-\Delta\bar{T}c\,(t_{c_1}-t_p)=33-0,77\cdot16=33-12,32=20,7^{\circ}C$$

9. Определяем конечную температуру воды

для d_0=5,0 мм

$t_{вк} = t_{вн} + \frac{\Delta J}{B}$ =I8+I,44 = I9,44°C

для d_0=8,0 мм

$t_{вк} = t_{вн} + \frac{\Delta J}{B}$ =I8+I,5 = I9,5°C.

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

Для d_0 =5,0 мм

$W = G \cdot B$ =20500.I=20500 кг/ч; $q = \frac{W}{t} = \frac{20500}{72}$ =285 кг/ч.

По рис.2 при q =285 и d_0 =5,0 мм

находим Ро=0,7 ати, $N = \frac{20500 \cdot 7 \cdot I,2}{I02 \cdot 3600 \cdot 0,88}$ = 0,54 квт

Для d_0 =8,0 мм

W=20500 кг/ч q =285 кг/ч .

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

$$N = \frac{20500 \cdot 28 \cdot I,I5}{I02 \cdot 3600 \cdot 0,88} = 2,1 \text{ квт}$$

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

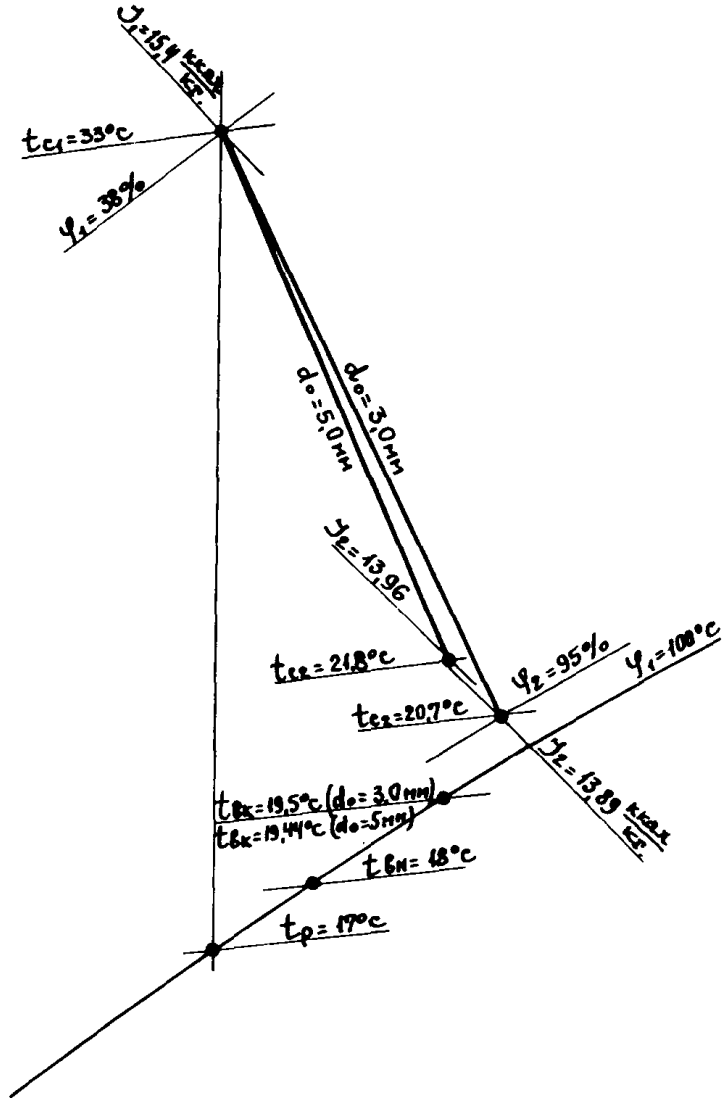


Рис. 11 (к примеру 6).

Пример 7. Расчет процессов охлаждения и осушения насыщенного воздуха.

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

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

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

2. Определяем критерий R:

находим разность $t_p-t_{бн}=15-2=13^0C$;

на диаграмме I производим построения аналогичные нанесенному примеру. При $t_p-t_{бн}=13^0C$ и $t_p=15^0C$ находим $R=2{,}36$.

3. Определяем величину изменения теплосодержания воздуха ΔJ

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

4. 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 $\varphi_2=100\%$ $t_{c_2}=7{,}2^0C$.

5. Определяем конечную температуру воды

$$t_{вк} = t_{вн} + \frac{\Delta J}{B} = 2 + \frac{4,6I}{I,5} = 5,I^{o}C$$

На этом теплотехнический расчет считается законченным. Процесс в J-d диаграмме представлен на рис.12

Примечание:

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

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

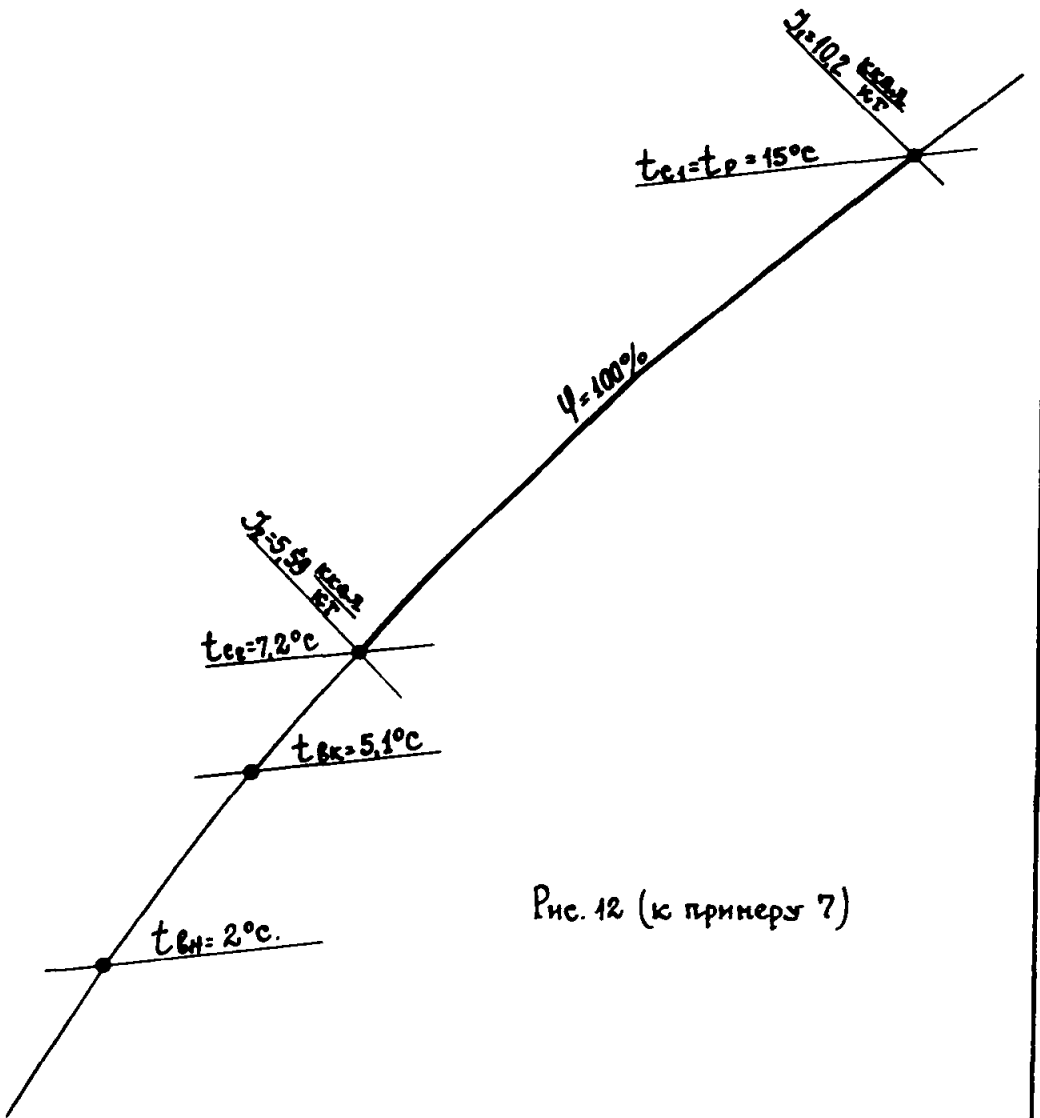


Рис. 12 (к примеру 7)

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

Дано: Воздух начального состояния $t_{c_1}=37^{\circ}C$; $J_1=17{,}9$ ккал/кг $t_p=20^{\circ}C$ в количестве $G=79500$ кг/ч орошается водой в двухступенчатой камере Кд 8802. В качестве охладителей приняты две двухрядные камеры Кд8002 каждая поперечным сечением $\Psi=7{,}9$ м^2, $n=18$, $i=288$ шт.; $d_0=5{,}0$ мм; $U\gamma=2{,}8$ кг/м^{2}сек. Схема соединения камер по воде и воздуху показана на рис.4.

Начальная температура распыляемой воды в камере орошения второй ступени $t_{вн}=15^{\circ}C$. 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

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

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

2. Определяем критерий R:

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

на диаграмме I производим построения, аналогичные нанесенному примеру. При $t_p-t_{вн}=5^{\circ}C$, $t_p=20$ 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 $M_1 R$.

$$M_1 R = 0{,}294 \cdot 3{,}22 = 0{,}947$$

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 $R = 3{,}22$, $M_1 R = 0{,}947$ 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 $M_1 = 0{,}294$ величина $\Delta\bar{T}c = 1{,}17$.

8. Определяем температуру воздуха после орошения в двухступенчатой камере

$$t_{c_2} = t_{c_1} - \Delta\bar{T}c\,(t_{c_1} - t_p) = 37 - 1{,}17 \cdot 17 = 37 - 19{,}85 = 17{,}15^0\text{C}.$$

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

$$t_{вк} = t_{вн} + \frac{\Delta J}{B} = 15 + \frac{6{,}37}{1{,}6} = 15 + 3{,}98 = 19^0\text{C}.$$

10. Определяем количество распыляемой воды W в каждой камере, производительность одной форсунки q, давление Ро 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 л/час. По рис.2 при d_c=5,0 мм и q =442 находим Ро=1,6 ати.

$$N = \frac{127200 \cdot 16 \cdot 1,1}{102 \cdot 3600 \cdot 0,88} = 6,9 \text{ квт}$$

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°С оказывается ниже конечной температуры воды $t_{вк}$ =19°С /см.п.34/.

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

Примечание:

Приведенный расчет величин J_2 и t_{c_2} при В=1,6 и $t_{вн}$=15°С справедлив для различных количеств воздуха G /$\upsilon\gamma$/ обрабатываемого в форсуночной камере /см.примечание к примеру 3/.

Однако, при различных значениях G /$\upsilon\gamma$/ величина коэффициента орошения В должна сохраняться постоянной. Значения различных /$\upsilon\gamma$/ и соответствующие им давления воды Ро /для обеспечения В=1,4 = const , т.к. и i = const /должны находиться в пределах указанных в табл.6/.

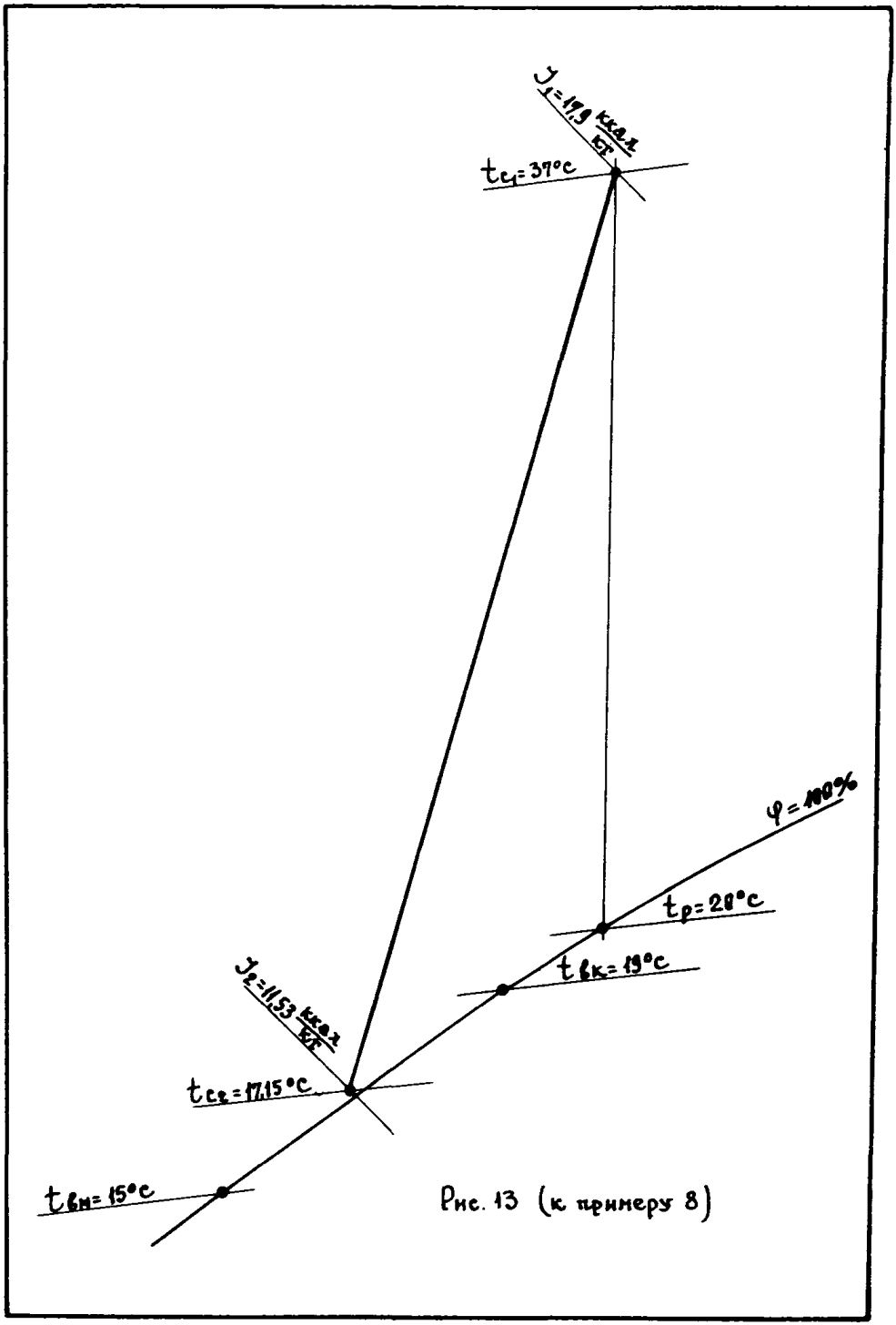


Рис. 13 (к примеру 8)

Пример 9. Расчет процесса адиабатического увлажнения воздуха.

