Госстрой СССР
СантехНИИпроект

Руководящий материал по центральным кондиционерам

Часть II

Методические материалы по расчету и выбору оборудования центральных кондиционеров КТЦ3

Альбом II

Методика расчета воздухонагревателей

АЗ-994

Москва 1991

gost.e-ecolog.ru

Руководящий материал по центральным кондиционерам КТЦЗ предназначен для проектирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха, выбора кондиционера и может использоваться в работе проектных, учебных, научно-исследовательских, планирующих, сбытовых, монтажных и наладочных организаций.

Материал состоит из двух частей:

Часть I. Технические характеристики и конструктивные особенности оборудования центральных кондиционеров и кондиционеров- теплоутилизаторов КТЦЗ.

Часть II. Методические материалы по расчету и выбору оборудования центральных кондиционеров КТЦЗ.

В разработке части I принимали участие Харьковский завод "Кондиционер", ВНИИкондиционер, ЦНИИпромзданий, ЦНИИЭП инженерного оборудования, ГПИ Проектпромвентиляция.

Часть II разработана ВНИИкондиционером, ГПКНИИ СантехНИИпроект и заводом "Кондиционер". Часть II выпускается в виде трех альбомов:

Альбом I. Методика расчета камер орошения.

Альбом 2. Методика расчета воздухонагревателей.

Альбом 3. Методика расчета воздухоохладителей.

Часть I распространяется Харьковским заводом "Кондиционер" (3I08I8, г.Харьков, Московский проспект, 257).

Часть II распространяется ГПКНИИ "СантехНИИпроект" (I05203, г.Москва, Нижняя Первомайская, 46) и ВНИИкондиционером (3I08I8, г.Харьков, Московский проспект, 257).

© Государственный проектный, конструкторский и научно-исследовательский институт СантехНИИпроект Главного управления проектирования Госстроя СССР (СантехНИИпроект), I99I

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
I. Условные обозначения	6
2. Методика расчета воздухонагревателей	7
3. Аэродинамические и гидравлические характеристики воздухонагревателей	I6
4. Расчет воздухонагревателей	I9
5. Примеры расчета	22
Приложение I. Характеристика номограмм приложения 2	24
Приложение 2. Теплотехнические и гидравлические характеристики воздухонагревателей кондиционеров КТЦЗ	3I
Приложение 3. Аэродинамические характеристики воздухонагревателей кондиционеров КТЦЗ	53
Приложение 4.	
Пример I. Расчет ВН первого подогрева	54
Пример 2. Расчет ВН второго подогрева	62
6. Список литературы	65

ВВЕДЕНИЕ

В данном альбоме представлена методика и примеры расчета воздухонагревателей первого и второго подогрева, которыми в зависимости от базовых схем и их модификаций комплектуются центральные кондиционеры КТЦ3 /I/.

Воздухонагреватели предназначены для нагрева воздуха (без изменения его влагосодержания) в центральных кондиционерах КТЦ3 производительностью по воздуху от I0 до 250 тыс.$м^3$/ч и могут быть использованы в широком диапазоне начальных температур воздуха от минус 45°С до I80°С. Теплоносителем служит горячая или перегретая вода с температурой до I80°С и давлением до I,2 МПа (I2 кгс/$см^2$).

Воздухонагреватели состоят из одной или нескольких последовательно расположенных по ходу движения воздуха групп теплообменников различной или одинаковой рядности. Каждая из групп в зависимости от воздухопроизводительности комплектуется из различного числа базовых теплообменников, заполняющих фронтальное сечение (приложение I).

Для воздухонагревателей, состоящих из нескольких групп теплообменников, расположенных по ходу воздуха, рекомендуется применять параллельную или последовательно-прямоточную схемы обвязки по теплоносителю, используя данные приложения I.

Базовые теплообменники из биметаллических трубок с алюминиевым накатным оребрением изготавливаются I8 типоразмеров /I/, отличающихся числом рядов трубок (I; I,5 или 2 ряда) и размером фронтального сечения. Однорядные теплообменники содержат зигзагообразно расположенный и плотно установленный пучок оребренных биметаллических трубок. Двухрядные теплообменники содержат два таких пучка, расположенных коридорно по отношению друг к другу. Так называемый "полуторорядный" теплообменник имеет два ряда оребренных трубок с разряженной шахматной компоновкой.

Технические характеристики базовых теплообменников, включая подробное описание конструкции, габаритные и присоединительные размеры представлены в /I/.

В настоящих материалах приведена методика и примеры расчета воздухонагревателей центральных кондиционеров КТЦ3, основанная на теоретических и экспериментальных работах, проведенных во ВНИИкондиционере /2,3, 4/ с учетом результатов работ /5,6,7/.

Настоящие методические материалы являются обязательным руководством по выбору и расчету тепломассообменного оборудования центральных кондиционеров КТЦЗ при проектировании систем вентиляции и кондиционирования воздуха и предназначены для учебных, научно-исследовательских организаций, а также для широкого круга инженерно-технических работников, занимающихся исследованием, проектированием, наладкой, монтажом и эксплуатацией систем вентиляции и кондиционирования.

Для расчета и подбора воздухонагревателей центральных кондиционеров ВНИИкондиционером разрабатываются ФОРТРАН-программы решения прямых и обратных задач для машин серии ЕС и ряда персональных ЭВМ. Указанные программы могут быть переданы заинтересованным организациям после заключения договора с ВНИИкондиционером на их передачу.

Кроме того, ВНИИкондиционером и ГПКНИИ СантехНИИпроект по договорам выполняются все виды теплотехнических расчетов по выбору воздухонагревателей кондиционеров КТЦЗ.

В подготовке настоящих материалов принимали участие следующие организации и исполнители:

ВНИИкондиционер Минстройдормаша СССР - Б.И.Бялый, А.В.Степанов, Г.С.Куликов, В.Н.Бондаренко, Н.Ф.Коссовский;

Харьковский завод "Кондиционер" Минстройдормаша СССР - Н.И.Загривый, О.П.Шмигуль;

ГПКНИИ СантехНИИпроект Госстроя СССР - С.М.Финкельштейн, Т.И.Садовская, В.М.Рубчинский.

Замечания и предложения просим направлять по адресу:
105203, Москва, Нижняя Первомайская ул.,д.46, ГПКНИИ СантехНИИпроект.

I. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

I.I. Методика расчета и примеры расчета воздухонагревателей(ВН) выполнены в единицах СИ и в системе МКГСС.

Значения в единицах МКГСС указаны в скобках.

I.2. Принятые условные обозначения:

c – удельная теплоемкость среды, кДж/(кг·°С) [(ккал/(кг·°С)] ;
d – влагосодержание воздуха, г/кг;
L – объемный расход воздуха, $м^3$/ч;
G – массовый расход среды, кг/ч;
t – температура среды, °С;
φ – относительная влажность воздуха, %;
i – энтальпия воздуха, кДж/кг (ккал/кг);
θ – относительный перепад температур среды;
F – теплопередающая поверхность, $м^2$;
$F_{фр}$ – фронтальная поверхность ВН, $м^2$;
$l_т$ – длина трубок теплообменника, м;
H – ширина базового теплообменника, м;
n – число рядов трубок в ВН;
w – скорость воды в трубках ВН, м/с;
$\nu_р$ – массовая скорость воздуха во фронтальном сечении ВН,кг/($м^2$·с);
K – коэффициент теплопередачи, Вт/($м^2$·°С) (ккал/($м^2$·°С·ч) ;
P – давление, кПа (мм.рт.ст.);
ΔP – потери давления, Па, кПа (кг/$м^2$, кгс/$см^2$);
q – расходный коэффициент;
a, b, m, r, q – коэффициенты аппроксимации.

I.3. Принятые индексы:

Б – барометрический; в – воздух; ж – жидкость; н – начальный; к – конечный; мин – минимальный; макс – максимальный; ном – номинальный; т – теплообменник; х – холодный; п – перелом; р – расчетный; ф – фактический; фр – фронтальный.

I.4. Перевод применяемых физических величин из системы МКГСС в СИ:

энтальпия I ккал/кг = 4,I87 кДж/кг;
теплоемкость I ккал/(кг·°С) = 4,I87 кДж/(кг·°С);
расход теплоты, холода (тепловой поток) I ккал/ч = I,I63 Вт;
давление I кгс/$м^2$ = 9,8I Па.

2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

2.I. В основу методики расчета воздухонагревателей (ВН) положено представление о процессах нагревания воздуха и охлаждения теплоносителя, описываемых безразмерными теплотехническими характеристиками, выраженными через относительные перепады температур по воздуху $\theta_в$ и воде $\theta_ж$ в воздухонагревательной установке.

Относительные перепады температур по воздуху $\theta_в$ и воде $\theta_ж$ соответствуют относительному нагреву воздуха и относительному охлаждению воды в ВН и определяются по формулам:

$$\theta_в = \frac{\Delta t_в}{\Delta t_н}, \qquad (2.I)$$

$$\theta_ж = \frac{\Delta t_ж}{\Delta t_н}, \qquad (2.2.)$$

где

$$\Delta t_в = t_{в.к} - t_{в.н}, \qquad (2.3)$$

$$\Delta t_ж = t_{ж.н} - t_{ж.к}, \qquad (2.4)$$

$$\Delta t_н = t_{ж.н} - t_{в.н}. \qquad (2.5)$$

2.2. Относительные перепады температур $\theta_в$ и $\theta_ж$ зависят от величины теплопередающей поверхности ВН, массовых расходов воздуха и воды и схем обвязки базовых теплообменников по фронту и по ходу воздуха. Формулы для подсчета величин $\theta_в$ и $\theta_ж$ ВН воздухопроизводительностью от I0 до 250 тыс. м^3/ч, соответствующих данным приложения I, приведены в /2/.

Исходными для расчета значений $\theta_в$ и $\theta_ж$ являются экспериментальные зависимости коэффициентов теплопередачи K от массовой скорости воздуха во фронтальном сечении $\nu\rho$ и скорости теплоносителя в трубках ω, выраженные уравнением

$$K = a(\nu\rho)^q \omega^r. \qquad (2.6)$$

Эти зависимости получены при испытании образцов теплообменников номер 08 (по ГОСТ 7201-80) и справедливы при значениях скорости теплоносителя в трубках ω = 0,3 ÷ 1,5 м/с и массовой скорости воздуха во фронтальном сечении $v\rho$ = 2÷5 кг/(м^2·с).

Значения коэффициентов аппроксимации a, q, r, для теплообменников с различным числом рядов трубок приведены в табл.2.1.

Значения коэффициентов аппроксикации a, q, r Таблица2.1

Число рядов трубок	a	q	r
1	28,0	0,448	0,129
1,5	25,3	0,447	0,087
2	25,5	0,485	0,127

2.3. Непосредственное использование выражения (2.6) для вычисления коэффициентов теплопередачи теплообменников других типоразмеров, а также ВН, составленных из групп базовых теплообменников, приводит к неточным результатам.