Решается прямая задача.

Дано: Воздух начального состояния t_{c_1} =33,5°С; $t_{м_1}$ =27°С; $t_р$ =24,9°С в количестве G=81000 кг/ч /$\vartheta\gamma$=2,85 кг/м²сек/ требуется адиабатически охладить в оросительной камере КД 8002 до температуры t_{c_2}=27,65°С. Поперечное сечение камеры ψ=7,9м², n=18 шт/м²ряд, d_0=5,0 мм.

Определить: Коэффициент орошения В

а/ в однорядной противоточной камере /$\bar{z}$=1/

б/ в двухрядной камере /$\bar{z}$=2/

Решение

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

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

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

2. Определяем величину критерия R:

находим разность

$t_р - t_{\text{м}} = t_р - t_{м_1}$ =24,9-27 =-2,1°С;

на диаграмме I производим построения аналогичные вышеописанному примеру /см.пример 3 п.2а/ и при $t_р - t_{\text{м}}$ =-2,1°С и $t_р$=24,9°С находим R=4,5

/так как R=4,5>2,7, то коэффициент β см.рис.5 равен I./

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 $Z=I$ и B=0,9 для $Z=2$.

4. Определяем расходы циркуляционной воды W, производительность форсунок q_1, давление перед форсунками Po и мощность циркуляционного насоса

Для $Z=I$

$W=B\cdot G=0,735.8I000 = 5950\omega$ кг/ч, $q=\frac{W}{l}=\frac{59500}{I44}=4I3$ кг/ч.

При $q_1=4I3$ и $d_0=5,0$ мм по рис.2 находим Po=I,4 ати

$$N=\frac{59500.14.I,I5}{I02.3600.0,88}=3,I \text{ квт}$$

Для $Z=2$

$W=B\cdot G=0,9.8I000 = 72900$ кг/ч $\quad q=\frac{72900}{288}=253$ кг/ч

По рис.2 при $d_0=5,0$ мм принимаем минимальные Po=0,7 ати / $q_1=295$ кг/ч/.

$$N=\frac{72900.7.I,I5}{I02.3600.0,88}=1,8 \text{ квт}$$

На этом теплотехнический расчет считается законченным. Процесс в J-d диаграмме представлен на рис.I4.

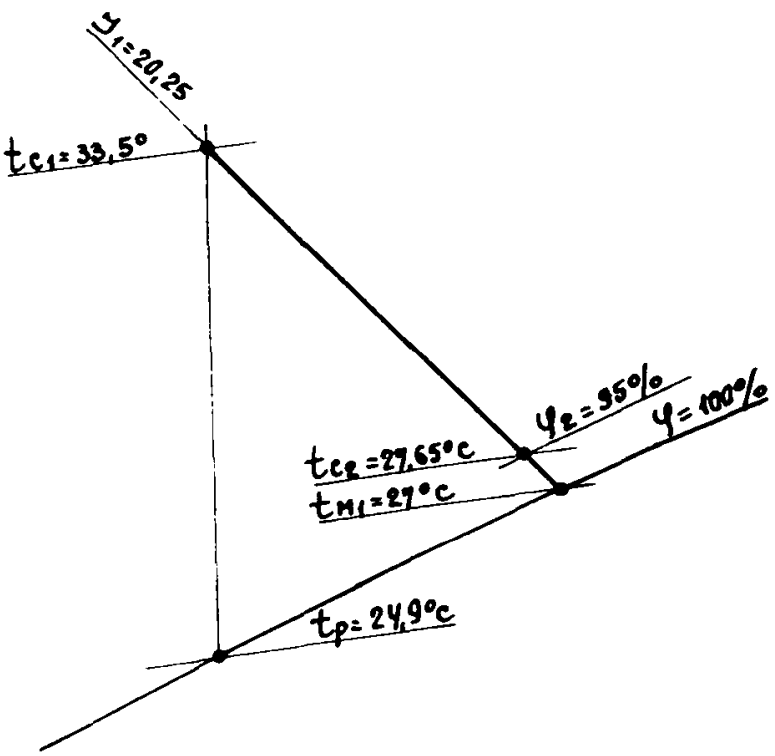


Рис. 14 (к примеру 9)

Пример:10. Расчет процессов адиабатического увлажнения воздуха.

Решается обратная задача.

Дано: Воздух начального состояния t_{c_1}=16,8°С; $t_м$=6°С; $t_р$=10°С в количестве G=81000 кг/ч адиабатически охлаждается в двухрядной оросительной камере Кд 8002, $v_ж$=2,85 кг/м²сек Ψ=7,9 м², n=18 шт/м²ряд, d_0=5,0 мм, i=288 шт. Коэффициент орошения B=1,12.

Определить: Конечную температуру воздуха t_{c_2} после орошения.

Решение

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

находим разность

$t_р - t_{бн} = t_р - t_м = -10-6 = -16°С$;

на диаграмме 2 производим построения аналогичные нанесенному примеру и при известных $t_р - t_{бн} = -16°С$ и $t_р = -10°С$, 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 β=0,86.

4. Определяем конечную температуру воздуха t_{c2}

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

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

В однорядной камере величина $\Delta\bar{T}c$ = 0,428×0,86=0,367 / t_{c2} = 7,0°/ 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 практически одинаковую величину $E_A \simeq 0,9$. При этом коэффициенты орошения B

такие должны получиться одинаковыми, так как $B = AE_A^K (U\gamma)^\delta = const$

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.

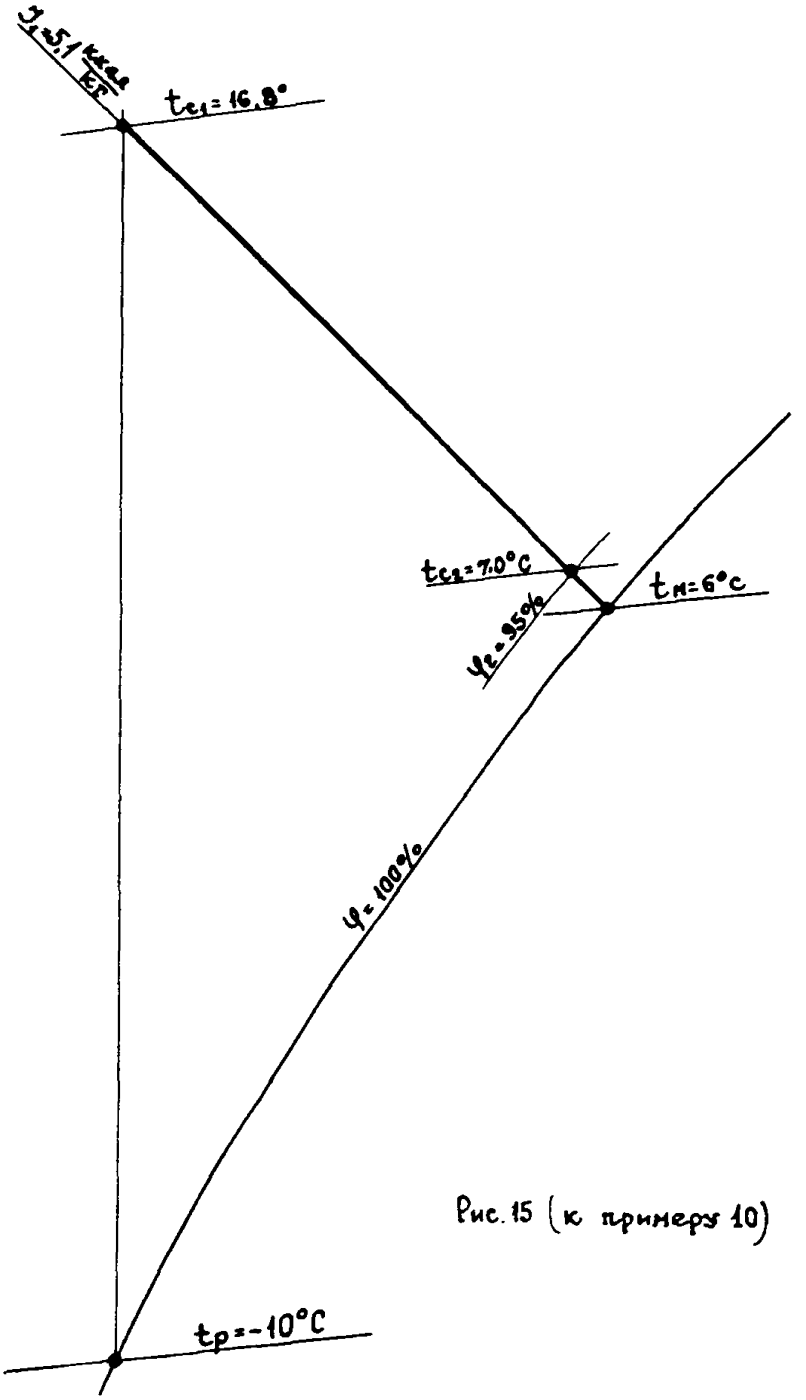


Рис. 15 (к примеру 10)

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

Дано: Воздух начального состояния /после калорифера первого подогрева/ $t_{c_1}=25^0C$, $J_1=8{,}4$ ккал/кг $t_p=0^0C$ в количестве $G=81000$ кг/ч требуется изотермически увлажнить до состояния $t_{c_2}=25^0C$; $J_2=17{,}60$ ккал/кг $\varphi=95\%$ в двухрядной оросительной камере Кд 8002 $\Psi=7{,}9$ м^2 п=18 шт/м^2 ряд, $d_0=5{,}0$ мм, $i=288$ шт.

Определить: Коэффициент орошения В, начальную $t_{б_н}$ и конечную $t_{б_к}$ 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

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

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

$$\Delta\bar{J}=\frac{J_1 - J_2}{c_p(t_c - t_p)} = \frac{8{,}4-17{,}60}{0{,}24\times25} = 1{,}53$$

3. Определяем начальную температуру воды $t_{б_н}$. Согласно рекомендациям п.51 и 52 для проведения изотермических процессов увлажнения воздуха, начальная температура воды распыляемой в оросительной камере $t_{б_н}$ должна быть, обычно , на 9-11^{0}С больше температуры воздуха по сухому термометру t_{c_1}. Тогда при $t_{c_1}=25^0$

$$t_{б_н} = t_{c_1} + 10 = 35^0C.$$

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

А/Производим построения на номограмме 6:

на шкале абцисс /в квадрате Б/ откладываем $t_{бн}=35^{0}C$ и проводим вертикальную прямую до пересечения в точке "а" с кривой, соответствующей известному значению $t_{р}=0^{0}C$;

из точки а проводим горизонтальную прямую /в квадрат А/ до пересечения в точке "б" с кривой соответствующей вычисленному значению $\Delta t_{р}=25^{0}C$;

из точки "б" проводим прямую, параллельную наклонным направляющим до пересечения с немой шкалой λ 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 В=I,I.

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

$$t_{бк}=t_{бн}-\frac{J_2-J_1}{B}=35-\frac{17,6-8,4}{1,1}=35-8,35=26,65^{0}C$$

На этом теплотехнический расчет считается законченным.

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

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

$$B_{т}=\frac{KC_{р}}{M_{4}}=\frac{KC_{р}}{\frac{t_{бн}-t_{c_1}}{t_{c_1}-t_{р}}};$$

где $K=\frac{J_н-J_1}{J_1-J_р}$ - коэффициент; $J_н$ - теплосодержание насыщенного воздуха при t_{c_1}; $C_р$ - 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 К

При $t_{c_1}=25^0C$ по J-d диаграмме $J_н=18,4$ ккал/кг, тогда

$$K=\frac{J_н - J_1}{J_1 - J_р}=\frac{18,4-8,4}{0,24/25-0/}=1,67$$

б/ Вычисляем величину M_4

При $t_{вн}=35^0C$

$$M_4=\frac{t_{вн}-t_{c_1}}{t_{c_1}-t_р}=\frac{35-25}{25-0}=0,4$$

в/ Определяем B_m

$$B_m=\frac{KC_р}{M_4}=\frac{1,67\cdot0,24}{0,4}=1,0$$

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

$$B=B_m\cdot1,1=1,0\cdot0,1=1,1$$

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

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

I4. Определяем количество распыляемой воды W, производительность форсунок q, давление перед форсунками Ро и мощность циркуляционного насоса /без учета сопротивления сети/.

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

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

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

$$N = \frac{\text{[illegible]} \cdot 89000 \cdot 1{,}15}{102 \cdot 3600 \cdot 0{,}88} = 2{,}8 \text{ квт}$$

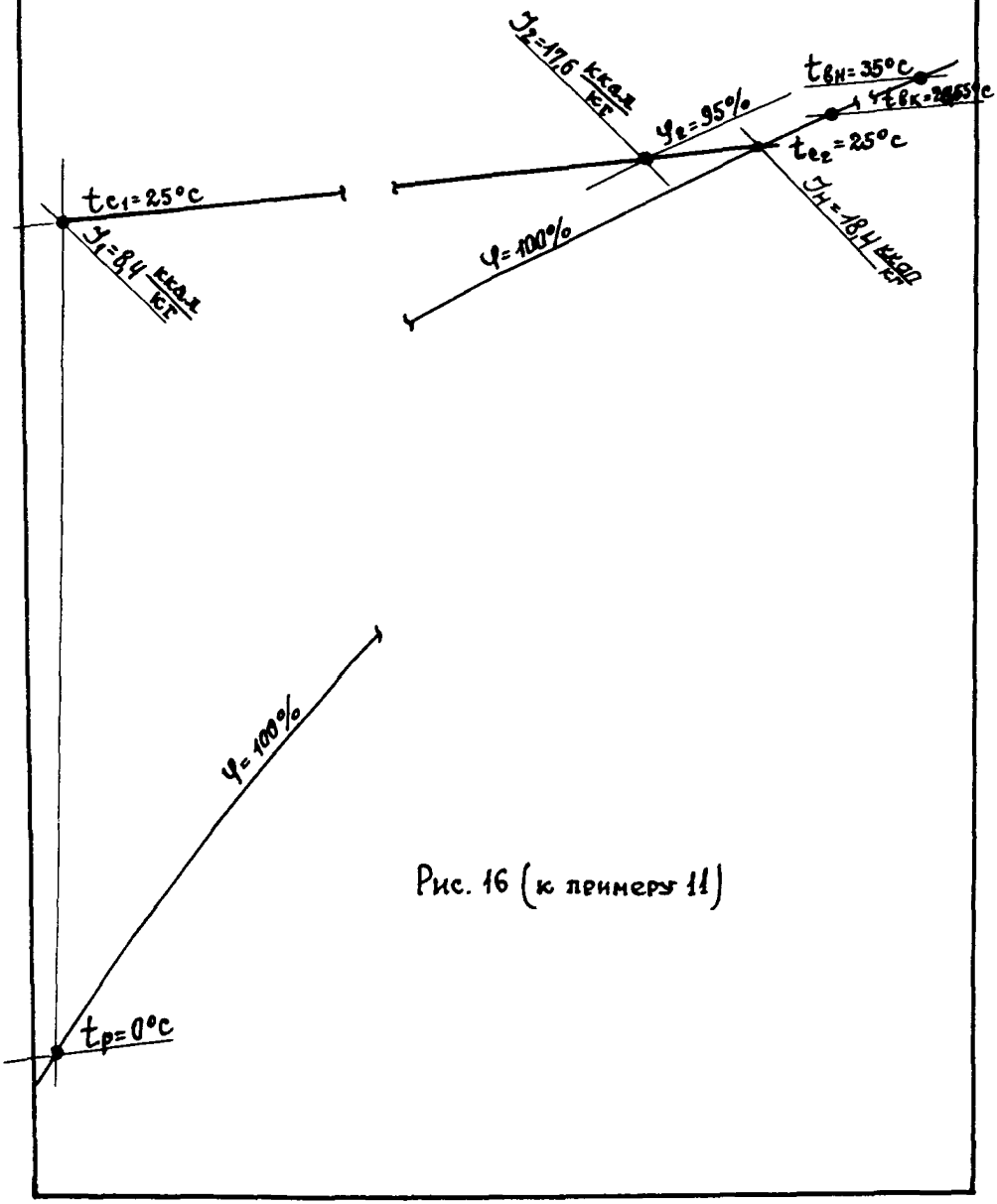


Рис. 16 (к примеру 11)

Пример:I2: Расчет процессов нагрева и увлажнения воздуха. Решается обратная задача.