В настоящих материалах для вычисления теплотехнических характеристик ВН, состоящих как из одиночных базовых теплообменников, так и групп этих теплообменников с различными схемами обвязки по теплоносителю, применена методика, изложенная в /2/ и справедливая в широком диапазоне изменения скоростей воды (0,1 < ω < 2,0 м/с). Эта методика использует понятие коэффициента теплопередачи на элементарном участке теплопередающей поверхности, определенного по среднелогарифмической разности температур с учетом формулы (2.6). При этом расчетные зависимости для вычисления величин $\theta_в$ и $\theta_ж$ оказываются сложными и громоздкими для ручного счета. Для упрощения выбора ВН в приложении 2 представлены номограммы, построенные по указанным зависимостям для ВН каждого типоразмера кондиционера при различных вариантах обвязки по теплоносителю, позволяющие свести расчет к несложным графическим построениям. Приложение 2 состоит из 22 листов: на листах 1÷12 приведены теплотехнические характеристики для ВН без обводного канала, а на листах 13÷22 для ВН с обводным каналом.

2.3.I. Предлагаемые номограммы представляют теплотехнические характеристики в виде графиков зависимостей $\theta_ж(\theta_в)$ для ВН кондиционеров производительностью по воздуху от I0 до 250 тыс.$м^3$/ч с числом рядов трубок по ходу воздуха от $n = I$ до $n = 6$. В приложении I приведена характеристика номограмм приложения 2, по которой определяется номер листа, соответствующего заданным условиям – принятому типоразмеру кондиционера, выбранным типу ВН и схеме обвязки по теплоносителю. Компоновка ВН соответствует базовым схемам кондиционеров и их модификациям по /I/.

2.3.2. Графический материал номограмм приложения 2 расположен в одном квадранте координатной плоскости. На оси абсцисс отложены значения $\theta_в$, а на оси ординат – $\theta_ж$. На каждой номограмме нанесены кривые зависимостей $\theta_ж(\theta_в)$ ВН с числом рядов трубок n по глубине от одного ряда ($n = I$) до шести ($n = 6$) для определенного типоразмера кондиционера. Требуемая рядность ВН обеспечивается установкой по ходу воздуха одно- полутора – или двухрядных теплообменников в различных сочетаниях.

Номограммы построены для ВН, составленных из одно, полутора – и двухрядных теплообменников в следующей последовательности: $n = I$; $n = I,5$; $n = 2$; $n = 2,5 = I + I,5$; $n = 3 = I + 2$; $n = 4 = 2 + 2$; $n = 5 = I + 2 + 2$; $n = 6 = 2 + 2 + 2$. Порядок слагаемых указывает расположение по ходу воздуха теплообменников соответствующей рядности. Условные обозначения кривых $\theta_ж(\theta_в)$ на номограммах приложения 2 приведены в табл.2.2.

Таблица 2.2

Обозначение кривых $\theta_ж(\theta_в)$ на номограммах

Число рядов трубок ВН по ходу воздуха	Обозначения кривых $\theta_ж(\theta_в)$							
	I	A	2	B	3	4	5	6
Общее	I	I,5	2	2,5	3	4	5	6
Последовательно в каждом из устанавливаемых теплообменников	I	I,5	2	I+I,5	I+2	2+2	I+2+2	2+2+2

2.3.3. Кривые $\theta_ж$ ($\theta_в$) построены при значениях скоростей теплоносителя в трубках от 0,I до 2 м/с: верхние концы кривых соответствуют меньшим значениям скорости, нижние концы кривых - большим значениям скорости. На некоторых номограммах для более четкого изображения кривых в верхнем поле номограммы проведена отсечка верхней их части по $\theta_ж$ = 0,95. Все точки этих кривых, попавшие в поле графика, соответствуют значениям $\omega > 0,I$ м/с.

Номограммы позволяют проводить подбор ВН при расходах воздуха $G_в$, равных и отличающихся от номинальной производительности кондиционеров $G_в^{ном}$, так как графики зависимостей $\theta_ж$ ($\theta_в$.) построены при относительных расходах $\bar{G}_в$, равных 0,64; 0,8; I,0; I,25. Величина $\bar{G}_в$ определяется по формуле

$$\bar{G}_в = \frac{G_в}{G_в^{ном}} \qquad (2.7)$$

Зависимости $\theta_ж$ ($\theta_в$), соответствующие промежуточным величинам расходов воздуха, находятся путем линейной интерполяции между соседними кривыми.

2.3.4. При подборе ВН необходимо на выбранной номограмме определить положение точки с координатами, равными расчетным значениям $\theta_в^р$ и $\theta_ж^р$. Кривые, расположенные слева от расчетной точки, соответствуют ВН с поверхностью нагрева, не обеспечивающей требуемую теплопроизводительность.

2.4. Для обеспечения требуемой теплопроизводительности во всем диапазоне условий эксплуатации ВН, выбор его должен производиться для режима, требующего максимальной поверхности нагрева.

2.4.I. Для ВН первого подогрева, в зависимости от конкретных условий, максимальная поверхность нагрева требуется либо в режиме I при минимальной расчетной температуре наружного воздуха в холодный период года, либо в режиме 2 при температуре наружного воздуха, соответствующей точке перелома температурного отопительного графика тепловой сети ТЭЦ [8] или котельной (далее график теплосети).

Дать заранее однозначную рекомендацию по выбору одного из этих режимов в качестве расчетного не представляется возможным. Поэтому следует производить расчет для обоих указанных режимов. Исходные данные для подбора ВН первого подогрева приведены в табл.2.3.

Таблица 2.3

Исходные данные для расчета ВН

Режим	Температура воздуха начальная, °С	Влагосодержание воздуха начальное, г/кг	Температура воздуха конечная, °С	Температура теплоносителя начальная, °С	Температура теплоносителя конечная, °С
I	$t_{в.н.х}$	$d_{в.н.х}$ *	$t_{в.к.х}$	$t_{ж.н.х}$	$t_{ж.к.х}$
2	$t_{в.н.п}$	$d_{в.н.п}$ *	$t_{в.к.п}$	$t_{ж.н.п}$	$t_{ж.к.п}$

В табл. 2.3:

$t_{в.н.х}$ – начальная температура воздуха перед ВН в холодный период года;

$t_{в.н.п}$ – начальная температура воздуха перед ВН, соответствующая точке перелома графика теплосети по /8/;

$t_{ж.н.х}$, $t_{ж.к.х}$, $t_{ж.н.п}$, $t_{ж.к.п}$ – соответственно начальные и конечные температуры теплоносителя при температурах наружного воздуха $t_{в.н.х}$ и $t_{в.н.п}$ по графику теплосети;

$t_{в.к.х}$ – конечная температура воздуха после ВН в холодный период года по расчету при $t_{в.н.х}$;

$t_{в.к.п}$ – конечная температура воздуха после ВН в переходный период по расчету при $t_{в.н.п}$;

$d_{в.н.х}$ – влагосодержание воздуха, определяемое по $i-d$ – диаграмме влажного воздуха в точке с координатами $t_{в.н.х}$ и $i_{в.н.х}$;

$d_{в.н.п}$ – влагосодержание воздуха, определяемое по $i-d$ – диаграмме влажного воздуха в точке пересечения линии $t_{в.н.п} = const$ с левой границей климатической зоны данного района строительства. Значение $d_{в.н.п}$ допускается принимать равным I – I,5 г/кг.

---

* Определяется при расчете ВН в установках кондиционирования воздуха и вентиляции с адиабатным охлаждением.

2.4.2. Для воздухонагревателей второго подогрева при подаче теплоносителя с переменными параметрами (по графику теплосети) максимальная поверхность нагрева требуется при минимальной температуре теплоносителя на подаче. В этом случае расчет выполняется при параметрах теплоносителя, соответствующих точке перелома температурного графика теплосети.

2.5. Опасность замерзания теплоносителя в трубках ВН первого подогрева проверяется по двум параметрам: скорости воды в трубках и температуре обратной воды.

Для защиты ВН от замораживания необходимо, чтобы во всех режимах (при отрицательных температурах наружного воздуха) скорость воды в трубках $\omega_{мин}$ в соответствии со СНиП 2.04.05-86 /9/ была выше 0,12 м/с, а температура обратной воды $\omega_{ж.к}$ на выходе из ВН была выше некоторого значения (10°С), гарантирующего положительную температуру теплоносителя внутри каждого из теплообменников ВН, составленного из группы базовых теплообменников. Последнее условие необходимо обеспечивать из-за появления опасных зон в теплообменниках, в которых температура теплоносителя может быть ниже температуры теплоносителя на выходе из ВН.

2.5.1. Опасность замерзания теплоносителя в ВН проверяется при начальной температуре воздуха $t_{в.н.о}$= 0°С и φ = 100% и при начальной температуре в холодный период года $t_{в.н.х.}$ и φ = 100%. При этих условиях $\theta_{в}^{р}$ определяется по формуле (2.1), где $t_{в.к}$ рассчитывается при указанных температурах наружного воздуха, $\theta_{ж}^{р}$ находится на выбранной кривой на номограмме при значении $\theta_{в}=\theta_{в}^{р}$.

2.5.2. Минимальная скорость воды в трубках принятого ВН определяется по формуле

$$\omega_{мин}= \frac{\theta_{в}^{р}}{\theta_{ж}^{р}} \bar{G}_{в} q_{мин} , \qquad (2.8)$$

где коэффициент $q_{мин}$ находится по таблицам 2.4 и 2.5 в зависимости от числа рядов трубок ВН и номера листа приложения 2, соответствующего принятому типоразмеру кондиционера и схеме обвязки по теплоносителю.

Таблица 2.4

Значения коэффициентов: $q_{мин}$ для ВН

Тип ВН	Число рядов трубок	Номер листа приложения 2					
		I	2	3	4	5	6
Без обводного канала	I	0,672	0,672	I,344	I,344	I,760	I,760
	I,5	0,454	0,454	0,908	0,908	I,2II	I,2II
	2	0,335	0,336	0,672	0,672	0,880	0,880
	2,5	0,296 0,255	0,672 0,454	0,580 0,5I6	I,344 0,908	0,779 0,674	I,760 I,2II
	3	0,274 0,I99	0,672 0,336	0,527 0,409	I,344 0,672	0,7I9 0,520	I,760 0,880
	4	0,I68	0,336	0,336	0,672	0,440	0,880
	5	0,I72 0,I25	0,672 0,336	0,328 0,254	I,344 0,672	0,45I 0,327	I,760 0,880
	6	0,II2	0,376	0,224	0,672	0,293	0,880
		7	8	9	I0	II	I2
	I	2,689	2,689	3,352	I,362	I,362	4,462
	I,5	I,8I6	I,8I6	2,307	0,934	0,934	3,076
	2	I,344	I,344	I,675	0,676	0,676	2,234
	2,5	I,I60 I,033	2,689 I,8I6	I,485 I,284	0,602 I,52I	I,362 0,934	I,976 I,7I5
	3	I,053 0,8I7	2,689 I,344	I,369 0,99I	0,554 0,40I	I,362 0,675	I,8I9 I,324
	4	0,672	I,344	0,838	0,338	0,676	I,II7
	5	0,655 0,508	2,689 I,344	0,860 0,623	0,348 0,252	I,362 0,676	I,I42 0,83I
	6	0,448	I,344	0,558	0,225	0,676	0,745