Дано: Воздух начального состояния /после калорифера первого подогрева/ t_{c_1} =+2°С J_1=I,0 ккал/кг; t_p =-I7,5°С в количестве G=33300 кг/ч орошается водой в двухрядной камере Кд 4002 / ψ =3,7 м^2; d_0 =5,0 мм; n=I3 шт/м^{2}ряд; ω_y=2,5 кг/м^{2}сек. Коэффициент орошения B=I,0. Начальная температура распыляемой воды $t_{в_н}$ =20°С.

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

Решение

I. Расчет проводим по номограмме 6 /см.табл.I0 и I6./

Определяем начальную гигрометрическую разность температур

$$\Delta t_p = t_{c_1} - t_p = +2 - (-I7,5) = I9,5°С$$

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

Производим построения на номограмме 6:

на оси абсцисс /в квадрате Б/ откладываем $t_{в_н}$ =20°С и проводим вертикальную прямую до пересечения в точке "а" с кривой соответствующей известному значению t_p =I7,5°;

из точки "а" проводим горизонтальную прямую /в квадрате А / до пересечения в точке "б" с кривой соответствующей вычисленному значению Δt_p=I9,5°С;

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

на шкале В откладываем B=I,0;

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

8. Определяем конечное теплосодержание воздуха J_2 после орошения

$J_2 = J_1 - \Delta J c_p (t_c - t_p) = I - /- I, 26.0,24.I9,5/ = I+5,9 = 6,9$ ккал/кг

По J-d диаграмме при $J_2 = 6,9$ и $\varphi_2 = 95\%$ находим $t_{c_2} = +I0^{\circ}C$.

4. Определяем конечную температуру воды

$$t_{бк} = t_{бн} + \frac{J_1 - J_2}{B} = 20 - \frac{5,9}{I} = I4,I^{\circ}C$$

На этом теплотехнический расчет считается законченным.

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

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

Общее число форсунок при плотности расположения

$n = I3$ шт/м^2 ряд равно

$$i = n \psi Z = I3.3,7.2 = 96 \text{ шт}$$

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 $P_0 = 0,95$ ати

Процесс в J-d диаграмме представлен на рис.I7.

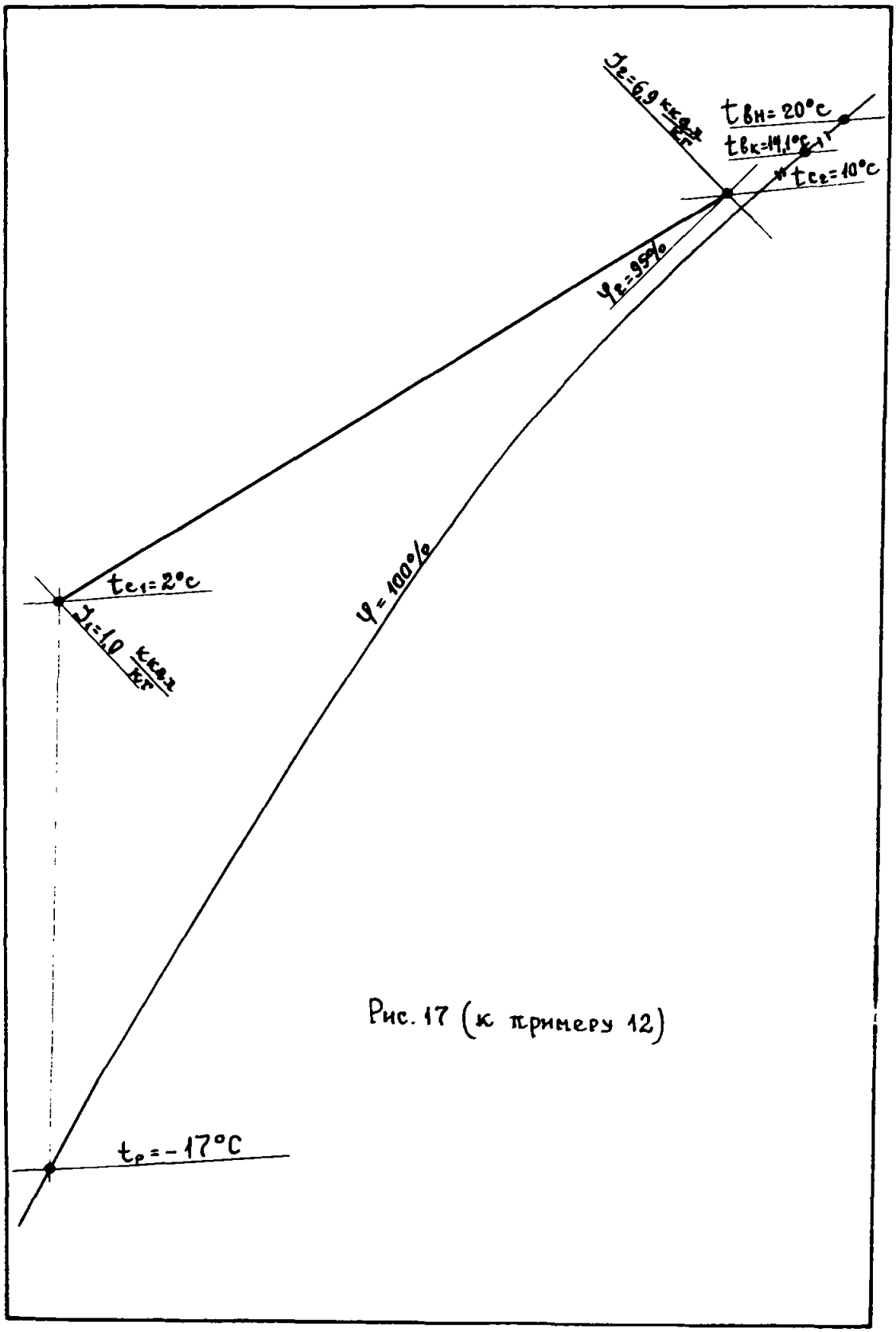


Рис. 17 (к примеру 12)

Пример I3. Расчет процессов нагрева и увлажнения насыщенного воздуха. Решается обратная задача.

Дано: Воздух начального состояния t_{c_1} =-I3°C, J_1=-2,4 ккал/кг, $t_р$ =-I3°C в количестве G=33300 кг/час орошается в двухрядной камере Кд 4002, Ψ =3,7 м², d_o=5,0 мм, n=I3 шт/м² ряд; U_γ=2,5 кг/м² сек. Начальная температура распыляемой воды $t_{в_н}$=20°C. Коэффициент орошения B=I.

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

Р е ш е н и е

I. Расчет проводим по номограмме 4 /см табл.I0,I6 и п.п.48 и 54/.

Определяем гигрометрическую разность температур

$\Delta t_р = t_{c_1} - t_р$ =-I3-/-I3/=0

2. Определяем критерий R:

находим разность $t_р - t_{в_н}$=-I3-20 = -33°C;

на диаграмме 2 производим построения аналогичные нанесенному примеру. При $t_р - t_{в_н}$=-33°C и $t_{в_н}$ =+20°C находим R=2,I2.

3. Определяем величину изменения теплосодержания воздуха ΔJ.

Производим построения на номограмме 4:

на шкале R откладываем R =2,I2;

на шкале $\pm$ /$t_р - t_{в_н}$/ откладываем /$t_р - t_{в_н}$/ = -33°C;

соединяем R =2,I2 и /$t_р - t_{в_н}$/ = -33 прямой и продолжаем ее до пересечения в точке "б" с немой шкалой α;

на шкале B откладываем B=I,0;

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

В точке пересечения прямой со шкалой ΔJ /для процессов нагрева/ находим ответ ΔJ=-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, $t_{c_2} = 6,8^0C$.

5. Определяем конечную температуру воды

$$t_{вк} = t_{вн} + \frac{\Delta J}{B} = 20 - 7,8 = 12,2^0C$$

На этом теплотехнический расчет считается законченным.

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

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

$$q = \frac{W}{t} = \frac{33300}{96} = 348 \text{ кг/ч}.$$ По рис.2 при $d_0 = 5,0$ мм и $q = 348$ находим Ро=0,97 ати.

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 $t_{c_1} = -13^0C$ был подогрет в оросительной камере на $\Delta t_c = t_{c_2} - t_{c_1} = 6,8 - (-13) = 19,8^0C$. Причем в качестве теплоносителя использовалась практически холодная вода с температурой $t_{вн} = +20^0C$. 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 сепаратора. 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 В на 12-18%. В рассматриваемом примере коэффициент орошения для однорядной камеры будет равен $B_0=B_д.1,18 = 1,18$.

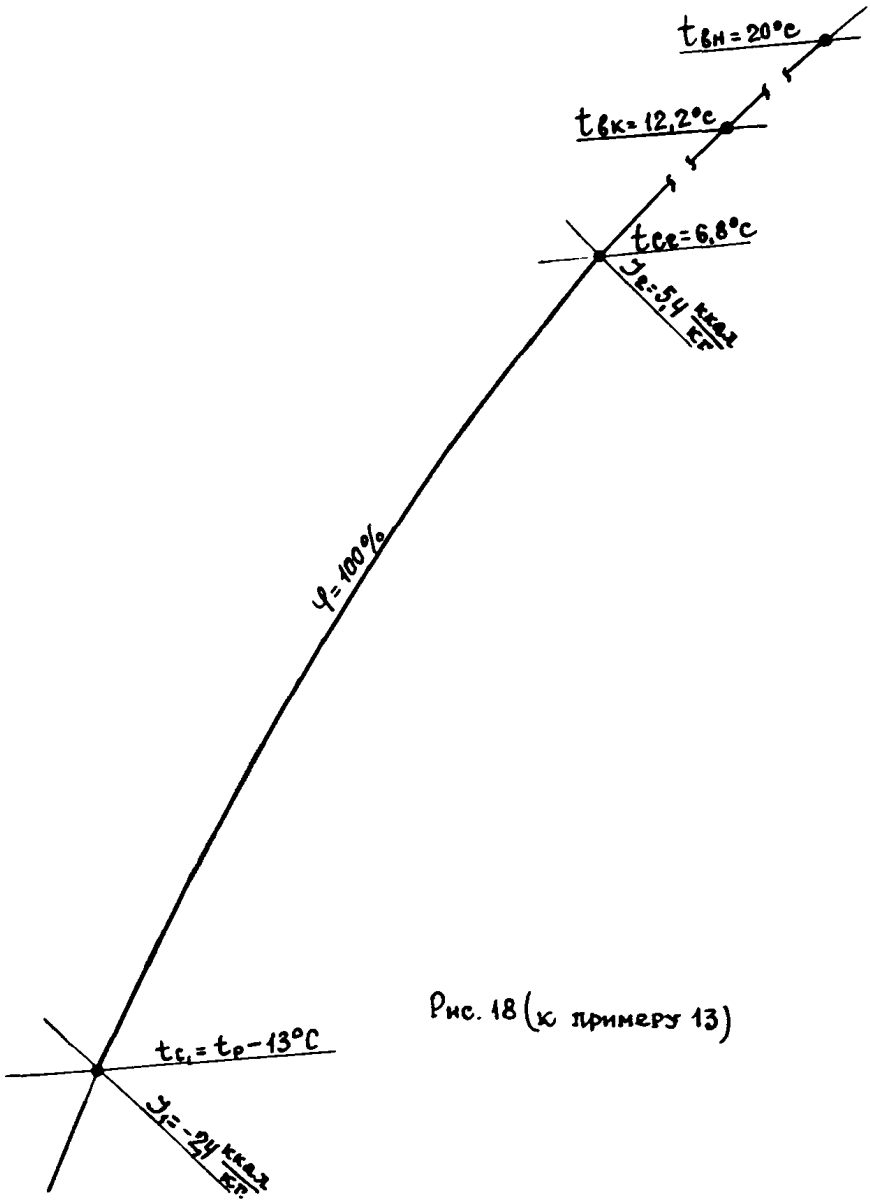


Рис. 18 (к примеру 13)

Пример I4: 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/м^2 сек, ψ =7,9 м^2, Z =2/ требуется охладить воду с начальной температурой $t_{вн}$ =28^{0}С до конечной температуры $t_{вк}$ =24^{0}С. Начальные параметры воздуха перед входом в камеру соответствуют расчетным условиям для гор.Москвы $t_{с_1}$=28,5^{0}С, J_1 =I2,9 ккал/кг., $t_р$ =I3,5^{0}С, $t_м$ =I9^{0}С.

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

а/ форсунками d_0 =3,5 мм при n=I8 шт/м^2 ряд

б/ форсунками d_0 =5,0 мм при n=I3 шт/м^2 ряд.

2. Конечные параметры воздуха J_2 и $t_{с_2}$ после орошения.

Р Е Ш Е Н И Е

I. Расчет производим по номограмме 7 и по формулам в табл.I2 /см.п.п.58-6I и табл.I7/.

Определяем начальную гигрометрическую разность температур

$$\Delta t_р = t_{с_1} - t_р = 28{,}5 - I3{,}5 = I5^0С$$

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

$$\Delta\bar{T}_в = \frac{t_{вк} - t_{вн}}{t_с - t_р} = \frac{24-28}{28{,}5-I3{,}5} = -0{,}267$$

3. Определяем требующийся коэффициент орошения В по номограмме 7:

на шкале абсцисс /в квадрате Б/ откладываем $t_{вн}$ =28^{0}С и проводим вертикальную прямую до пересечения в точке "а" с кривой, соответствующей известному значению $t_р$ =I3,5^{0}С;

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

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

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

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

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

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

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

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

5. Определяем критерий R /см.п.48/:

находим разность $t_р - t_{бн} = 13{,}5-28 = -14{,}5^{\circ}C$;

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

6. Определяем критерий M_I

$$M_I = \frac{t_р - t_{бн}}{t_{сд} - t_р} = \frac{13{,}5-28}{28{,}5-13{,}5} = -0{,}967$$

7. Определяем произведение критериев $M_I R$.

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

8. По табл.I9 в приложении вычисляем $R^{-0,3} = 3,7^{-0,3} = 0,675$

9. Вычисляем значения B

Для $d_0 = 3,5$ мм

$$B^{0,37} = \frac{0,I5 / -2,58 / \times 0,675}{-0,267} = 0,978$$

По табл.I8 в приложении при $B^{0,37} = 0,978$ находим B=0,94

Для $d_0 = 5,0$ мм

$$B^{0,47} = \frac{0,I36 / -2,58 / \cdot 0,675}{-0,267} = 0,887$$

Откуда B=0,77.

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

I0. Определяем количество распыляемой воды W величины q_w, q_f, 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 $i = 288$ шт, производительность одной форсунки составит:

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

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

Количество отведенного в оросительной камере тепла равно

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

в камере с форсунками диаметром 5,0 мм

$W = G_B$ = 79500x0,77 = 61200 кг/ч Плотность орошения $q_w = \frac{W}{\psi} = \frac{61,2}{7,9}$ = 7,75 м³/м²ч. При общем числе форсунок $i = n \cdot z \cdot \psi$ = 13x2x7,9 = 206 шт., производительность одной форсунки составит $q = \frac{61200}{206}$ = 297 кг/ч. По рис.2 при q =297 кг/ч и d_0 =5,0 мм давление воды перед форсунками составит Ро=0,7 атм. Количество отведенного тепла равно

$$Q = WC_в / t_{вн} - t_{вк} /$$ = 61200x4 = 244000 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

$$\Delta\bar{J} = 0,6/1 + M_1 R / R^{-0,3} B^{0,43} = 0,6 / -2,58/x0,675x0,961 = -1,005$$

откуда

$$J_2 = J_1 - \Delta\bar{J} C_p (t_{c_1} - t_p) = 12,9 + 1,005x0,24x15 = 16,52 \text{ ккал/кг}$$

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

Для камер с форсунками d_0 =5,0 мм

$$\Delta\bar{J} = 0,54/1 + M_1 R / R^{-0,3} B^{0,53} = 0,54 / -2,58/x0,675x0,87 = -0,818$$

откуда

$$J_2 = J_1 - \Delta\bar{J} C_p (t_{c_1} - t_p) = 12,9 + 0,818x3,6 = 15,84 \text{ ккал/кг}$$

Температура воздуха после орошения определяется при φ_2= 95% $/t_{c_2} = 23^0 C/$.

На этом теплотехнический расчет считается законченным. Процесс в J-d диаграмме представлен на рис.19. Значения J_2 (с точностью 4÷8%) могут быть вычислены и по уравнению теплового баланса

$$\Delta J = \frac{Q}{G_{возд.}}$$

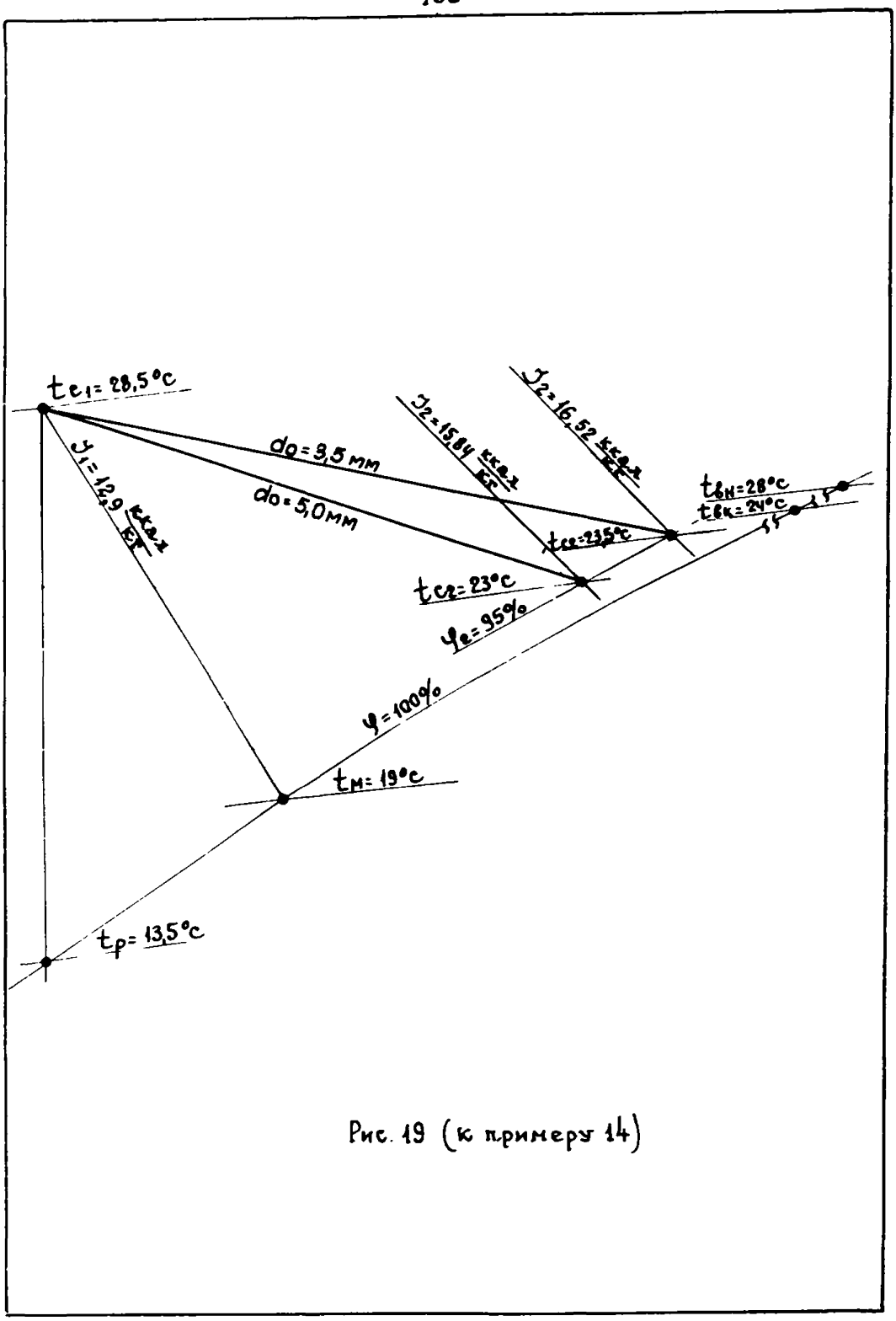


Рис. 19 (к примеру 14)

Пример I5. Расчет охлаждения воды в оросительных камерах.

Решается обратная задача.

Дано: В оросительной камере Кд 8002 / производительностью по воздуху G =79500 кг/ч, $V\gamma$=2,8 кг/м^2 сек, Ψ =7,9 и ζ =2/ охлаждается вода с начальной температурой $t_{бн}$=24^{0}С. Начальные параметры воздуха перед входом в камеру соответствуют расчетным условиям для гор.Москвы $t_{с_1}$ =28,5^{0}С, J_1 =I2,9 ккал/кг $t_р$ =I3,5^{0}С, $t_м$ =I9^{0}С. Коэффициент орошения В=I.

Определить: Конечную температуру воды $t_{бк}$ после охлаждения в камерах оснащенных :

а/ форсунками $d_о$ =3,5 мм при n=I8 шт/м^2 ряд;

б/ форсунками $d_о$ =5,0 мм при n=I3 шт/м^2 ряд.

Р е ш е н и е

I. Расчет производим по номограмме 7 /см.табл.I2 и I7/

Определяем начальную гигрометрическую разность температур

$\Delta t_р = t_{с_1} - t_р$ =28,5-I3,5 = I5^{0}С

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

Производим построения на номограмме 7:

на шкале абцисс /в квадрате Б/ откладываем $t_{бн}$=24^{0}С и проводим вертикальную прямую до пересечения в точке "а" с кривой соответствующей известному значению $t_р$ =I3,5^{0}С;

из точки "а" проводим горизонтальную прямую /в квадрате А/ до пересечения в точке "б" с кривой соответствующей вычисленному значению $\Delta t_р$ =I5^{0}С;

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

на шкале В откладываем В=I;

соединяем прямой линией точку "с" и В=I.

В точках пересечения прямой со шкалами $\Delta\bar{T}\delta$ находим ответ: $\Delta\bar{T}\delta$=-0,I43 при d_0 =3,5 мм и $\Delta\bar{T}\delta$ =-0,I3 при d_0 =5,0 мм.

3. Определяем температуру воды $t_{\delta к}$ после охлаждения в оросительной камере по следующей формуле:

Величина $\Delta\bar{T}\delta = \frac{t_{\delta к} - t_{\delta н}}{t_{с_1} - t_р}$ / откуда $t_{\delta к} = t_{\delta н} + \Delta\bar{T}\delta (t_{с_1} - t_р)$

Тогда:

для d_0 =3,5 мм

$t_{\delta к}$ =24-0,I43./28,5-I3,5/ = 2I,85°C / $t_{м_1}$=I9°C/;

для d_0 =5,0 мм;

$t_{\delta к}$ =24-0,I3 /28,5-I3,5/ = 22,05°C / $t_{м_1}$=I9°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·B =79500xI = 79500 кг/ч. Плотность орошения

$q_w = \frac{W}{\psi} = \frac{79,5}{7,9}$ = I0 м³/м²ч. При общем числе форсунок i =288 шт и n=I8 шт/м² ряд, имеем $q = \frac{W}{i} = \frac{79500}{288}$ =276 кг/ч.

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

$Q_w = WG_\delta(t_{\delta к} - t_{\delta н})$ = 79500xI /24-2I,85/= I7I000 ккал/час.

Для d_0 =5,0 мм

Общее число форсунок составит $i = n \cdot z \cdot \psi$ =I3 · 2 · 7,9 =206 шт., тогда $q = \frac{79500}{206}$ = 386 кг/ч. По рис.2 находим Ро=I,2 атм.

Q_w= 79500.I /24-22,05/ = I55000 ккал/ч

На этом теплотехнический расчет считается законченным.

Пример I6. Расчет охлаждения воды в оросительных камерах. Решается обратная задача.

Дано: В оросительной камере Кд 6002 / производительностью по воздуху G =68I00 кг/ч, γ=2,85 кг/м^2 сек, d_0=5,0 мм, n=I3 шт/м^2 ряд, ψ =6,64 м^2 и Z =2/ требуется охладить воду на Δt =6,9^{0}C. Начальные параметры воздуха перед входом в камеру t_c =24^{0}C ϑ_1 =8,85^{0}C, t_p =4^{0}C, $t_м$ =I3^{0}C. Коэффициент орошения B=0,8.

Определить: Максимальное значение начальной температуры воды $t_{в н}$, которая может быть охлаждена на Δt =6,9^{0}C при указанных начальных параметрах воздуха и коэффициенте орошения.

Р е ш е н и е

I. Расчет производим по номограмме 7 /см.табл.I2,I7 и п.8I/

Определяем начальную гигрометрическую разность температур

$$\Delta t_p = t_c - t_p = 24-4 = 20^0C$$

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

$$\Delta\bar{T}_в = \frac{-\Delta t}{t_c - t_p} = \frac{t_{вк}-t_{вн}}{t_c - t_p} = \frac{-6,9}{24-4} = -0,345$$

3. Определяем начальную температуру воды $t_{вн}$ с помощью номограммы 7:

на шкале B откладываем B=0,8;

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

соединяем B=0,8 и $\Delta\bar{T}_в$ =-0,345 прямой линией и продолжаем ее до пересечения с немой шкалой $\mathcal{L}$ в точке "с";

из точки "с" /в квадрате А/ проводим прямую параллельную наклонным направляющим до пересечения в точке "б" с кривой, соответствующей вычисленному значению $\Delta t_p = 20^0C$;

из точки "б" проводим горизонтальную прямую /в квадрат Б/ до пересечения в точке "а" с кривой, соответствующей известному значению $t_p = 4^0C$;

из точки "а" проводим вертикальную линию до оси абсцисс, на которой находим ответ $t_{бн} = 30^0C$.