Продолжение таблицы 2.4

Тип ВН	Число рядов трубок	Номера листов приложения 2					
		I3	I4	I5	I6	I7	I8
С обводным каналом	I	0,558	0,558	I,II7	I,II7	I,759	I,759
	I,5	0,384	0,384	0,769	0,769	I,2II	I,2II
	2	0,279	0,279	0,558	0,558	0,880	0,880
	2,5	0,250 / 0,2I2	0,558 / 0,384	0,49I / 0,43I	I,II7 / 0,769	0,777 / 0,676	I,759 / I,2II
	3	0,232 / 0,I63	0,558 / 0,279	0,449 / 0,334	I,II7 / 0,558	0,7I5 / 0,552	I,759 / 0,880
	4	0,I40	0,279	0,279	0,558	0,440	0,880
	5	0,I46 / 0,I03	0,558 / 0,279	0,28I / 0,209	I,II7 / 0,558	0,448 / 0,328	I,759 / 0,880
	6	0,093I	0,279	0,I86	0,558	0,293	0,880
		I9	20	2I	22		
	I	2,334	2,334	3,5I8	4,468		
	I,5	I,538	I,538	2,422	3,076		
	2	I,II7	I,II7	I,759	2,234		
	2,5	0,990 / 0,856	2,234 / I,538	I,555 / I,352	I,980 / I,7I3		
	3	0,9I3 / 0,66I	2,234 / I,II7	I,429 / I,045	I,825 / I,32I		
	4	0,558	I,II7	0,880	I,II7		
	5	0,573 / 0,4I5	2,234 / I,II7	0,897 / 0,656	I,I47 / 0,830		
	6	0,372	I,II7	0,586	0,745		

Примечание. В таблице для ВН с числом рядов трубок $n=2,5=I+I,5$; $n=3=I+2$; $n=5=I+2+2$ значения ϑ мин над чертой соответствуют скорости теплоносителя в теплообменниках меньшей рядности, под чертой– в теплообменниках большей рядности; для ВН с числом рядов трубок $n=2$; $n=4=2+2$; $n=6=2+2+2$ значения ϑ мин соответствуют каждому двухрядному теплообменнику.

2.5.3. Температура обратной воды на выходе из ВН определяется по формуле

$$t_{ж.к}=t_{ж.н}-\theta^{p}_{ж}(t_{ж.н}-t_{в.н}). \qquad (2.9)$$

2.5.4. Для ВН, составленных из двух и более групп теплообменников по ходу движения воздуха, с целью повышения надежности расчета и более обоснованной настройки датчика температуры воды в системе защиты от замерзания, целесообразно определять $t_{ж.к}$ на выходе из каждой группы теплообменников.

2.5.4.I. При параллельной обвязке по теплоносителю групп теплообменников (по ходу воздуха) температура на выходе из каждой группы теплообменников расчитывается:

из первой по ходу движения воздуха группы $t_{ж.к(1)}$ - по формуле (2.9), где $\theta^{р}_{ж} = \theta_{ж(1)}$;

из второй по ходу воздуха группы $t_{ж.к(2)}$ - по формуле

$$t_{ж.к(2)} = t_{ж.н} - \theta_{ж(2)}(1-\theta_{в(1)})(1-\theta_{в(2)})(t_{ж.н}-t_{в.н}); \qquad (2.I0)$$

из третьей по ходу движения воздуха группы $t_{ж.к(3)}$ - по формуле $t_{ж.к(3)} = t_{ж.н} - \theta_{ж.(3)}(1-\theta_{в(1)})(1-\theta_{в(2)})(1-\theta_{в(3)})(t_{ж.н}-t_{в.н})$; (2.II)

из четвертой по ходу движения воздуха группы $t_{ж.к(4)}$ - по формуле

$$t_{ж.к(4)} = t_{ж.н} - \theta_{ж(3)}(1-\theta_{в(1)})(1-\theta_{в(2)})(1-\theta_{в(3)})(1-\theta_{в(4)})(t_{ж.н}-t_{в.н}), \qquad (2.I2)$$

где $\theta_{ж(1)}$, $\theta_{ж(2)}$, $\theta_{ж(3)}$, $\theta_{ж(4)}$ - относительные перепады температур по теплоносителю соответственно в первой, второй, третьей или четвертой групше теплообменников;

$\theta_{в(1)}$, $\theta_{в(2)}$, $\theta_{в(3)}$, $\theta_{в(4)}$ - относительные перепады температур по воздуху соответственно в первой, второй, третьей или четвертой групше теплообменников.

Относительные перепады температур $\theta_{ж(i)}$ и $\theta_{в(i)}$ в каждой групше теплообменников определяются по выбранной номограмме в точке пересечения кривой $\theta_{ж(i)}(\theta_{в(i)})$, соответствующей ВИ с заданным $\bar{G}_{в}$ и числом рядов трубок рассматриваемой группы теплообменников, с лучом, соответствующим пропускаемому через эти теплообменники расходу теплоносителя. Тангенс угла наклона луча вычисляется по формуле

$$\frac{\theta_{ж(i)}}{\theta_{в(i)}} = \frac{\theta_{ж(n)}}{\theta_{в(n)}} \sqrt{\frac{б_i}{б_n}}, \qquad (2.I3)$$

где $\theta_{ж(i)}$ и $\theta_{в(i)}$ - соответственно относительные перепады температур по воде и воздуху в рассматриваемой групше теплообменников;

$\theta_{ж(n)}$ и $\theta_{в(n)}$ – соответственно относительные перепады температур по воде и воздуху в ВН;

$Б_i$, $Б_n$ – соответственно коэффициенты гидравлического сопротивления одной рассматриваемой группы теплообменников или ВН.

2.5.4.2. При последовательной обвязке по теплоносителю групп теплообменников (по ходу воздуха) температура теплоносителя на выходе из любой группы теплообменников $t_{ж.к(i)}$ находится по формуле (2.9), где $\theta^{p}_{ж} = \theta_{ж(i)}$. $\theta_{ж(i)}$ для каждой группы теплообменников принимается равным значению точки пересечения луча, проведенного из начала координат через расчетные точки по п. 4.2.4 с кривой $\theta_ж$ ($\theta_в$), соответствующей ВН с заданным значением $\bar{G}_в$ и суммарным числом рядов трубок групп теплообменников по ходу воздуха, включая тот, на выходе из которого определяется $t_{ж.к(i)}$.

Например, если находится $t_{ж.к(2)}$ на выходе из второй группы теплообменников по ходу воздуха, $\theta_{ж(2)}$ равно значению ординаты точки пересечения луча с кривой $\theta_ж$ ($\theta_в$), соответствующей ВН с заданным $\bar{G}_в$ и суммарному числу рядов трубок для первой и второй группы теплообменников.

3. АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

3.I. Аэродинамические характеристики (потери давления по воздуху) воздухонагревателей ΔP_a представлены на графике приложения 3 в виде зависимостей $\Delta P_a(\nu\rho)$ для ВН с разным числом трубок. Эти зависимости построены для ВН, компонуемых из групп базовых теплообменников по приложению I.

Указанные зависимости были получены с использованием формулы

$$\Delta P^{T}_{a} = b(\nu\rho)^{m} , \qquad (3.I)$$

где b и m – коэффициенты, принимаемые для теплообменников различной рядности по табл.3.I; $\nu\rho$ – массовая скорость воздуха во фронтальном сечении, вычисляемая по формуле

$$\nu\rho = \frac{G_в}{F_{фр} \cdot 3600} , \qquad (3.2)$$

здесь значение $F_{фр}$ принимается по табл. 3.2 .

Таблица 3.I

Коэффициенты b и m для базовых теплообменников различной рядности

Число рядов трубок теплообменника	b	m
I	4,I8	I,707
I,5	3,92	I,76I
2	6,94	I,7I6

Таблица 3.2

Площадь фронтального сечения ВН

Тип ВН	Тип кондиционера	Тип и количество базовых теплообменников во фронтальном сечении кондиционера						Площадь фронтального сечения, $м^2$
		I	2	3	4	5	6	
без обводного канала	КТЦЗ-I0	–	–	I	–	–	–	I,03
	КТЦЗ-20	–	–	–	I	–	–	2,07
	КТЦЗ-3I,5	–	–	–	–	–	I	3,3I
	КТЦЗ-40	–	–	–	2	–	–	4,I4
	КТЦЗ-63	–	–	–	–	–	2	6,63
	КТЦЗ-80	–	–	–	4	–	–	8,28
	КТЦЗ-I25	–	–	–	–	–	4	I3,26
	КТЦЗ-I60	–	–	–	–	4	2	I6,56
	КТЦЗ-200	–	–	–	–	–	6	I9,86
	КТЦЗ-250	–	–	–	–	6	3	24,84
с обводным каналом	КТЦЗ-I0	I	–	–	–	–	–	0,83
	КТЦЗ-20	–	I	–	–	–	–	I,65
	КТЦЗ-3I,5	–	–	–	–	I	–	2,49
	КТЦЗ-40	–	–	–	–	–	I	3,3I
	КТЦЗ-63	–	–	–	–	2	–	4,98
	КТЦЗ-80	–	–	–	–	–	2	6,63
	КТЦЗ-I25	–	–	–	–	4	–	9,86
	КТЦЗ-I60	–	–	–	–	–	4	I3,26
	КТЦЗ-200	–	–	–	–	6	–	I4,94
	КТЦЗ-250	–	–	–	–	–	6	I9,89

Примечание. В таблице приняты условные обозначения базовых теплообменников

1 - базовый теплообменник H=1,0 м и $\ell_т$= 0,828 м;
2 - базовый теплообменник H=1,0 м и $\ell_т$= 1,655 м;
3 - базовый теплообменник H=1,25м и $\ell_т$= 0,828 м;
4 - базовый теплообменник H=1,25м и $\ell_т$= 1,655 м;
5 - базовый теплообменник H=1,5м и $\ell_т$= 1,655 м;
6 - базовый теплообменник H=2,0м и $\ell_т$= 1,655 м,

где H - высота теплообменника, $\ell_т$ - длина трубок.

3.2. Гидравлические характеристики (потери давления по воде) воздухонагревателя $\Delta p_ж$, кПа, определяются по формуле

$$\Delta p_ж = Б_п \left(\frac{\theta_в^р}{\theta_ж^р}\right)^2 \bar{G}_в^2 \cdot 98{,}1 \quad , \qquad (3.3)$$

где $Б_п$ - коэффициент гидравлического сопротивления воздухонагревательной установки, принимаемый по номограммам приложения 2 в зависимости от принятого типоразмера кондиционера, типа и схемы обвязки ВН. Значения коэффициентов $Б_1$, $Б_A$, $Б_2$, $Б_B$, $Б_3$, $Б_4$, $Б_5$, $Б_6$ приведены на номограммах в правой верхней части и соответствуют ВН с числом рядов трубок по ходу воздуха 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6.

Величины коэффициентов $Б_п$ зависят от схем обвязки по теплоносителю теплообменников ВН по фронту и по ходу движения воздуха, а также от значений коэффициентов гидравлического сопротивления базовых теплообменников $Б_т$. Формулы для подсчета $Б_п$ для ВН воздухопроизводительностью от 10 до 250 тыс.м^3/ч приведены в /2/.