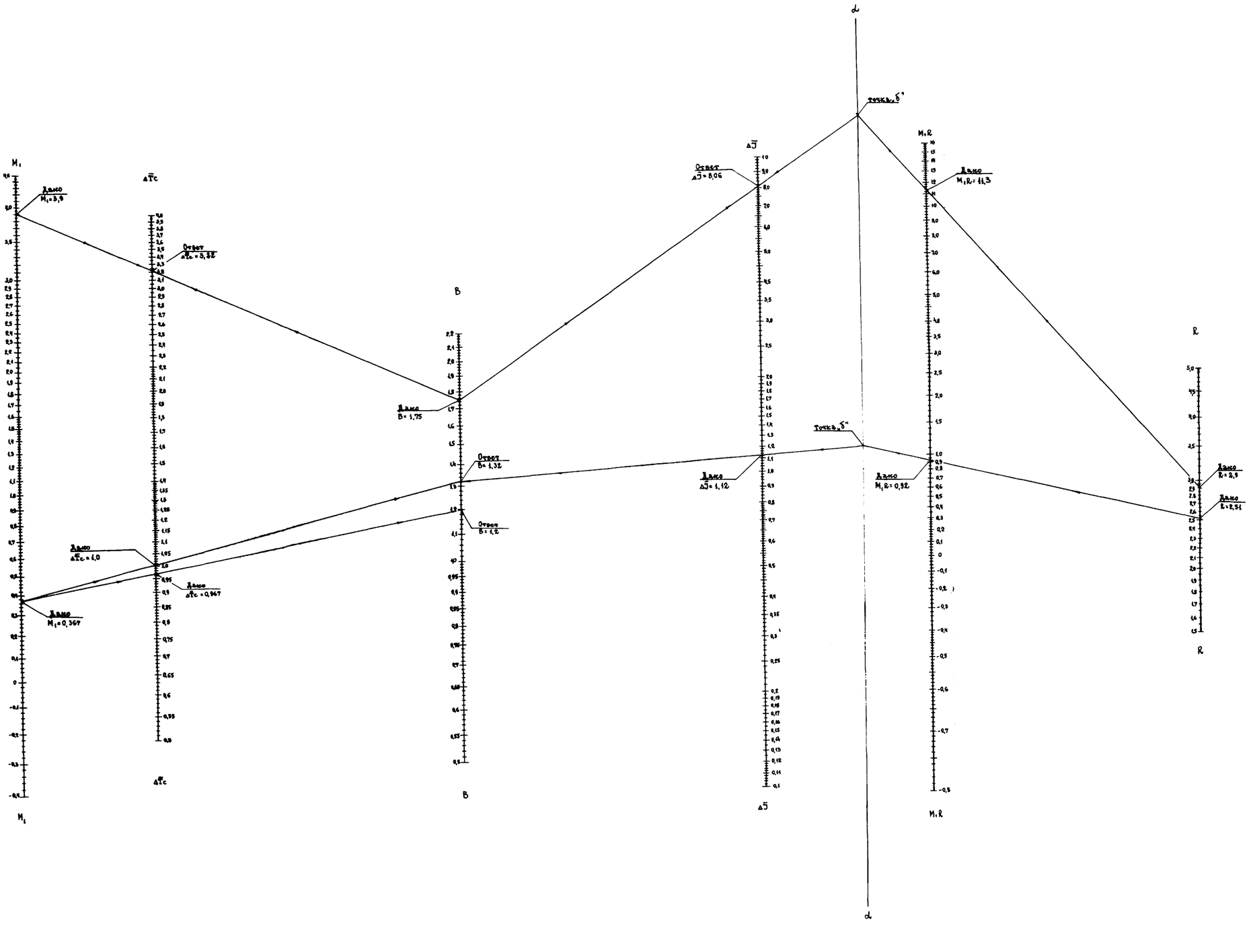
4. Определяем количество распыляемой воды W и значения q_w, q и P_0. $W = G \cdot B = 68100 \times 0,8 = 54500$ кг/ч. Плотность орошения $q_w = \frac{W}{\psi} = \frac{54,5}{6,64} = 8,21$ м^3/м^{2}ч. Общее число форсунок равно $i \cdot z \cdot n \; \psi = 2.18.6,64 = 173$ шт. Производительность форсунки $q = \frac{W}{i} = \frac{54500}{173} = 315$ кг/ч. По рис.2 при $d_0 = 5,0$ мм и $q = 315$ имеем $P_0 = 0,8$ атм. Количество отведенного в камере тепла составит

$$Q = W \Delta t_б = W (t_{бн} - t_{бк}) = 54500 \quad /6,9/ \quad = 376000 \text{ ккал/ч}.$$

5. Конечная температура охлажденной воды равна

$$t_{вк} = t_{вн} + \Delta \bar{T}_б (t_{c_1} - t_p) = 30 - 0,345 \times 20 = 23,1^0C.$$

На этом теплотехнический расчет считается законченным.



Номограмма 1

Номограмма для расчёта процессов с понижением теплосодержания воздуха в оросительных камерах по методу к.т.н. Л.М Зусмановича.

Диаметр форсунок 4,5 ÷ 5,0 мм.

Составлена по формулам:

$$\Delta\bar{J} = 0{,}67\,(1 + M_1 R)\,R^{-0{,}3}\,B^{0{,}53}$$

$$\Delta\bar{t}c = (0{,}73 + 0{,}49\,M_1)\,B^{0{,}35}$$

$d_0 = 4{,}5 \div 5{,}0$ мм ; $n = 13 \div 18$ шт/м² ряд; $z = 2 \div 3$ ряда, взаимное шахматное расположение воды; $35 \geq (t_c - t_p) \geq 2{,}0$°c.

$$\Delta\bar{J} = \frac{J_1 - J_2}{0{,}24\,(t_{c_1} - t_p)}\;;\quad \Delta\bar{t}c = \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{t_{c_1} - t_p}\;;\quad M_1 = \frac{t_p - t_{бн}}{t_{c_1} - t_p}\;;$$

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

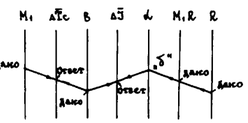
B - коэффициент орошения.

Схемы решения теплотехнических задач

Прямые задачи



Обратные задачи



Пример 1 (прямая задача)

Дано: $t_{c_1} = 28{,}5$°c , $J_1 = 12{,}9$ ккал/кг; $t_p = 13{,}5$°c; $\Delta t_p = 28{,}5 - 13{,}5 = 15$°c; $t_{c_2} = 13{,}5$°c; $J_2 = 8{,}86$ ккал/кг

Определить: B и $t_{бн}$.

Решение.

1. $\Delta\bar{J} = \frac{12{,}9 - 8{,}86}{0{,}24 \cdot 15} = 1{,}12$; $\Delta\bar{t}c = \frac{28{,}5 - 13{,}5}{15} = 1{,}0$;
2. При $t_{бн} = 8$°c ; $M_1 = \frac{13{,}5 - 8}{28{,}5 - 13{,}5} = 0{,}367$
3. При $t_p - t_{бн} = 5{,}5$°c и $t_{бн} = 8$°c , $R = 2{,}51$; $M_1 R = 0{,}92$.
4. При $R = 2{,}51$; $M_1 R = 0{,}92$ и $\Delta\bar{J} = 1{,}12$, $B_y = 1{,}32$.
5. При $M_1 = 0{,}367$ и $\Delta\bar{t}c = 1{,}0$, $B = B_{\bar{t}c} = 1{,}32$.
6. Так как $B_y = B_{\bar{t}c} = 1{,}32$, то окончательно принимаем $B = B_y = 1{,}32$.

Пример 3 (обратная задача)

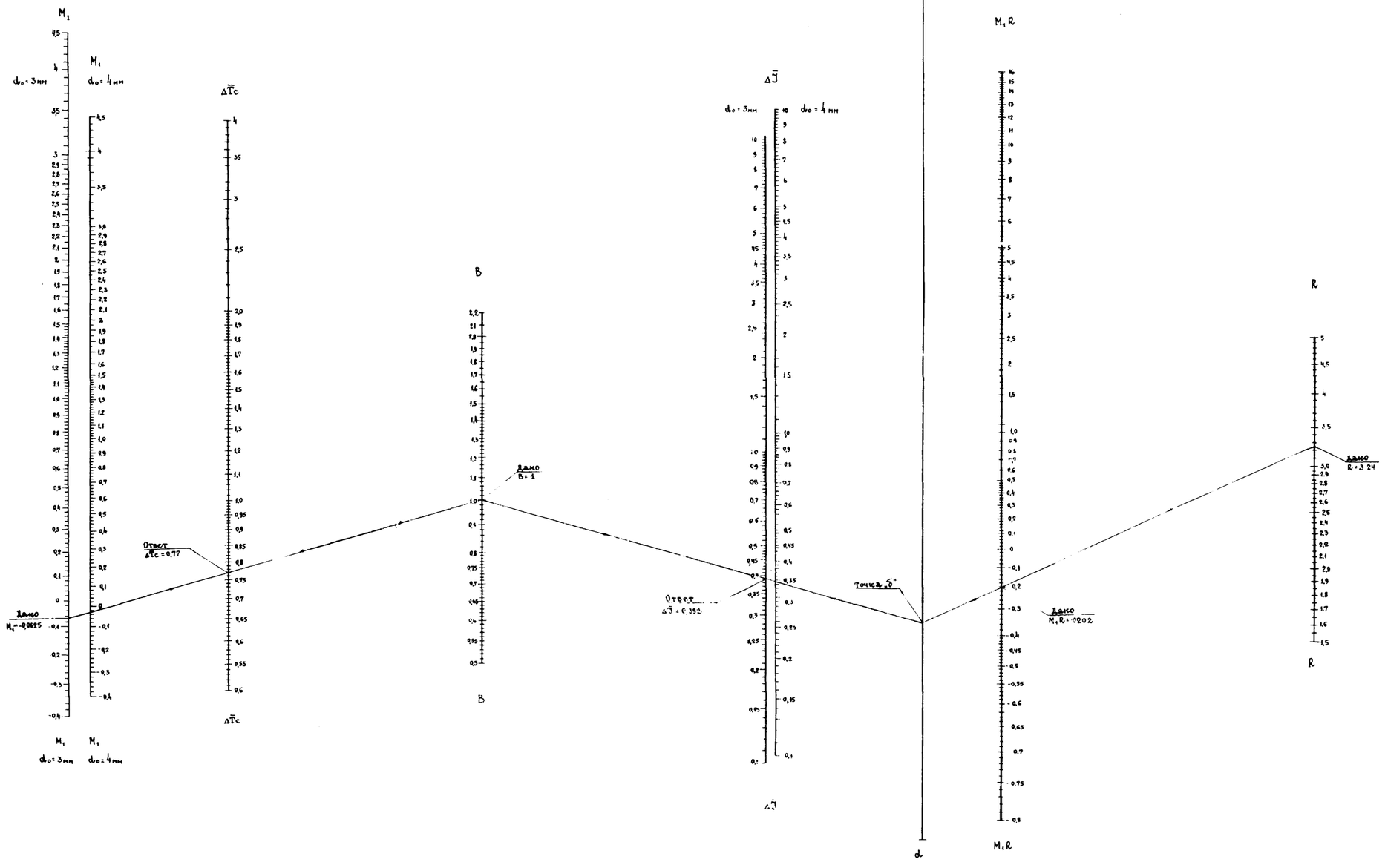
Дано: $t_{c_1} = 26$°c; $J_1 = 16{,}7$ ккал/кг; $t_p = 22$°c; $t_{бн} = 6{,}4$°c; $B = 1{,}75$; $\Delta t_p = t_{c_1} - t_p = 4$°c.

Определить: J_2 ($\Delta\bar{J}$) и t_{c_2} ($\Delta\bar{t}c$).

Решение.

1. При $t_p - t_{бн} = 22 - 6{,}4 = 15{,}6$°c и $t_p = 22$°c, $R = 2{,}9$.
2. $M_1 = \frac{22 - 6{,}4}{26 - 22} = 3{,}9$, $M_1 R = 3{,}9 \cdot 2{,}9 = 11{,}3$
3. При $B = 1{,}75$ и $M_1 = 3{,}9$ $\Delta\bar{t}c = 3{,}22$.
4. $t_{c_2} = t_{c_1} - \Delta\bar{t}c\,(t_{c_1} - t_p) = 26 - 3{,}22 \cdot 4 = 13{,}1$°c.
5. При $B = 1{,}75$, $M_1 R = 11{,}3$, $R = 2{,}9$ $\Delta\bar{J} = 8{,}06$.
6. $J_2 = J_1 - \Delta\bar{J} C_p\,(t_{c_1} - t_p) = 8{,}93$ ккал/кг.

Номограмма 1.



Номограмма 2

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

Диаметр форсунок 3,0 – 4,0 мм

Составлена по формулам:

Для $d_c = 3,0$ мм

$\Delta\bar{J} = 0,7\,(1 + M_1 R)\,R^{-0,3}\,B^{0,62}$, $\Delta\bar{T}c = (0,8 + 0,46\,M_1)\,B^{0,35}$

Для $d_o = 4,0$ мм

$\Delta\bar{J} = 0,62\,(1 + M_1 R)\,R^{-0,3}\,B^{0,56}$; $\Delta\bar{T}c = (0,78 + 0,38\,M_1)\,B^{0,3}$

$n = 13 - 18\ м^3/м^2$ ряд $z = 2 \div 3$ ряда,

взаимовстречное расположение воды, $3 \geq (t_c - t_p) \geq 2,0°c$,

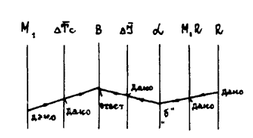
$\Delta\bar{J} = \frac{J_1 - J_2}{0,24(t_c - t_p)}$; $\Delta\bar{T}c = \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{t_{c_1} - t_p}$; $M_1 = \frac{t_p - t_{бн}}{t_{c_1} - t_p}$; $R = 1 + 2,34\,a$;

$a = \frac{P_n - P_{бн}}{t_p - t_{бн}}$ мм рт. ст./град.

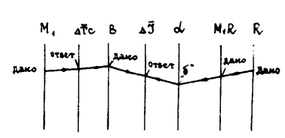
B – коэффициент орошения.

Схемы решения теплотехнических задач

Прямые задачи



Обратные задачи



Пример.

Дано: $t_{c_1} = 33°c$ $J_1 = 15,4$ ккал/кг; $t_p = 17°c$;
$t_{бк} = 18°c$; $B = 1$ $\Delta t_p = 33 - 17 = 16$, $d_o = 3,0$ мм

Определить: $J_2\,(\Delta\bar{J})$ и $t_{c_2}\,(\Delta\bar{T}c)$.

Решение

1 При $t_p - t_{бк} = 17 - 18 = -1°c$ и $t_p = 17°c$; $R = 3,24$.

2 $M_1 = \frac{17 - 18}{33 - 17} = -0,0625$, $M_1 R = -0,202$.