Гидравлические характеристики базовых теплообменников $\Delta p_ж^т$, Па, определяются по формуле

$$\Delta p_ж^т = 9{,}8 Б_т \omega^2 \quad , \qquad (3.4)$$

где $Б_т$ - экспериментальные значения коэффициентов гидравлического сопротивления базовых теплообменников, приведенные в табл.3.3

Таблица 3.3

Значения коэффициентов $Б_т$ базовых теплообменников

Число рядов трубок	Тип базового теплообменника					
	1	2	3	4	5	6
1	927,0	1208	1151	1573	1728	2248
1,5	1287	1568	1564	1985	2285	3003
2,0	1900	2181	2192	2613	3235	4255

В формуле(3.3) учитываются потери давления по теплоносителю только в теплообменниках, из которых комплектуется ВН. Потери давления по воде в трубопроводах обвязки ВН расчитываются традиционным способом.

4. РАСЧЕТ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

4.I. Наиболее распространенной задачей расчета воздухонагревателей является подбор величины теплопередающей поверхности, обеспечивающей заданную теплопроизводительность и температуру обратной воды не вышезаданной по графику теплосети.

В этом случае известны расход воздуха, начальные и конечные температуры воздуха и теплоносителя.

Необходимо выбрать типоразмер ВН, требуемую поверхность нагрева и способ обвязки базовых типлообменников по теплоносителю, а также проверить запас по поверхности нагрева и опасность замерзания теплоносителя, определить расход теплоносителя, гидравлические и аэродинамические потери давления в ВН.

4.2. Порядок расчета воздухонагревателей.

4.2.I. По приложению I для заданного типоразмера кондиционера выбираются номера листов номограмм приложения 2, описывающих возможные варианты типов воздухонагревателей и обвязки их по теплоносителю. Определяются исходные данные в соответствии с п.2.4.I для ВН первого подогрева и с п.2.4.2 для ВН второго подогрева.

4.2.2. Определяются относительные перепады температур по воздуху $\theta_в^р$ и воде $\theta_ж^р$ для расчетных режимов по формулам:

$$\theta_в^р = \frac{t_{в.к} - t_{в.н}}{t_{ж.н} - t_{в.н}} , \qquad (4.I)$$

$$\theta_ж^р = \frac{t_{ж.н} - t_{ж.к}}{t_{ж.н} - t_{в.н}} . \qquad (4.2)$$

Значения $t_{в.к}$ находятся построением на $i-d$ диаграмме.

4.2.3. Вычисляется относительный расход воздуха $\bar{G}_в$ по формуле (2.7).

4.2.4. На выбранных номограммах находятся точки с координатами $\theta^р_в$ и $\theta^р_ж$, полученными в п.4.2.2. Для этого на оси абсцисс откладывается значение $\theta^р_в$, а на оси ординат значение $\theta^р_ж$. Через полученные точки проводятся прямые, параллельные осям координат, до пересечения друг с другом.

Положение построенных точек в поле номограммы определяет выбор поверхности ВН.

Все воздухонагреватели, теплотехнические характеристики которых в виде кривых $\theta_ж$ ($\theta_в$) при значении $\bar{G}_в$, увеличенном в I,25 раза* по сравнению с расчитанным по формуле (2.7), расположены справа от расчетных точек, обеспечивают требуемую теплопроизводительность с некоторым запасом.

Выбирают ВН с минимальным запасом по теплообменной поверхности, теплотехническая характеристика которого определяется самой левой от всех этих кривых.

4.2.5. Для определния величины запаса на теплообменной поверхности находятся относительные перепады температур по воздуху $\theta^у_в$ и теплоносителю $\theta^у_ж$, соответствующие реальному процессу теплопередачи при расчетном расходе воды, определяемом при значениях $\theta^р_в$ и $\theta^р_ж$ в каждой расчетной точке.

$\theta^у_в$ и $\theta^у_ж$ находятся как координаты точки пересечения лучей, проведенных из начала координат через расчетные точки по п.4.2.4, с выбранной кривой $\theta_ж$ ($\theta_в$).

Запас по теплообменной поверхности вычисляется для каждого режима по формуле

$$\frac{F-F^р}{F^р}\cdot 100\% = \left[\frac{\theta^у_в-\theta^р_в}{\theta^р_в}\cdot\frac{1}{1-\frac{\theta^у_в+\theta^у_ж}{2}}-0{,}1\right]\cdot 100\%, \qquad (4.3)$$

где 0,I - коэффициент, учитывающий допустимое по техническим условиям на кондиционеры КТЦЗ снижение коэффициента теплопередачи базовых теплообменников.

---

* Увеличением $\bar{G}_в$ в I,25 раза учитывается возможное снижение коэффициента теплопередачи базовых теплообменников, допускаемое техническими условиями на кондиционеры КТЦЗ.

Меньшее из полученных значений в каждом режиме принимается для оценки запаса по поверхности в принятом ВН.

4.2.6. Определяется фактический расход теплоносителя $G_ж^ф$ по формуле

$$G_ж^ф = G_в \frac{c_в \theta_в^{макс}}{c_ж \theta_ж^ф}, \qquad (4.4)$$

где $\theta_в^{макс}$ – максимальное из двух значений $\theta_в^р$ по п.4.2.2;

$\theta_ж^ф$ – значение $\theta_ж$, полученное на номограмме, как ордината точки пересечения вертикальной прямой $\theta_в = \theta_в^{макс}$ с выбранной кривой $\theta_ж(\theta_в)$.

Фактический расход теплоносителя, пропускаемый через ВН при регулировании, обеспечивает заданную конечную температуру в выбранном ВН и является расчетным расходом для расчета сети теплоснабжения.

4.2.6.I. При установке ВН без регулирующего клапана расход теплоносителя расчитывается по формуле

$$G_ж = G_в \frac{c_в}{c_ж} \left(\frac{\theta_в^р}{\theta_ж^р}\right)_{макс}, \qquad (4.5)$$

где $\left(\frac{\theta_в^р}{\theta_ж^р}\right)_{макс}$ – максимальное из отношений $\frac{\theta_в^р}{\theta_ж^р}$, полученных в п.4.2.2 для каждого из режимов.

При этом расходе теплоносителя обеспечивается температура обратной воды по графику теплосети при некотором увеличении конечной температуры воздуха (тем больше, чем больше запас по теплообменной поверхности).

4.2.7. Проверяется возможность замерзания теплоносителя в ВН по параметрам, указанным в п.2.5.

4.2.7.I. Вычисляются относительные перепады температур по воздуху $\theta_в^р$ в режимах, указанных в п.2.5.I, по формуле (4.I), где $t_{в.к}$ и $t_{ж.н}$ – значения конечной температуры воздуха и начальной температуры воды для этих режимов.

4.2.7.2. Находятся на номограмме фактические относительные перепады температур по воде $\theta_ж^ф$ в этих двух режимах, как ординаты точек пересечения вертикальных прямых $\theta_в^р = const$ с выбранной кривой $\theta_ж$ ($\theta_в$).

4.2.7.3. Вычисляется минимальная скорость воды в трубках принятого ВН по формуле (2.8) при минимальном из двух значений $\theta_в^р$ по п.4.2.7.1 и соответствующему ему значению $\theta_ж^ф$ по п.4.2.7.2.

4.2.7.4. Определяется температура обратной воды на выходе из ВН $t_{ж.к}$ при двух значениях $\theta_ж^ф$ по п.4.2.7.2 по формуле (2.9).

Опасность замерзания теплоносителя оценивается по минимальной из полученных температур (см. п.2.5).

При проверке опасности замерзания ВН, составленных из двух и более групп теплообменников по ходу воздуха, значение $t_{ж.к}$ уточняется в соответствии с п.2.5.4.

4.2.7.5. Одновременное выполнение двух условий ($\omega_{мин} > 0{,}12$ м/с и $t_{ж.к}^{мин} > 10^{\circ}C$) свидетельствует об отсутствии опасности замерзания теплоносителя в выбранной установке.

Если одно из двух условий не обеспечивается, необходимо подобрать другой ВН (например, с меньшим живым сечением по теплоносителю или с обводным каналом) или предусмотреть регулирование теплопроизводительности ВН за счет изменения соотношения расходов горячей и циркулирующей воды подмешивающим (циркуляционным) насосом.

4.2.7.6. Температура настройки датчика системы защиты ВН от замерзания задается на 2–3°С больше расчетного значения $t_{ж.к}^{мин}$.

4.2.8. Определяются потери давления в ВН по воздуху (аэродинамические потери давления) по п.3.1.

4.2.9. Определяются потери давления в ВН по теплоносителю (гидравлические потери давления) по п.3.2 при значениях $\theta_в$ и $\theta_ж$ по п.4.2.6.

5. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

5.1. В настоящем альбоме приведены примеры расчета воздухонагревателей первого и второго подогрева центральных кондиционеров.

В табл.5.1 представлены этапы расчета ВН первого и второго подогрева.

Таблица 5.I

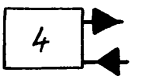
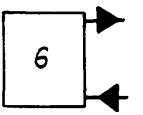
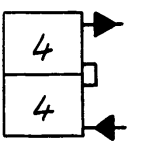
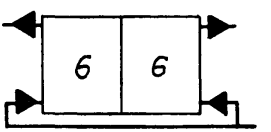
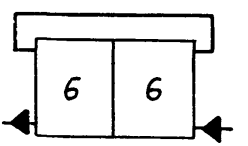
Этапы расчета воздухонагревателей

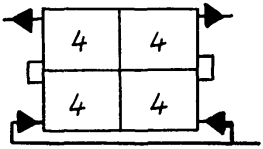
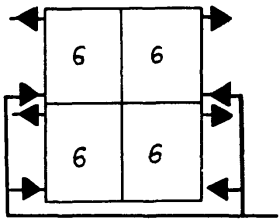
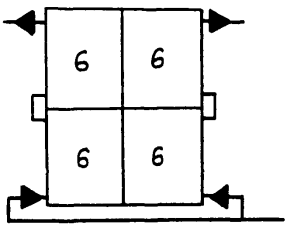
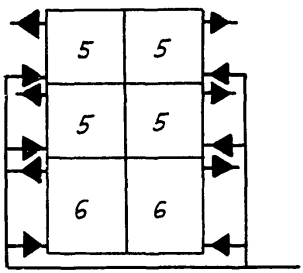
№ п/п	Наименование этапа	ВН первого подогрева	ВН второго подогрева
I.	Определение параметров расчетной точки	п.п.2.4.I, 4.2.2	п.п.2.4.2, 4.2.2
2.	Выбор поверхности	п.п.4.2.3, 4.2.4	п.п.4.2.3, 4.2.4
3.	Проверка запаса по поверхности	п.4.2.5	п.4.2.5
4.	Определение расхода теплоносителя	п.4.2.6	п.4.2.6
5.	Проверка опасности замерзания	п.п.2.5,4.2.7	
6.	Определение потерь давления по воздуху	п.п.3.I, 4.2.8	п.п.3.I,4.2.8
7.	Определение потерь давления по теплоносителю	п.п.3.2, 4.2.9	п.п.3.2, 4.2.9

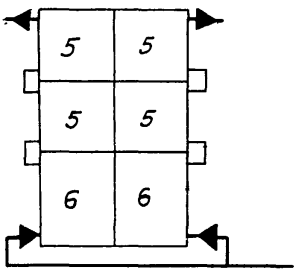
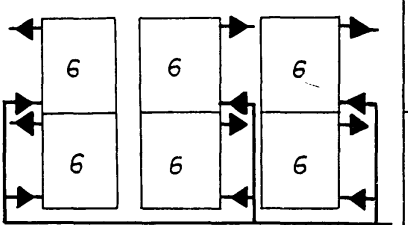
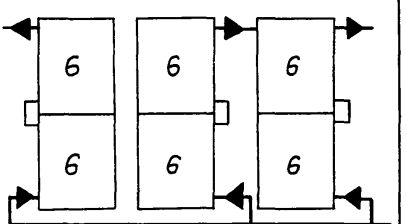
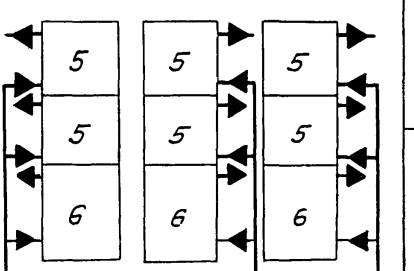
Примеры расчета приведены в приложении 4.

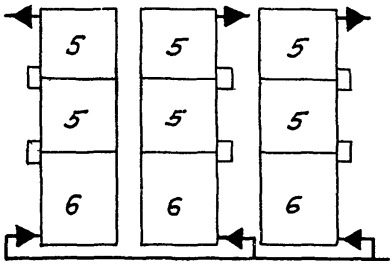
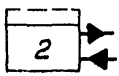
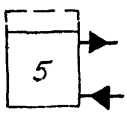
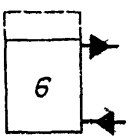
Приложение I Лист I Листов 7

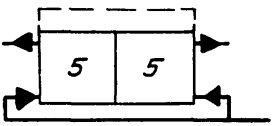
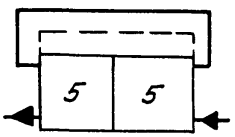
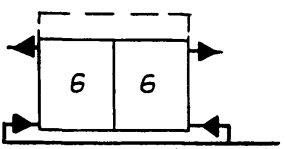
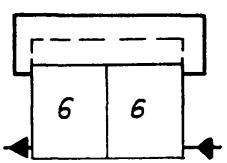
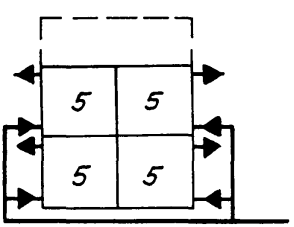
ХАРАКТЕРИСТИКИ НОМОГРАММ ПРИЛОЖЕНИЯ 2

Кондиционер	Схема обвязки воздухонагревателя по воде		Номер листа приложения 2
	по фронту	по ходу воздуха	
Воздухонагреватели без обвода по воздуху			
КТЦЗ-I0		параллельная	I
		последовательно-прямоточная	2
КТЦЗ-20		параллельная	3
		последовательно-прямоточная	4
КТЦЗ-3I,5		параллельная	5
		последовательно-прямоточная	6
КТЦЗ-40		параллельная	7
		последовательно-прямоточная	8
КТЦЗ-63		параллельная	5
		последовательно-прямоточная	6
		параллельная	9

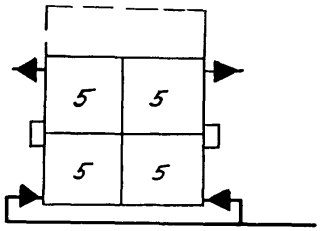
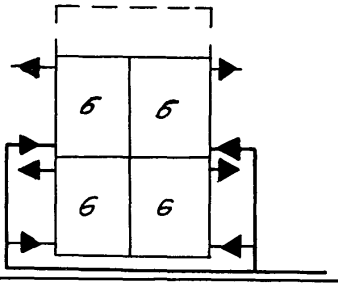
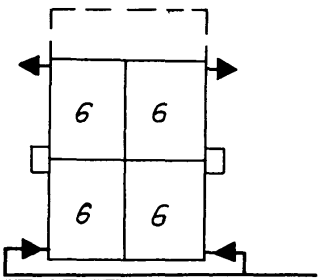
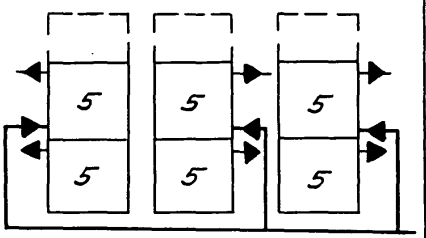
Кондиционер	Схема обвязки воздухонагревателя по воде		Номер листа приложения 2
	по фронту	по ходу воздуха	
КТЦЗ-80		параллельная	7
		последовательно-прямоточная	8
КТЦЗ-125		параллельная	5
		последовательно-прямоточная	6
		параллельная	9
КТЦЗ-160		параллельная	10
		последовательно-прямоточная	11

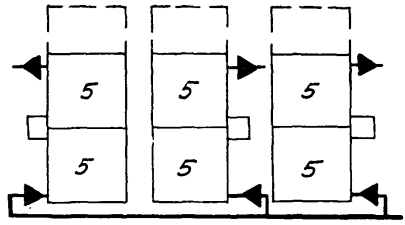
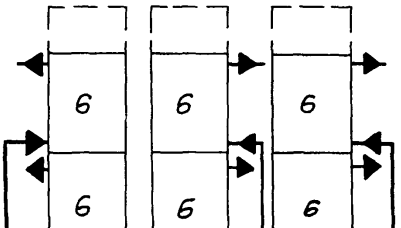
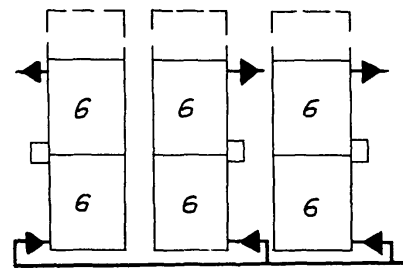
Кондиционер	Схема обвязки воздухонагревателя по воде		Номер листа приложения 2
	по фронту	по ходу воздуха	
КТЦЗ-160		параллельная	I2
КТЦЗ-200		параллельная	5
		последовательно-прямоточная	6
		параллельная	9
КТЦЗ-250		параллельная	I0
		последовательно-прямоточная	II

Кондиционер	Схема обвязки воздухонагревателя по воде		Номер листа приложения 2
	по фронту	по ходу воздуха	
КТЦЗ-250		параллельная	I2
Воздухонагреватели с обводом по воздуху			
КТЦЗ-I0		параллельная	I3
		последовательно-прямоточная	I4
КТЦЗ-20		параллельная	I5
		последовательно-прямоточная	I6
КТЦЗ-3I,5		параллельная	I7
		последовательно-прямоточная	I8
КТЦЗ-40		параллельная	I9
		последовательно-прямоточная	20

Кондиционер	Схема обвязки воздухонагревателя по воде		Номер листа приложения 2
	по фронту	по ходу воздуха	
КТЦ3-63		параллельная	I7
		последовательно-прямоточная	I8
		параллельная	2I
КТЦ3-80		параллельная	I9
		последовательно-прямоточная	20
		параллельная	22
КТЦ3-I25		параллельная	I7
		последовательно-прямоточная	I8