3 При $B = 1,0$ и $M_1 = -0,0625$, $\Delta\bar{T}c = 0,77$

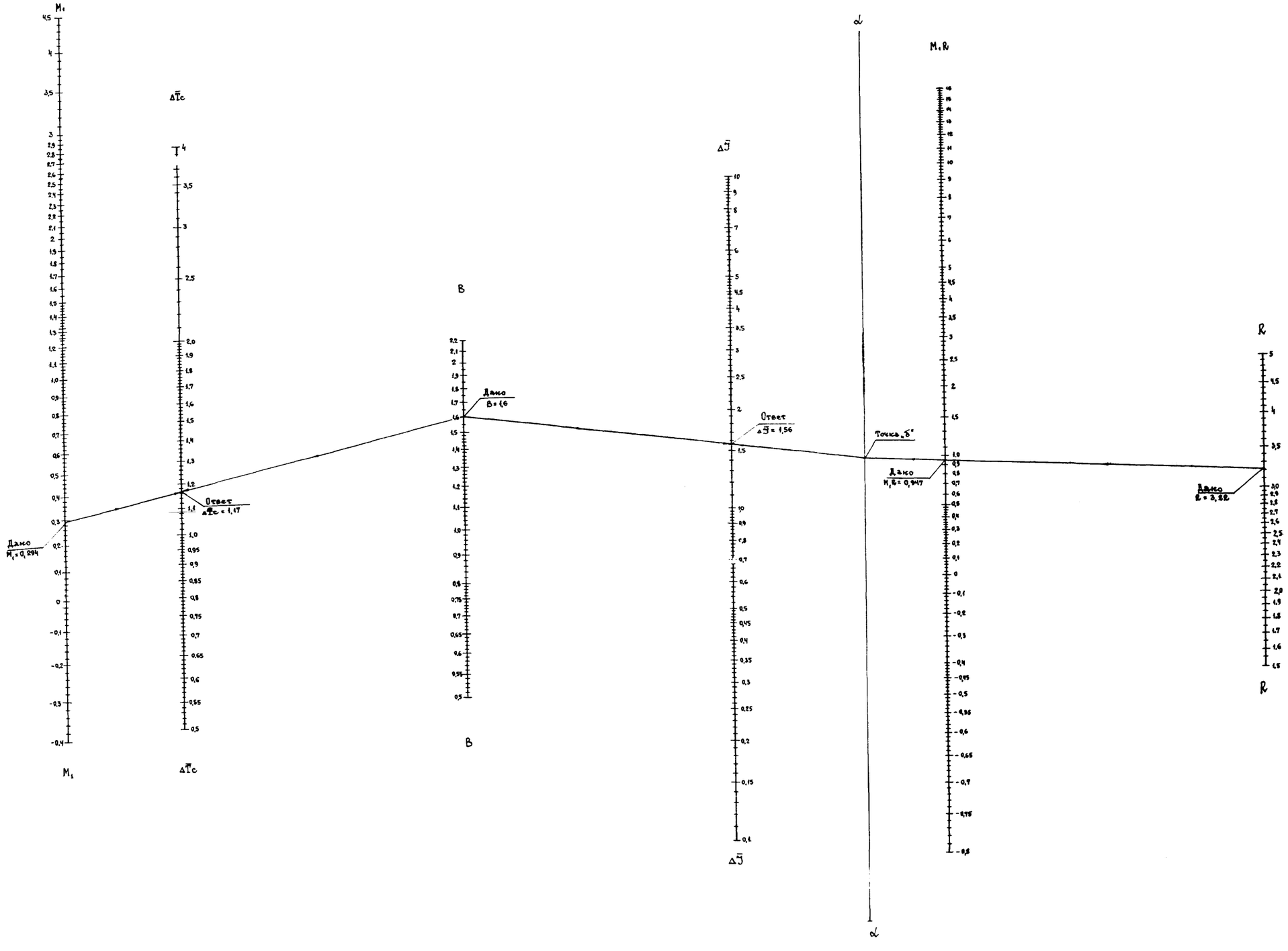
4 $t_{c_2} = t_{c_1} - \Delta\bar{T}c\,(t_c - t_p) = 33 - 0,77 \cdot 16 = 20,7°c$

5 При $R = 3,24$, $M_1 R = -0,202$, $B = 1$ $\Delta\bar{J} = 0,392$.

6 $J_2 = J_1 - \Delta\bar{J} c_p\,(t_c - t_p) = 15,4 - 0,392 \cdot 0,24 \cdot 16 = 13,89$ ккал/кг

7 $t_{бк} = t_{бн} + \frac{\Delta J}{B} = 18 + 1,51 = 19,5°c$.

Номограмма 2



Номограмма 3.

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

Составлена по формулам:

$$\Delta\bar{J} = 0{,}88\,(1 + M_1 R)\,R^{-0{,}3}\,B^{0{,}55}$$

$$\Delta\bar{T}c = (0{,}85 + 0{,}64\,M_1)\,B^{0{,}25}$$

$d_0 = 4{,}5 \div 5{,}0$ мм; $n = 13 \div 18$ шт/м² ряд; $z = 2 \div 3$ ряда;

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

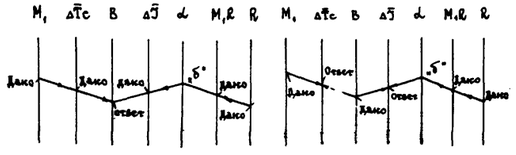
$\Delta\bar{J} = \frac{J_1 - J_2}{0{,}24\,(t_{c_1} - t_p)}$; $\Delta\bar{T}c = \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{t_{c_1} - t_p}$; $M_1 = \frac{t_p - t_{6н}}{t_{c_1} - t_p}$;

$R = 1 + 2{,}34\,\alpha$; $\alpha = \frac{P_n - P_{6н}}{t_p - t_{6н}}$ мм рт.ст/град.

B - коэффициент орошения.

Схемы решения теплотехнических задач.

Прямые задачи. Обратные задачи



Пример (обратная задача)

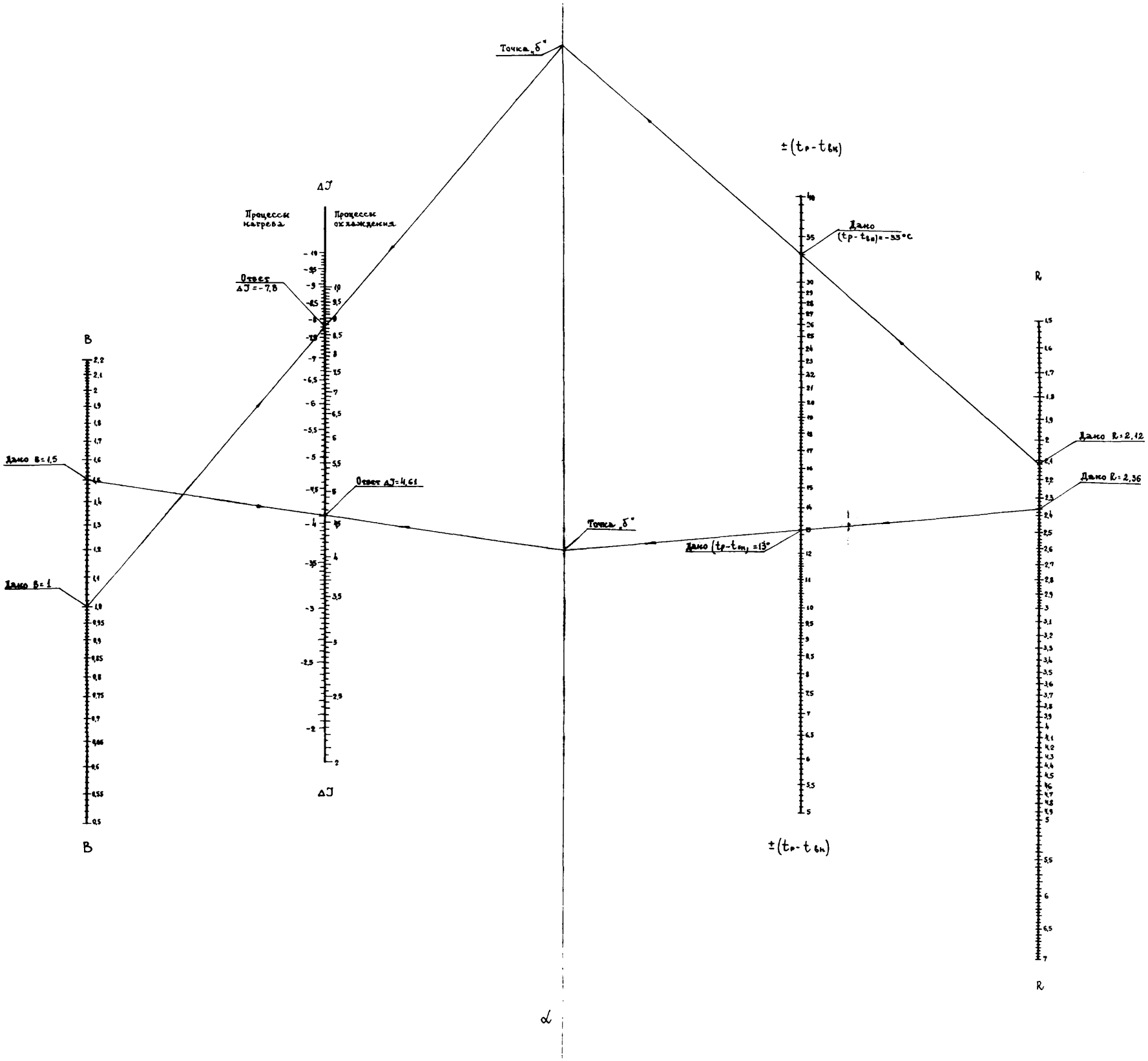
Дано: $t_{c_1} = 37°c$; $J_1 = 47{,}9$; $t_p = 20°c$; $t_{6н} = 15°c$; $B = 1{,}6$;

$\Delta t_p = 37 - 20 = 17°c$.

Определить: $J_2\,(\Delta\bar{J})$; $t_{c_2}\,(\Delta\bar{T}c)$.

Решение.

1. При $t_{6н} = 15°c$, $t_p - t_{6н} = 5°c$ $R = 3{,}22$. 2. $M_1 = \frac{20 - 15}{37 - 20} = 0{,}294$;
$M_1 R = 0{,}294 \cdot 3{,}22 = 0{,}947$. 3. При $B = 1{,}6$, $M_1 = 0{,}294$ $\Delta\bar{T}c = 1{,}17$.
4. $t_{c_2} = t_{c_1} - \Delta\bar{T}c\,(t_{c_1} - t_p) = 37 - 1{,}17 \cdot 17 = 17{,}15°c$.
5. При $R = 3{,}22$, $M_1 R = 0{,}947$ и $B = 1{,}6$ $\Delta\bar{J} = 1{,}56$.
6. $J_2 = J_1 - \Delta\bar{J} t_p\,(t_{c_1} - t_p) = 47{,}9 - 1{,}56 \cdot 0{,}24 \cdot 17 = 11{,}53$ ккал/кг.
7. $t_{вк} = t_{6н} + \frac{\Delta J}{B} = 15 + \frac{5{,}37}{1{,}6} = 19°c$.



Номограмма 4

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

Составлена по формулам

Для процессов охлаждения $\Delta J = 0{,}157 (t_р - t_{вн}) R^{0{,}7} B^{0{,}55}$.

Для процессов нагрева $\Delta J = 0{,}14 (t_р - t_{вн}) R^{0{,}7} B^{0{,}55}$.

$d_0 = 4{,}5 \div 5{,}0$ мм ; $Z = 2 \div 3$ ряда ; $n = 13 \div 18$ шт/м² ряд ;

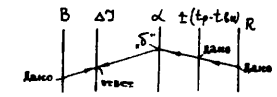
$\Delta J = J_1 - J_2$ ккал/кг ; B - коэффициент орошения.

Схемы решения теплотехнических задач

Прямые задачи



Обратные задачи



Пример (охлаждение насыщенного воздуха)

Дано: $t_{c_1} = 15°C$, $J_1 = 10{,}2$ ккал/кг, $t_р = 15°C$, $\varphi_1 = 100\%$, $t_{вн} = 2°C$, $B = 1{,}5$.

Определить: J_2 (ΔJ), $t_{вк}$.

Решение

1. $t_р - t_{вн} = 15 - 2 = 13°C$.
2. При $(t_р - t_{вн}) = 13°C$ и $t_р = 15°C$ находим $R = 2{,}36$.
3. При $R = 2{,}36$, $(t_р - t_{вк}) = 13°C$ и $B = 1{,}5$ находим $\Delta J = 4{,}61$ ккал/кг
4. $J_2 = J_1 - \Delta J = 10{,}2 - 4{,}61 = 5{,}59$ ккал/кг; $t_{c_2} = 7{,}2°C$.
5. $t_{вк} = t_{вн} + \frac{\Delta J}{B} = 2 + 3{,}1 = 5{,}1°C$.

Пример (нагрев насыщенного воздуха)

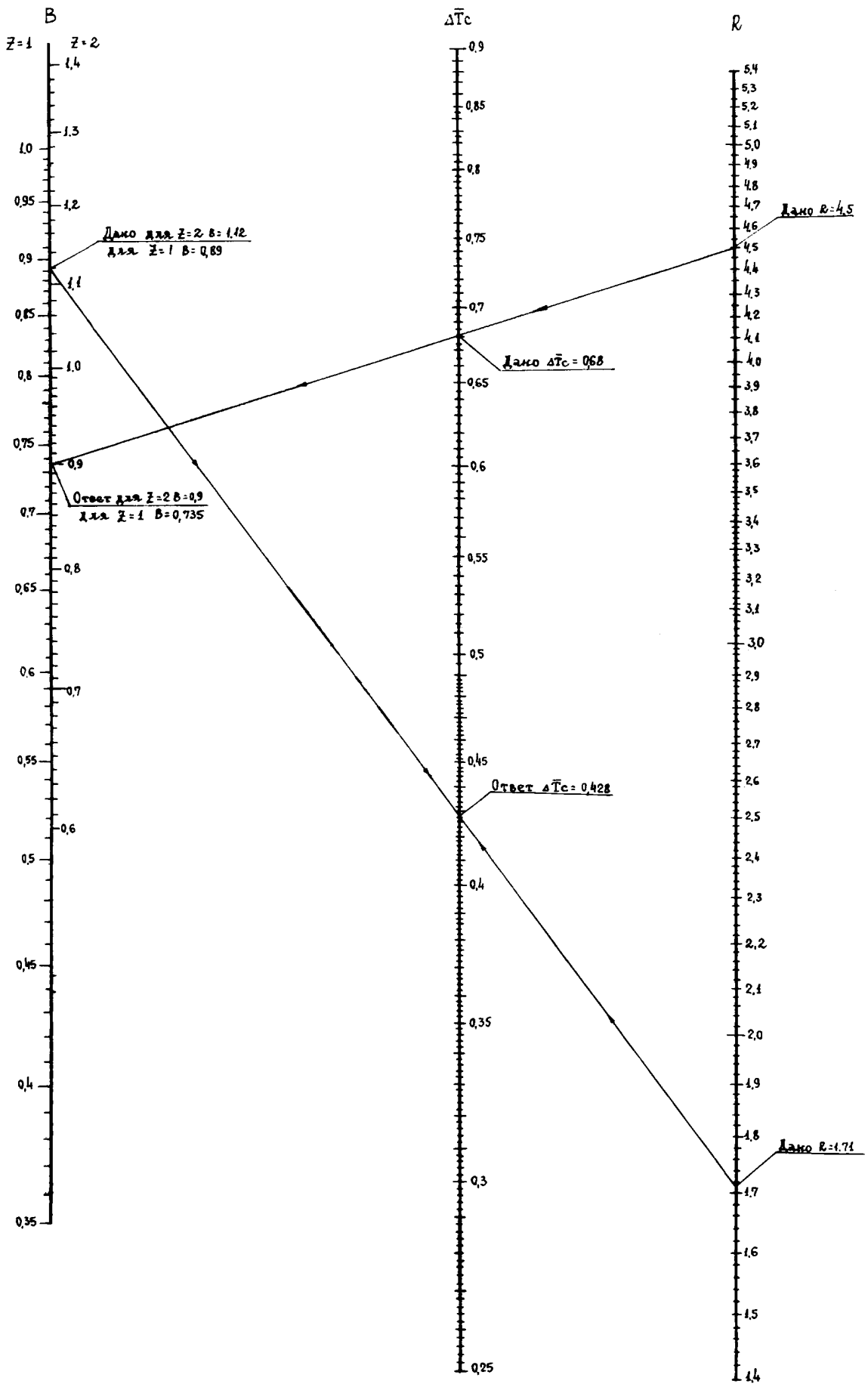
Дано: $t_{c_1} = -13°C$, $J_1 = -2{,}4$ ккал/кг, $t_р = -13°C$, $t_{вн} = 20°C$, $B = 1{,}0$.