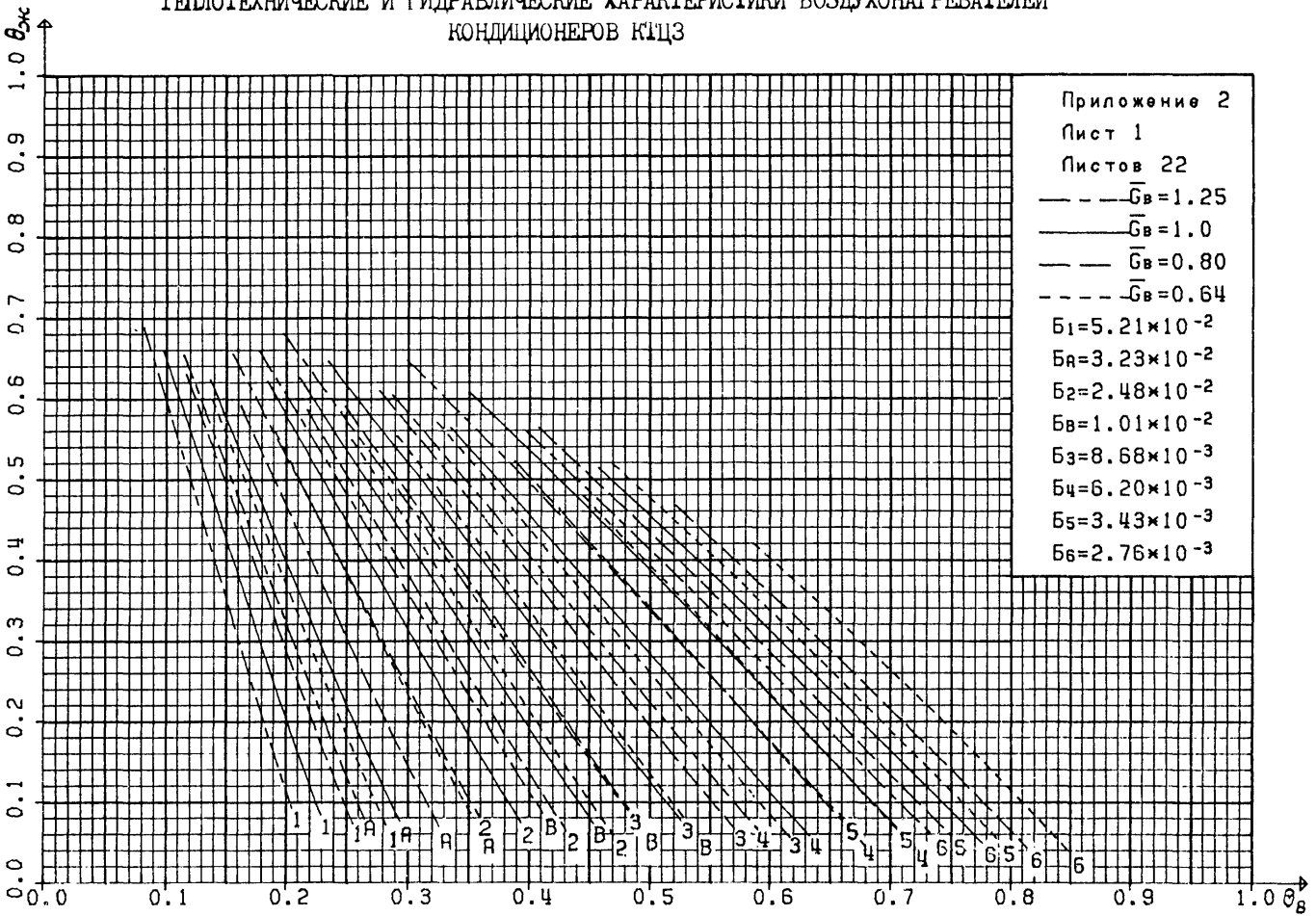
Приложение I Лист 6 Листов 7

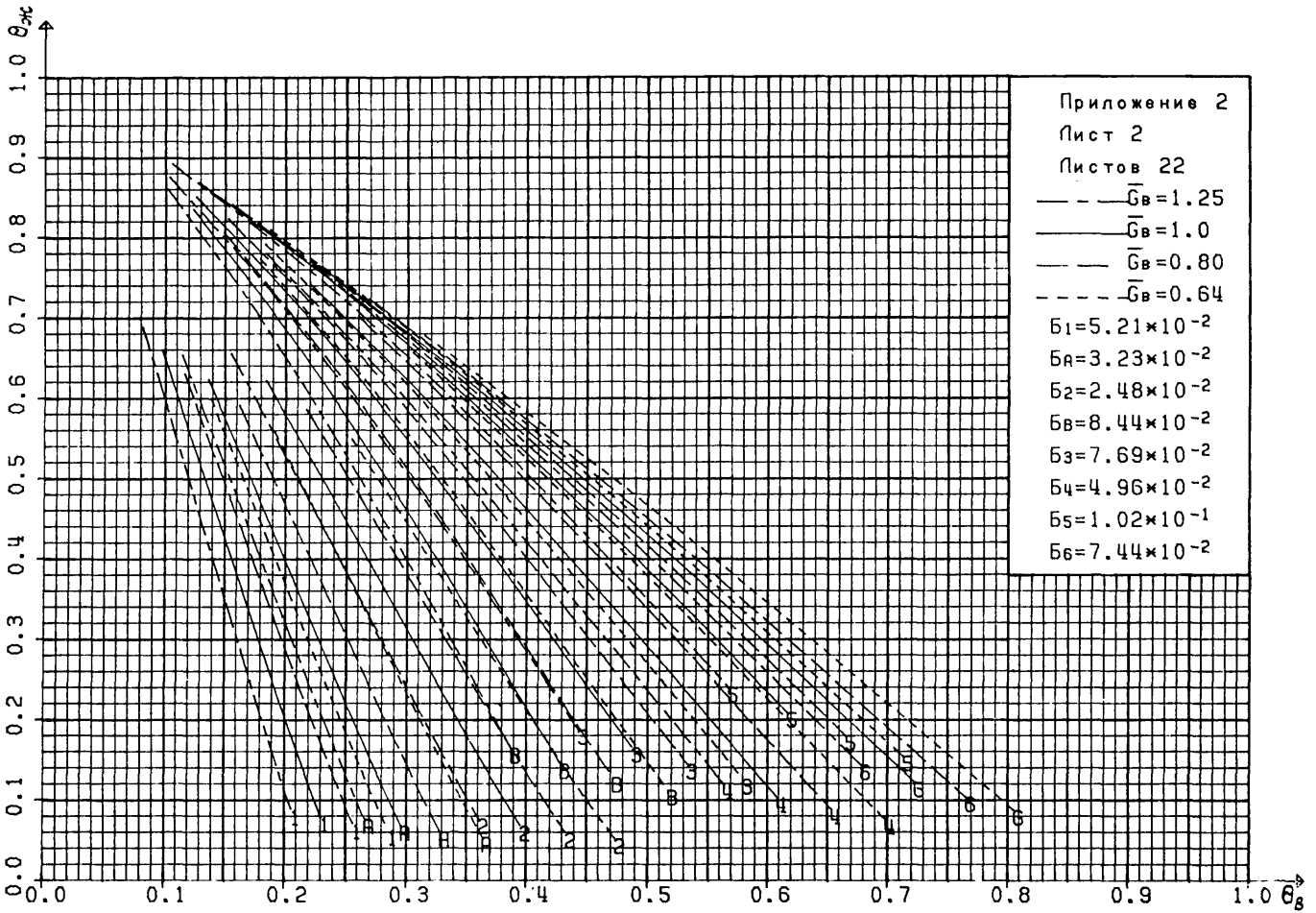
Кондиционер	Схема обвязки воздухонагревателя по воде		Номер листа приложения 2
	по фронту	по ходу воздуха	
КТЦЗ-I25		параллельная	2I
КТЦЗ-I60		параллельная	I9
		последовательно-прямоточная	20
		параллельная	22
КТЦЗ-200		параллельная	I7
		последовательно-прямоточная	I8

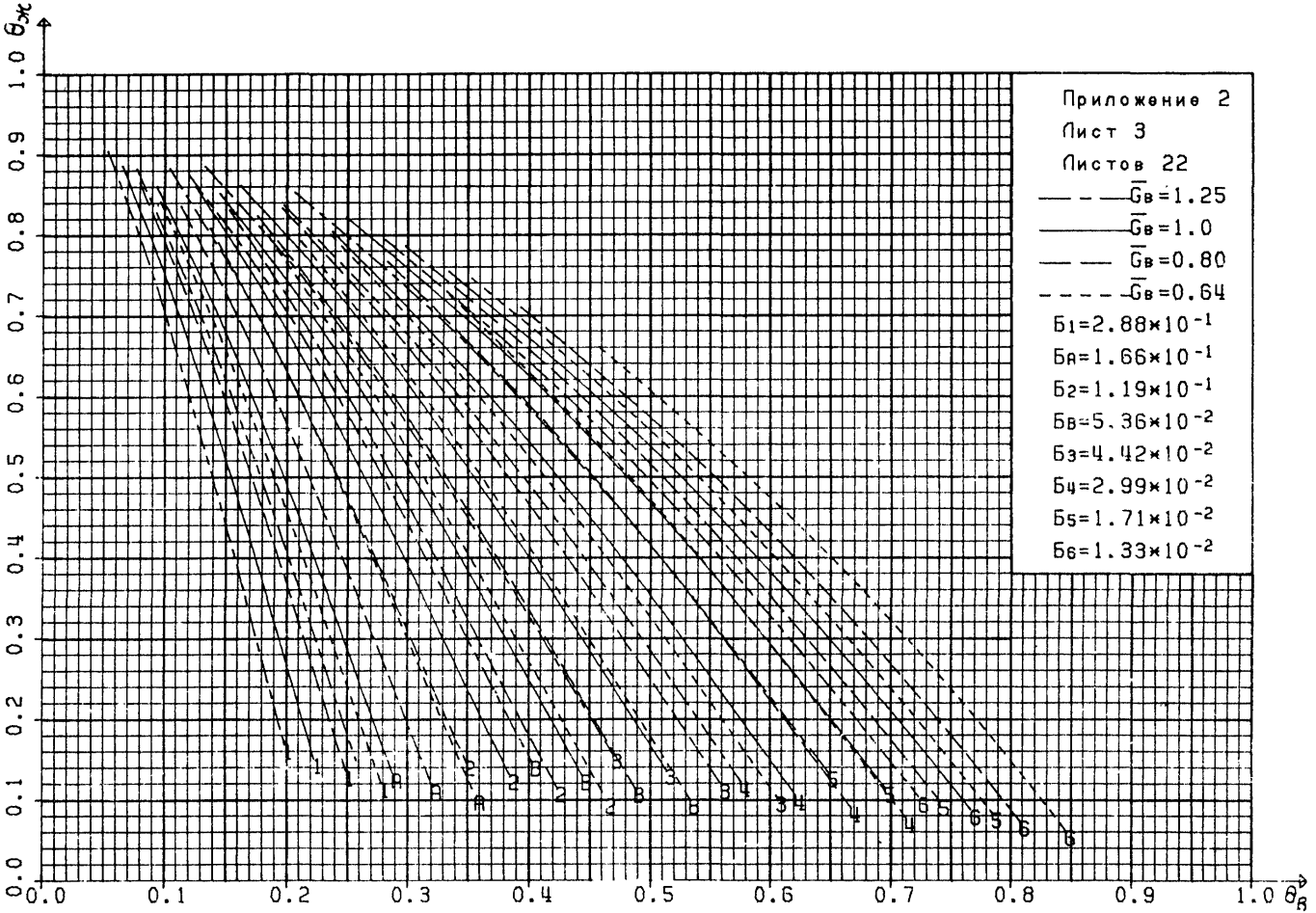
Кондиционер	Схема обвязки воздухонагревателя по воде		Номер листа приложения 2
	по фронту	по ходу воздуха	
КТЦЗ-200		параллельная	2I
КТЦЗ-250		параллельная	I9
		последовательно-прямоточная	20
		параллельная	22

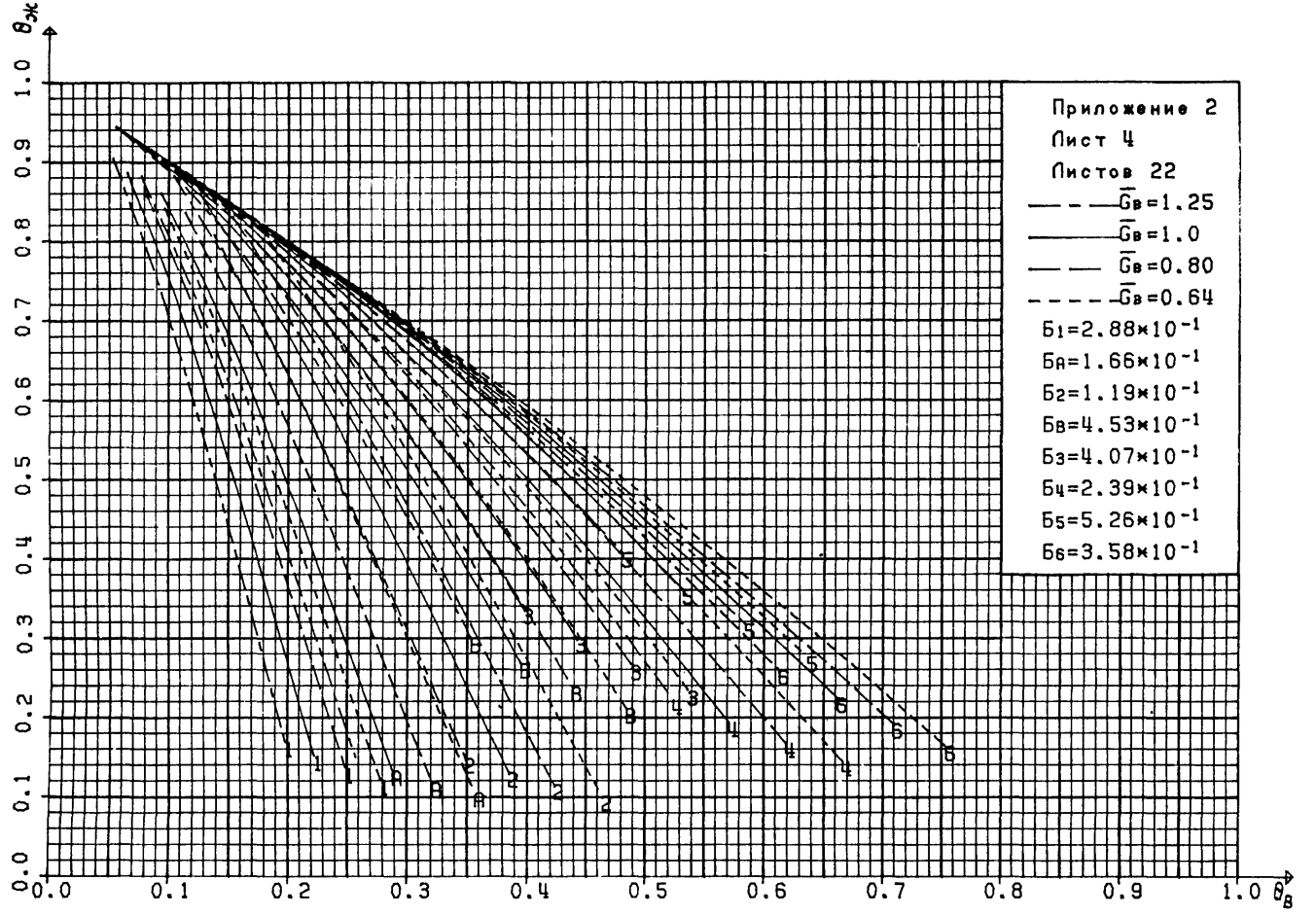
1 – базовый теплообменник H = I,0 м и $\ell_т$ = 828 мм
2 – базовый теплообменник H = I,0 м и $\ell_т$ = I655 мм
3 – базовый теплообменник H = I,25 м и $\ell_т$ = 828 мм
4 – базовый теплообменник H = I,25 м и $\ell_т$ = I655 мм
5 – базовый теплообменник H = I,5 м и $\ell_т$ = I655 мм
6 – базовый теплообменник H = 2,0 м и $\ell_т$ = I655 мм

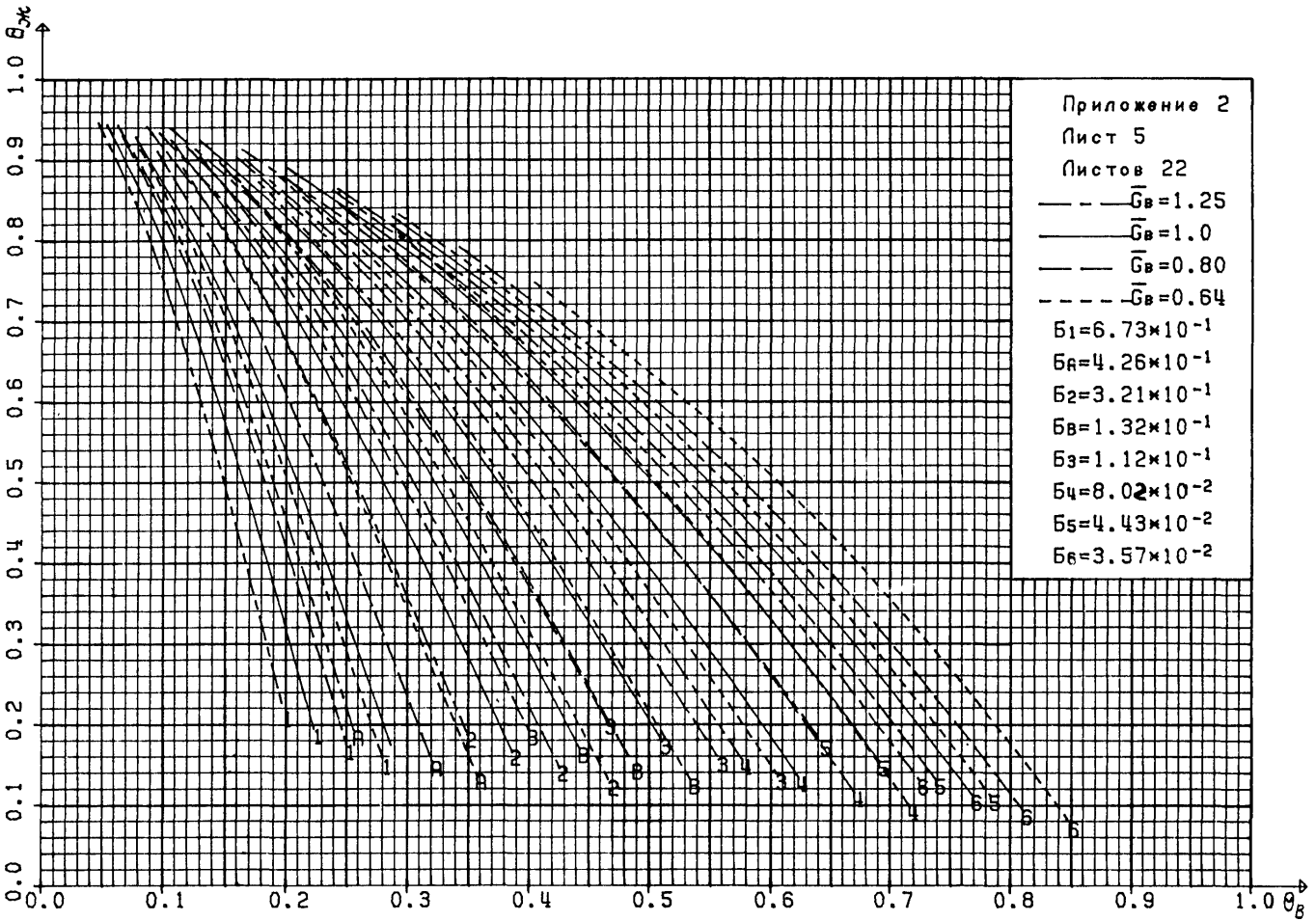
ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ КОНДИЦИОНЕРОВ КТЦ3