Определить J_2 (ΔJ) и $t_{вк}$.

Решение

1. $t_р - t_{вн} = -13 - 20 = -33°C$.
2. При $(t_р - t_{вн}) = -33°C$ и $t_{вн} = 20°C$ находим $R = 2{,}12$.
3. При $R = 2{,}12$, $(t_р - t_{вн}) = -33$ и $B = 1{,}0$ находим $\Delta J = -7{,}8$ ккал/кг
4. $J_2 = J_1 - \Delta J = -2{,}4 + 7{,}8 = +5{,}4$ ккал/кг, $t_{c_2} = 6{,}8°C$.
5. $t_{вк} = t_{вн} + \Delta J = 20 - 7{,}8 = 12{,}2°C$.

Номограмма 4.



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 $(\bar{Z}=1)$ $\Delta\bar{T}c = 0{,}331\, B^{0{,}4}\, R^{0{,}56}$

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

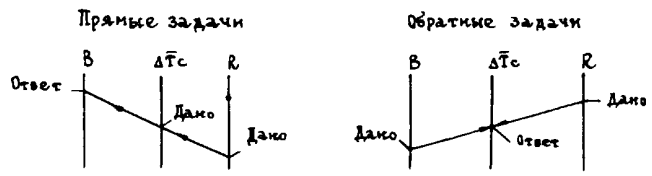
$d_o = 4{,}5 \div 5{,}0$ мм, $n = 13 \div 18$ кг/м² ряд.

$\Delta\bar{T}c = \frac{t_{c_1} - t_{c_2}}{t_{c_1} - t_p}$; $R = 1 + 2{,}34\alpha$; $\alpha = \frac{\rho_n - \rho_M}{t_p - t_M}$;

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

Для значений $R < 2{,}7$ (зимние режимы) в расчетные формулы вводится поправка „β", см. график на рис. 5.

Схемы решения теплотехнических задач



Пример (прямая задача)

Дано: Воздух $t_c = 33{,}5°C$, $t_M = 27°C$, $t_p = 24{,}9°C$ охлаждается до $t_{c_2} = 27{,}65°C$, $d_o = 5{,}0$ мм.

Определить Коэффициент орошения B.

Решение

1. $\Delta\bar{T}c = \frac{33{,}5 - 27{,}65}{33{,}5 - 24{,}9} = 0{,}68$ 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 $\Delta\bar{T}c = 0{,}68$ находим B: 0,735 для $\bar{Z} = 1$, B = 0,9 для $\bar{Z} = 2$.

Пример. (обратная задача)

Дано: $t_{c_1} = 16{,}5°C$, $t_M = 6°C$, $t_p = -10°C$, $B = 1{,}12$, $\bar{Z} = 2$, $d_o = 5{,}0$ мм.

Определить: t_{c_2} $(\Delta\bar{T}c)$

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 $\Delta\bar{T}c = 0{,}428$
3. По рис. 5 при $R = 1{,}71$ находим $\beta = 0{,}86$.
4. Определяем действительное $\Delta\bar{T}c_д = 0{,}428 \cdot 0{,}86 = 0{,}367$
5. $t_{c_2} = t_{c_1} - \Delta\bar{T}c_д (t_{c_1} - t_p) = 16{,}5 - 0{,}367\,(16{,}5 + 10) \approx 7{,}0°C$.

Номограмма 5

Номограмма 6

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

Составлена по формулам

для $d_0 = 5,0$ мм $\quad \Delta\bar{J} = 0,54(1 + M\,R)R^{-0,3}B^{0,53}$.

для $d_0 = 3,5$ мм $\quad \Delta\bar{J} = 0,6\,(1 + M\,R)\,R^{-0,3}B^{0,63}$.

$n = 13 \div 18$ шт/м² ряд; $z = 2 \div 3$ ряда; $\varphi_2 = 94 \div 98\%$;

$\Delta\bar{J} = \frac{J_1 - J_2}{0,24\,(t_c - t_p)}$, B - коэффициент орошения,

t_p - температура точки роси воздуха °C;

$\Delta t_p = t_c - t_p$ - гигрометрическая разность;

$t_{вн}$ - начальная температура распыляемой воды, °C.

Пример (прямая задача)
(изотермическое увлажнение воздуха)

Дано: $t_{c_1} = 25°C$; $J_1 = 8,4$ ккал/кг, $t_p = 0$,
$t_{c_2} = 25°C$, $J_2 = 17,60$, $\varphi_2 = 95\%$.

Определить: B и $t_{вк}$.

Решение

1. $\Delta t_p = t_c - t_p = 25 - 0 = 25°C$
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 $t_{c_1} \approx t_{c_2}$, величина $t_{вн} \approx t_{c_1} + 10°C = 25 + 10 = 35°C$.
4. При $t_{вн} = 35$, $t_p = 0$ (точка „a") $\Delta t_p = 25$ (точка „δ") находится точка „C"ка немой шкале d
5. При $\Delta\bar{J} = -1,53$ и найденной точке „C" определяем $B = 1,1$.
6. $t_{вк} = t_{вн} + \frac{\Delta J}{B} = 35 + \frac{-9,2}{1,1} = 35 - 8,35 = 26,65°C$.

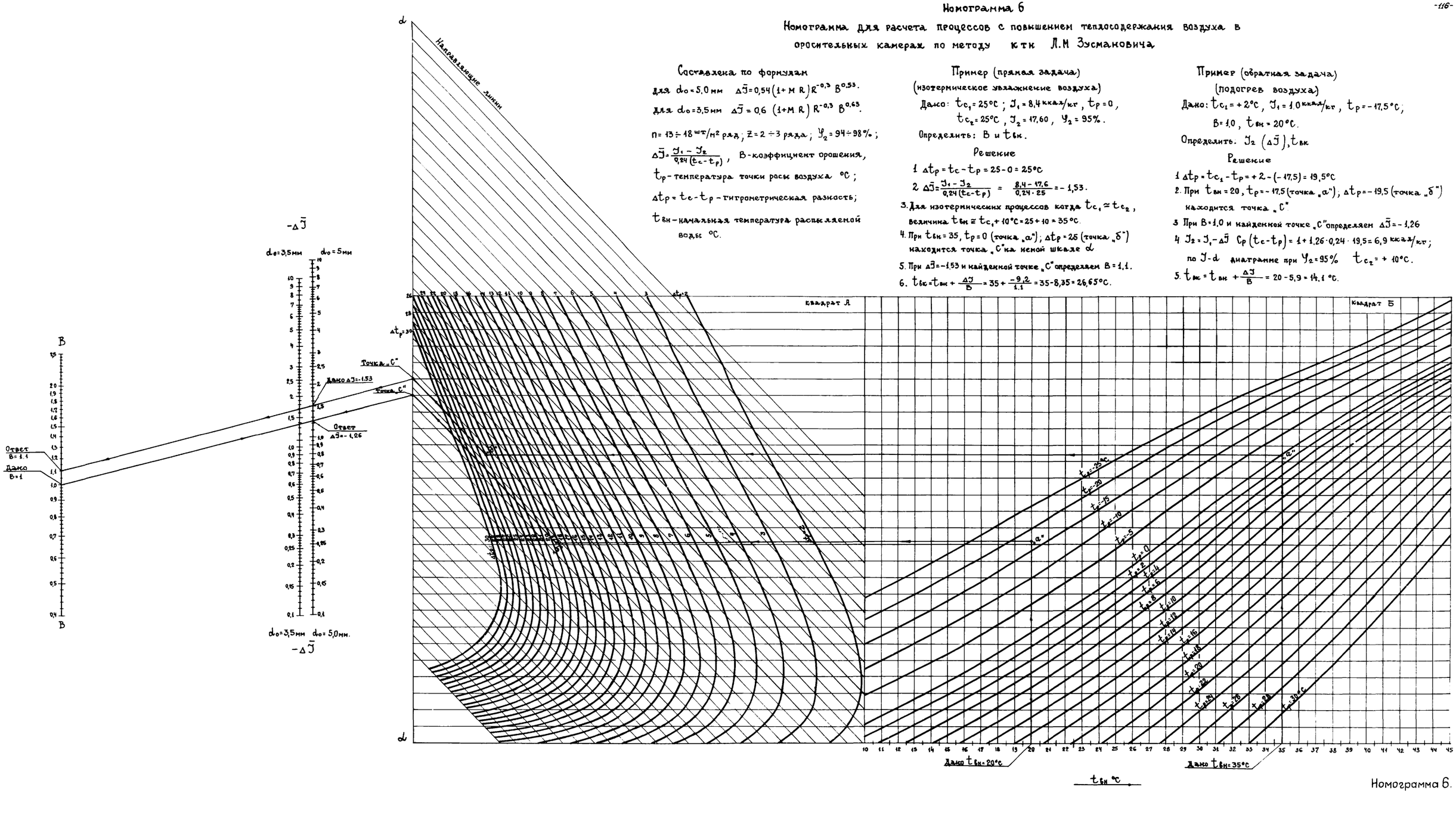
Пример (обратная задача)
(подогрев воздуха)

Дано: $t_{c_1} = +2°C$, $J_1 = 1,0$ ккал/кг, $t_p = -17,5°C$;
$B = 1,0$, $t_{вн} = 20°C$.

Определить. $J_2\ (\Delta\bar{J}), t_{вк}$

Решение

1. $\Delta t_p = t_{c_1} - t_p = +2 - (-17,5) = 19,5°C$
2. При $t_{вн} = 20$, $t_p = -17,5$ (точка „a"), $\Delta t_p = -19,5$ (точка „δ") находится точка „C"
3. При $B = 1,0$ и найденной точке „C" определяем $\Delta\bar{J} = -1,26$
4. $J_2 = J_1 - \Delta\bar{J}\ C_p\,(t_c - t_p) = 1 + 1,26 \cdot 0,24 \cdot 19,5 = 6,9$ ккал/кг;
по J-d диаграмме при $\varphi_2 = 95\%$ $t_{c_2} = +10°C$.
5. $t_{вк} = t_{вн} + \frac{\Delta J}{B} = 20 - 5,9 = 14,1°C$.



Номограмма 6.

Номограмма 7.

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

Составлена по формулам:

Для $d_o = 3{,}5$мм $\quad \Delta\bar{T}_\varepsilon = 0{,}15\,(1 + M_1 R)\, R^{-0{,}3}\, B^{-0{,}37}$

Для $d_o = 5{,}0$мм $\quad \Delta\bar{T}_\varepsilon = 0{,}136\,(1 + M_1 R)\, R^{-0{,}3}\, B^{-0{,}477}$

$n = 13 \cdot 18$ шт/м² ряд; $z = 2 \div 3$ ряда;

взаимновстречное распыление воды;

$\Delta\bar{T}_\varepsilon = \dfrac{t_{вк} - t_{вн}}{t_c - t_p}$; $M_1 = \dfrac{t_p - t_{вн}}{t_c - t_p}$;

$\Delta t_p = t_c - t_p$; $R = 1 + 2{,}34\,a$;

$a = \dfrac{P_n - P_{вн}}{t_p - t_{вн}}$ 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: $t_c = 28{,}5$°C; $J_1 = 12{,}9$ ккал/кг; $t_p = 13{,}5$; $t_н = 19$°C

$t_{вн} = 28$°C; $t_{вк} = 24$°C; $z = 2$; $d_o = 3.5$, $d_o = 5{,}0$мм

Определить: B.

Решение.

1. Находим $\Delta t_p = t_c - t_p = 28{,}5 - 13{,}5 = 15$°C.
2. Находим $\Delta\bar{T}_\varepsilon = \dfrac{24 - 28}{28{,}5 - 13{,}5} = -0{,}267$.
3. При $t_{вн} = 28$°C; $t_p = 13{,}5$°C; $\Delta t_p = 15$°C и $\Delta\bar{T}_\varepsilon = -0{,}267$

Определяем $B = 0{,}94$ для $d_o = 3{,}5$мм; $B = 0{,}77$ для $d_o = 5{,}0$мм.

Пример (обратная задача)

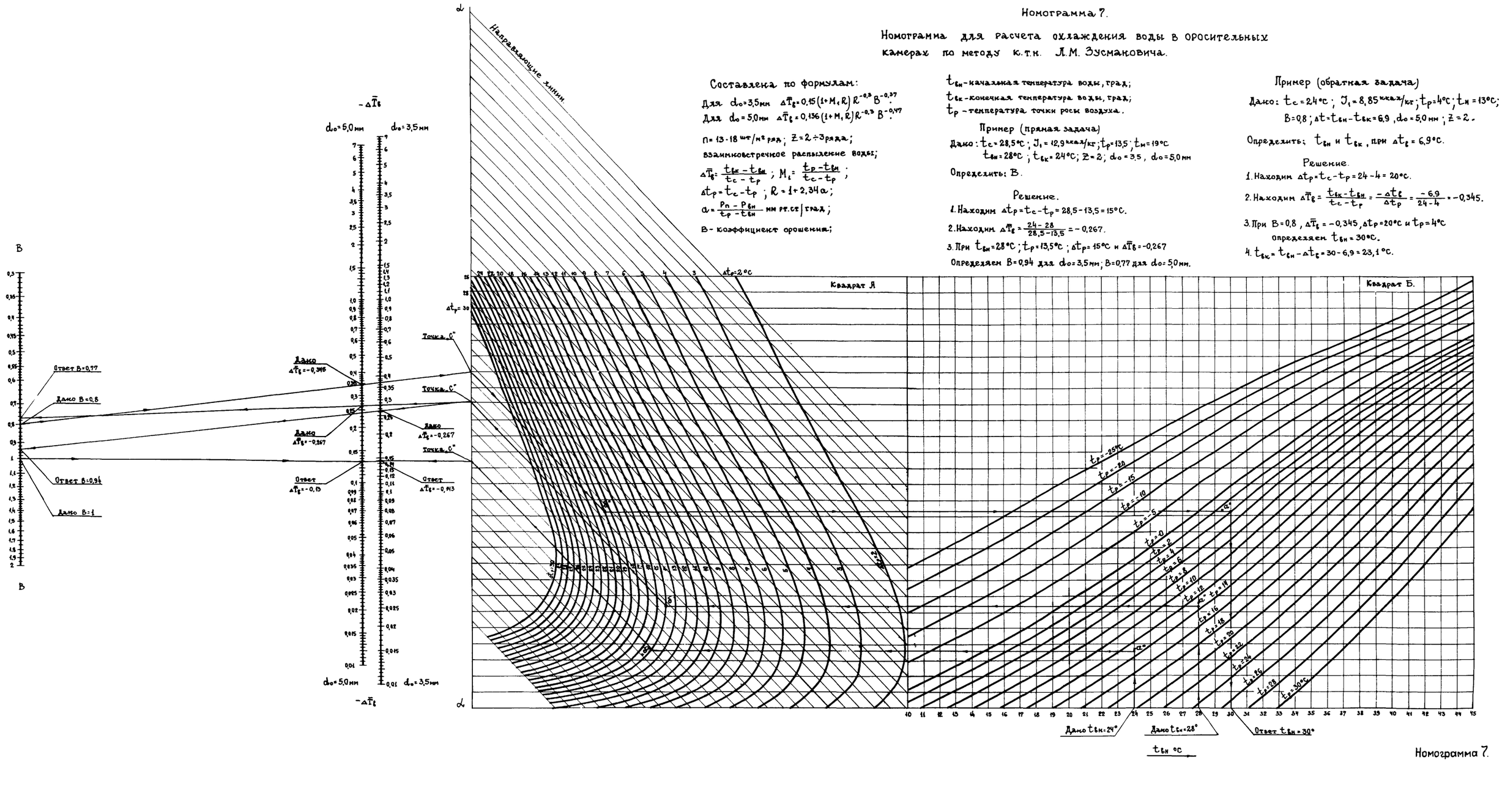
Дано: $t_c = 24$°C; $J_1 = 8{,}85$ ккал/кг; $t_p = 4$°C; $t_н = 13$°C;

$B = 0{,}8$; $\Delta t = t_{вн} - t_{вк} = 6.9$; $d_o = 5{,}0$мм; $z = 2$.

Определить: $t_{вн}$ и $t_{вк}$, при $\Delta t_\varepsilon = 6{,}9$°C.

Решение.

1. Находим $\Delta t_p = t_c - t_p = 24 - 4 = 20$°C.
2. Находим $\Delta\bar{T}_\varepsilon = \dfrac{t_{вк} - t_{вн}}{t_c - t_p} = \dfrac{-\Delta t_\varepsilon}{\Delta t_p} = \dfrac{-6.9}{24 - 4} = -0{,}345$.
3. При $B = 0{,}8$, $\Delta\bar{T}_\varepsilon = -0{,}345$, $\Delta t_p = 20$°C и $t_p = 4$°C определяем $t_{вн} = 30$°C.
4. $t_{вк} = t_{вн} - \Delta t_\varepsilon = 30 - 6{,}9 = 23{,}1$°C.



Номограмма 7.

Диаграмма 1.

Диаграмма для определения критерия R

$$R = 1 + a\,\frac{\gamma\beta_p}{\lambda} = 1 + 2{,}34a,$$

$$a = \frac{P_п - P_{вн}}{t_p - t_{вн}},$$

$P_п$ 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) распыляемой воды.

Пример

дано: $t_p = 22°C$, $t_{вн} = 6{,}4°C$,

$t_p - t_{вн} = 22 - 6{,}4 = 15{,}6°C$

по диаграмме $R = 2{,}9$

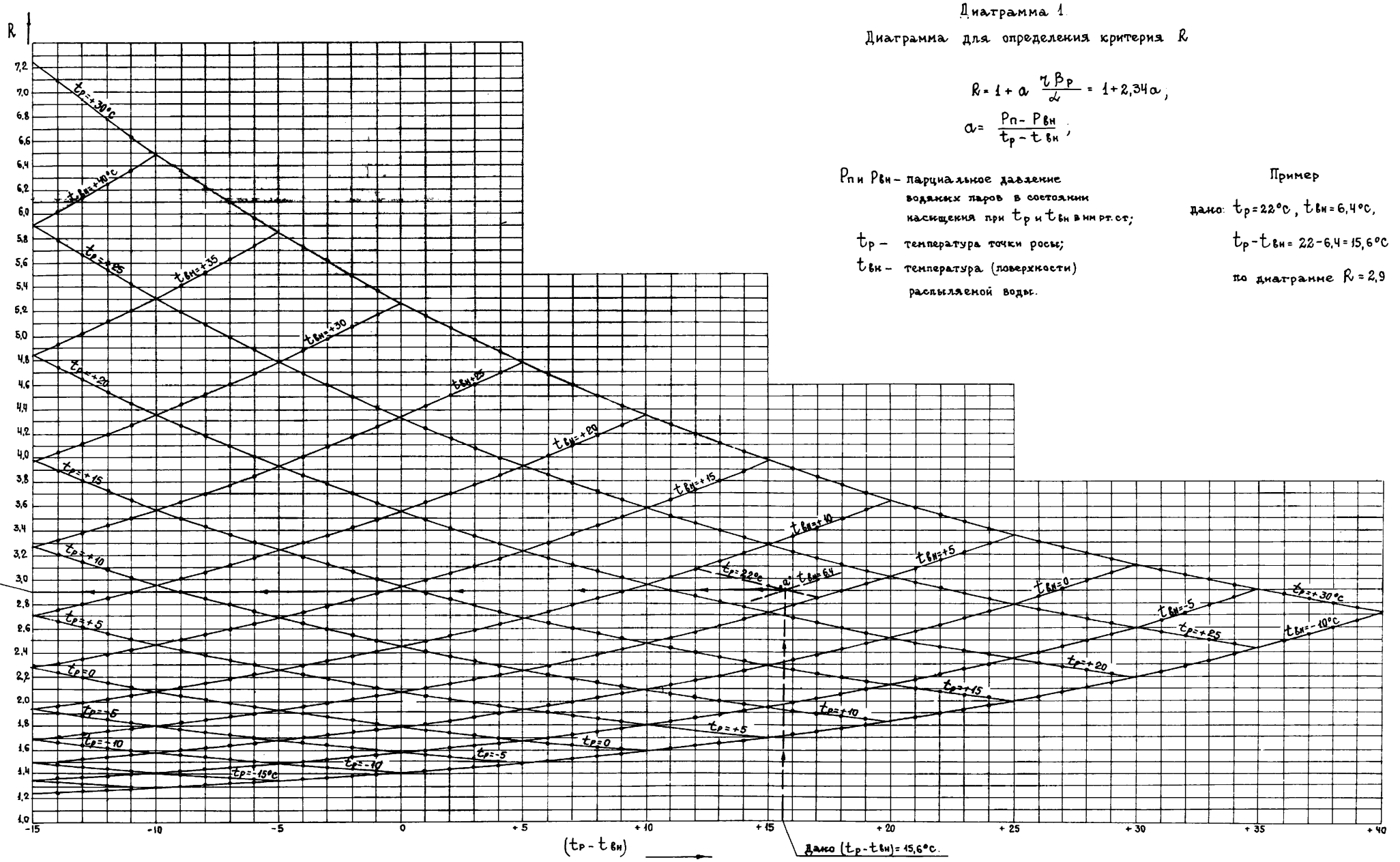


Диаграмма 1.

Диатрамма 2
Диатрамма для определения критерия R

$$R = 1 + \alpha \frac{v\,\beta_p}{\alpha} = 1 + 2{,}34\alpha;$$

$$\alpha = \frac{P_п - P_{вн}}{t_р - t_{вн}};$$

$P_п$ и $P_{вн}$ – парциальное давление водяных паров в состоянии насыщения при $t_р$ и $t_{вн}$ в мм рт. ст.

$t_р$ – температура точки росы

$t_{вн}$ – температура (поверхности) распыляемой воды.

Пример.

Дано $t_р = -17{,}5$; $t_{вн} = +20°$

при $t_р - t_{вн} = -17{,}5 - 20 = -37{,}5°C$ и $t_{вн} = 20°C$.

по диатрамме $R = 2{,}02$.

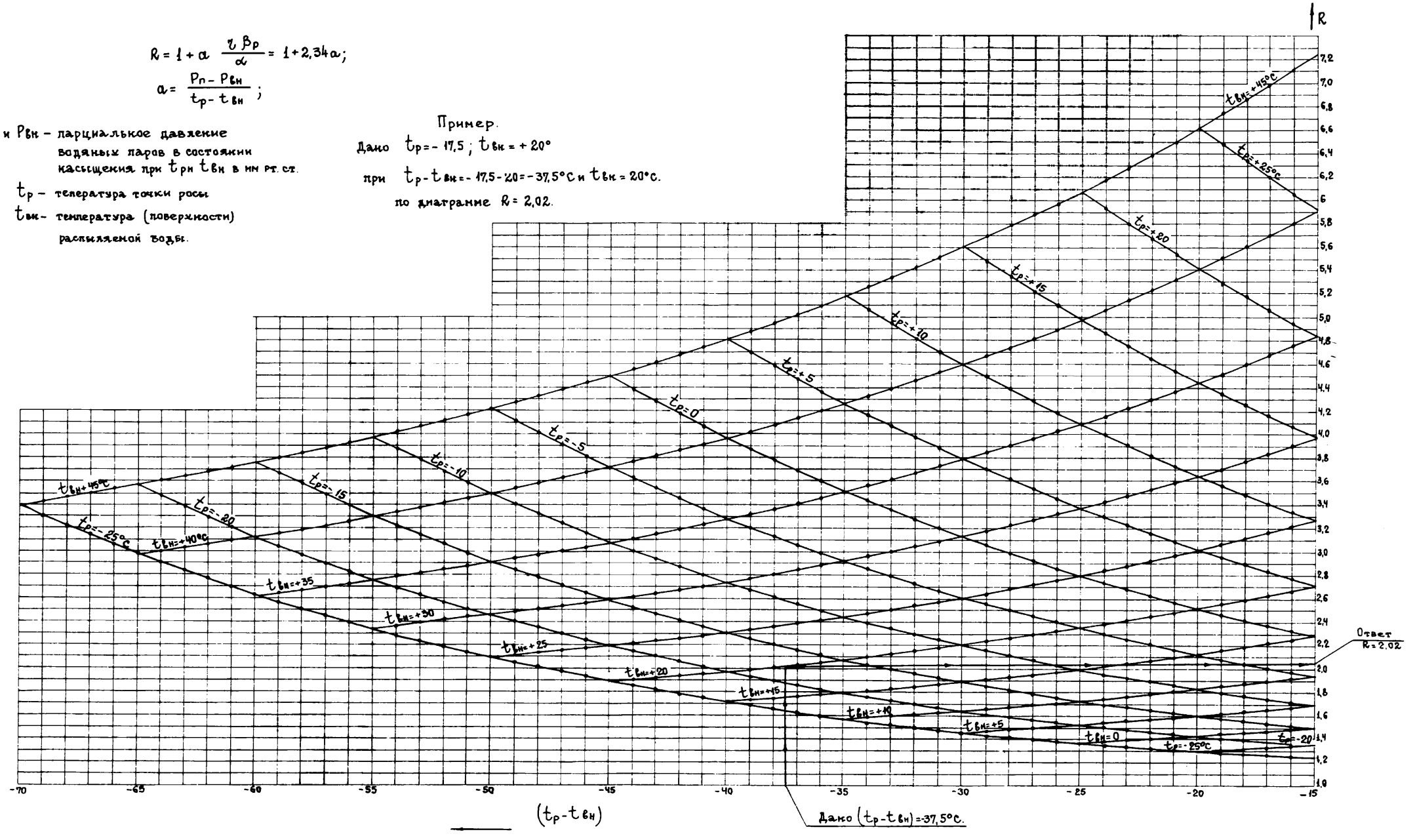


Диаграмма 2.

П Р И Л О Ж Е Н И Я

Таблица N 18

Значения коэффициента орошения B в 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 B 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	1386
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 ослабления B в степени n (B^n)

B	n				
	0,55	0,56	0,6	0,62	0,63
0,5	0,683	0,678	0,660	0,651	0,646
0,55	0,720	0,716	0,699	0,690	0,686
0,6	0,755	0,751	0,736	0,728	0,725
0,65	0,789	0,786	0,772	0,766	0,762
0,7	0,822	0,819	0,807	0,802	0,799
0,75	0,854	0,851	0,842	0,837	0,834
0,8	0,884	0,882	0,875	0,871	0,869
0,85	0,914	0,913	0,907	0,904	0,903
0,9	0,944	0,943	0,938	0,937	0,936
0,95	0,972	0,972	0,970	0,969	0,968
1,00	1	1	1	1	1
1,05	1,028	1,027	1,037	1,03	1,031
1,10	1,054	1,055	1,059	1,06	1,062
1,15	1,08	1,081	1,087	1,09	1,091
1,20	1,106	1,107	1,115	1,119	1,121
1,25	1,131	1,133	1,143	1,148	1,151
1,30	1,156	1,158	1,170	1,177	1,180
1,35	1,180	1,183	1,197	1,204	1,208
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

B	n				
	0,55	0,56	0,6	0,62	0,63
1,55	1,273	1,278	1,301	1,313	1,318
1,6	1,295	1,301	1,326	1,339	1,345
1,65	1,317	1,324	1,351	1,365	1,371
1,7	1,339	1,346	1,375	1,391	1,398
1,75	1,360	1,368	1,399	1,416	1,422
1,8	1,381	1,390	1,423	1,440	1,448
1,85	1,403	1,411	1,446	1,464	1,473
1,9	1,425	1,432	1,470	1,489	1,498
1,95	1,444	1,453	1,493	1,513	1,523
2,0	1,464	1,474	1,516	1,537	1,547
2,05	1,484	1,495	1,538	1,561	1,571
2,10	1,504	1,515	1,560	1,584	1,595
2,15	1,524	1,535	1,582	1,607	1,619
2,20	1,543	1,555	1,604	1,630	1,643
2,25	1,562	1,575	1,626	1,653	1,666
2,30	1,581	1,594	1,648	1,676	1,690
2,35	1,600	1,614	1,670	1,699	1,715
2,40	1,618	1,633	1,690	1,721	1,736

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=07
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	0,986	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	2,695
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 №19 (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 м²	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/м² ряд		24 шт/м² ряд							18 шт/м² ряд		24 шт/м² ряд	
	Правое исполнение	Левое исполнение	Высота	Длина	Ширина	На одном стояке	Всего	На одном стояке	Всего	Правое исполнение	Левое исполнение	Высота	Длина	Ширина	На одном стояке	Всего	На одном стояке	Всего
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	1740	6	72	8	96	Кд 2003	Кд 2003 л	1792	2425	1740	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/X-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

gost.e-ecolog.ru