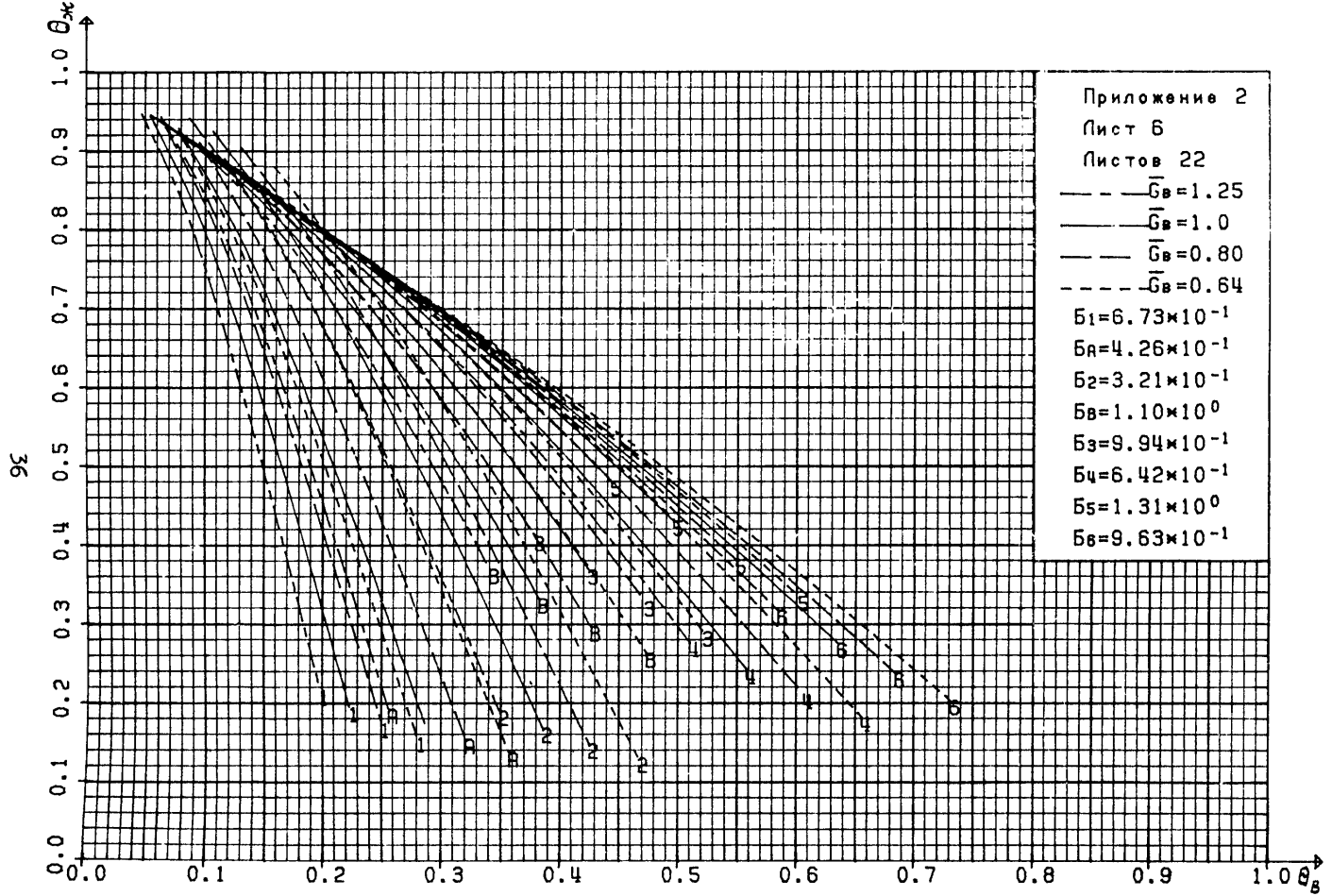


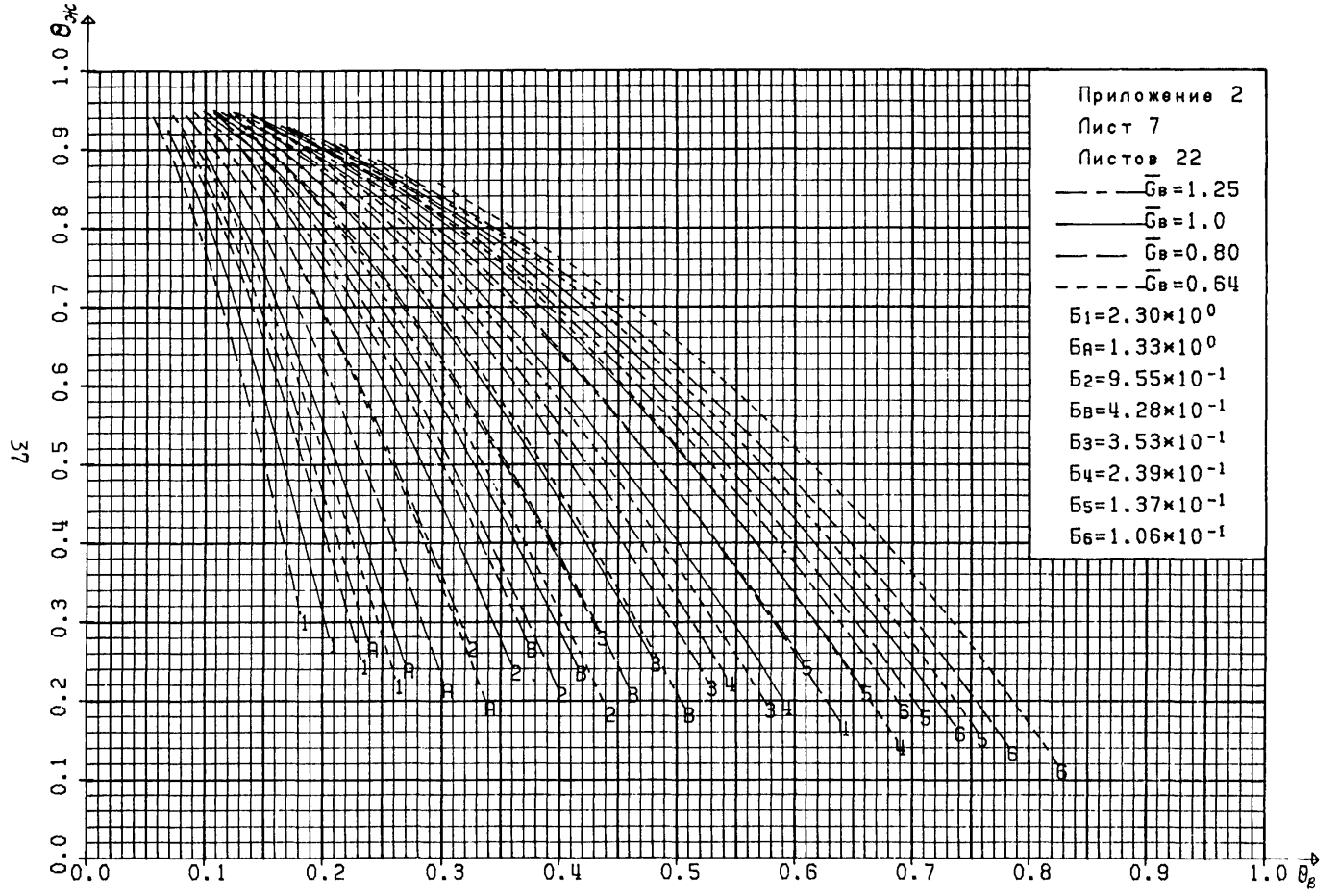

Приложение 2
Лист 2
Листов 22
$\bar{G}_в$=1.25
$\bar{G}_в$=1.0
$\bar{G}_в$=0.80
$\bar{G}_в$=0.64
Б1=5.21×10⁻²
Ба=3.23×10⁻²
Б2=2.48×10⁻²
Бв=8.44×10⁻²
Б3=7.69×10⁻²
Б4=4.96×10⁻²
Б5=1.02×10⁻¹
Б6=7.44×10⁻²
$\theta_ж$
$\theta_в$
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0

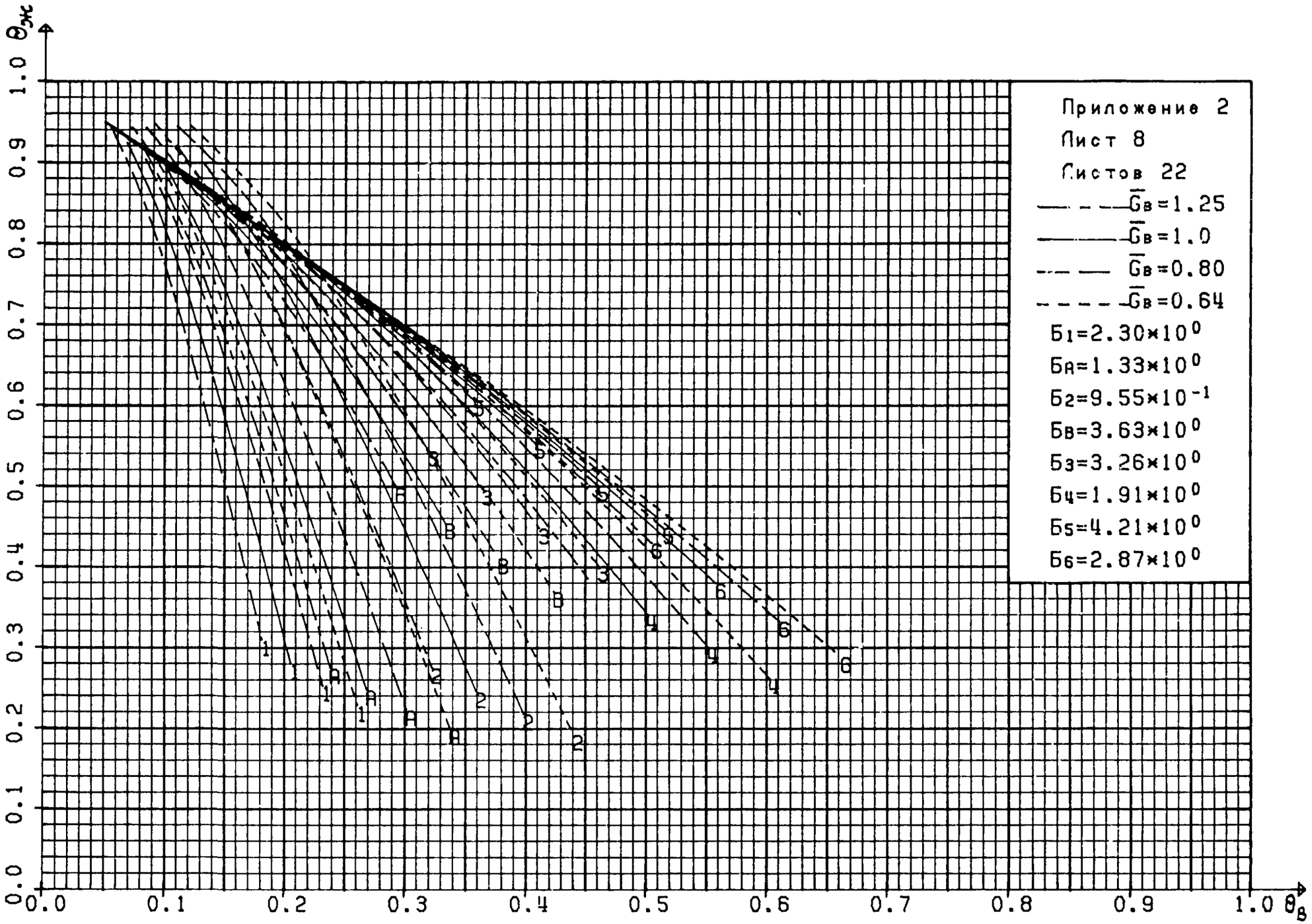

Приложение 2
Лист 3
Листов 22
$\overline{G_в}=1.25$
$\overline{G_в}=1.0$
$\overline{G_в}=0.80$
$\overline{G_в}=0.64$
$Б_1=2.88\times10^{-1}$
$Б_А=1.66\times10^{-1}$
$Б_2=1.19\times10^{-1}$
$Б_В=5.36\times10^{-2}$
$Б_3=4.42\times10^{-2}$
$Б_4=2.99\times10^{-2}$
$Б_5=1.71\times10^{-2}$
$Б_6=1.33\times10^{-2}$
$\theta_ж$
$\theta_Б$
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0

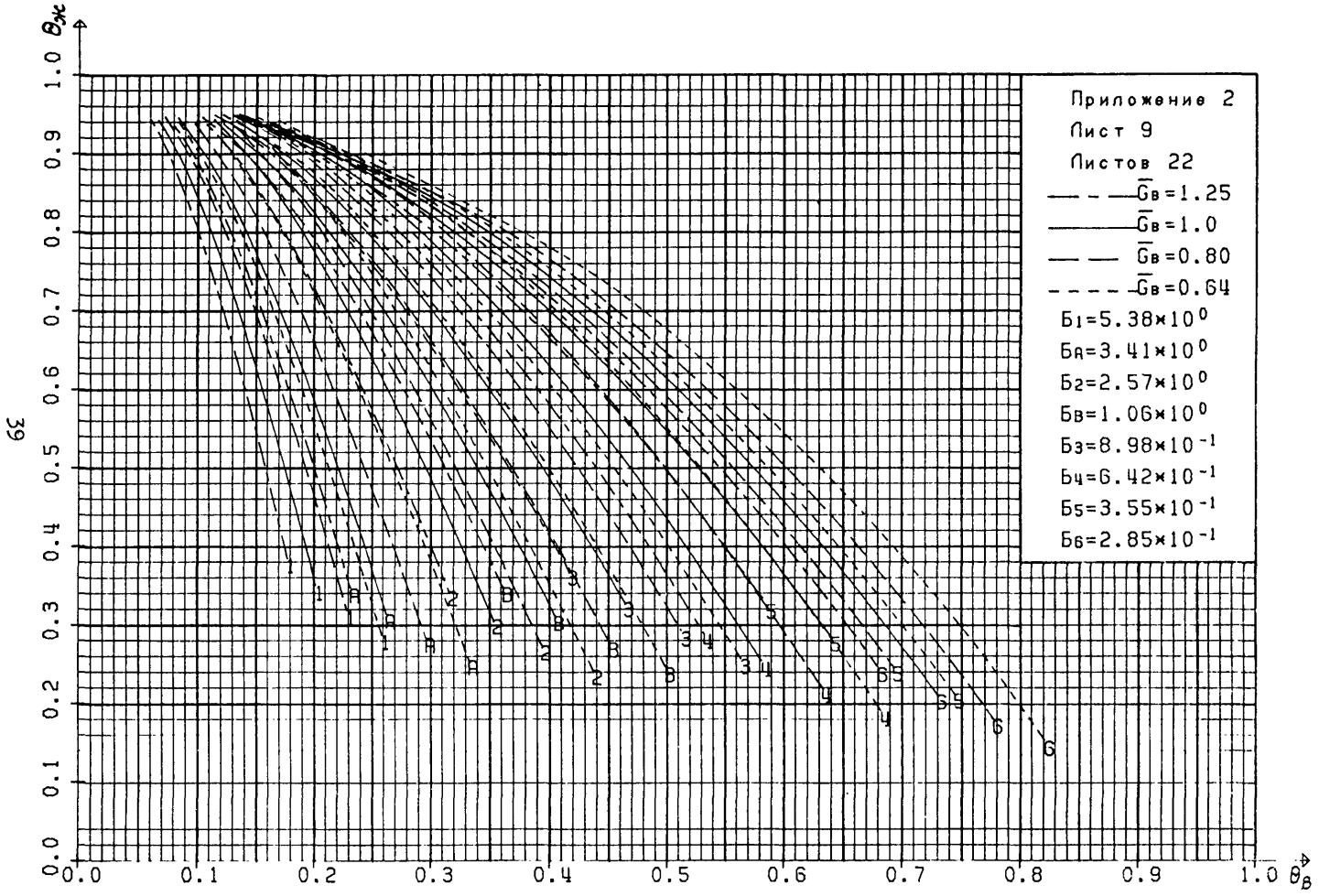

Приложение 2
Лист 4
Листов 22
$\bar{G}_в$=1.25
$\bar{G}_в$=1.0
$\bar{G}_в$=0.80
$\bar{G}_в$=0.64
Б1=2.88×10⁻¹
БА=1.66×10⁻¹
Б2=1.19×10⁻¹
Бв=4.53×10⁻¹
Б3=4.07×10⁻¹
Б4=2.39×10⁻¹
Б5=5.26×10⁻¹
Б6=3.58×10⁻¹
$\theta_ж$
$\theta_в$
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0

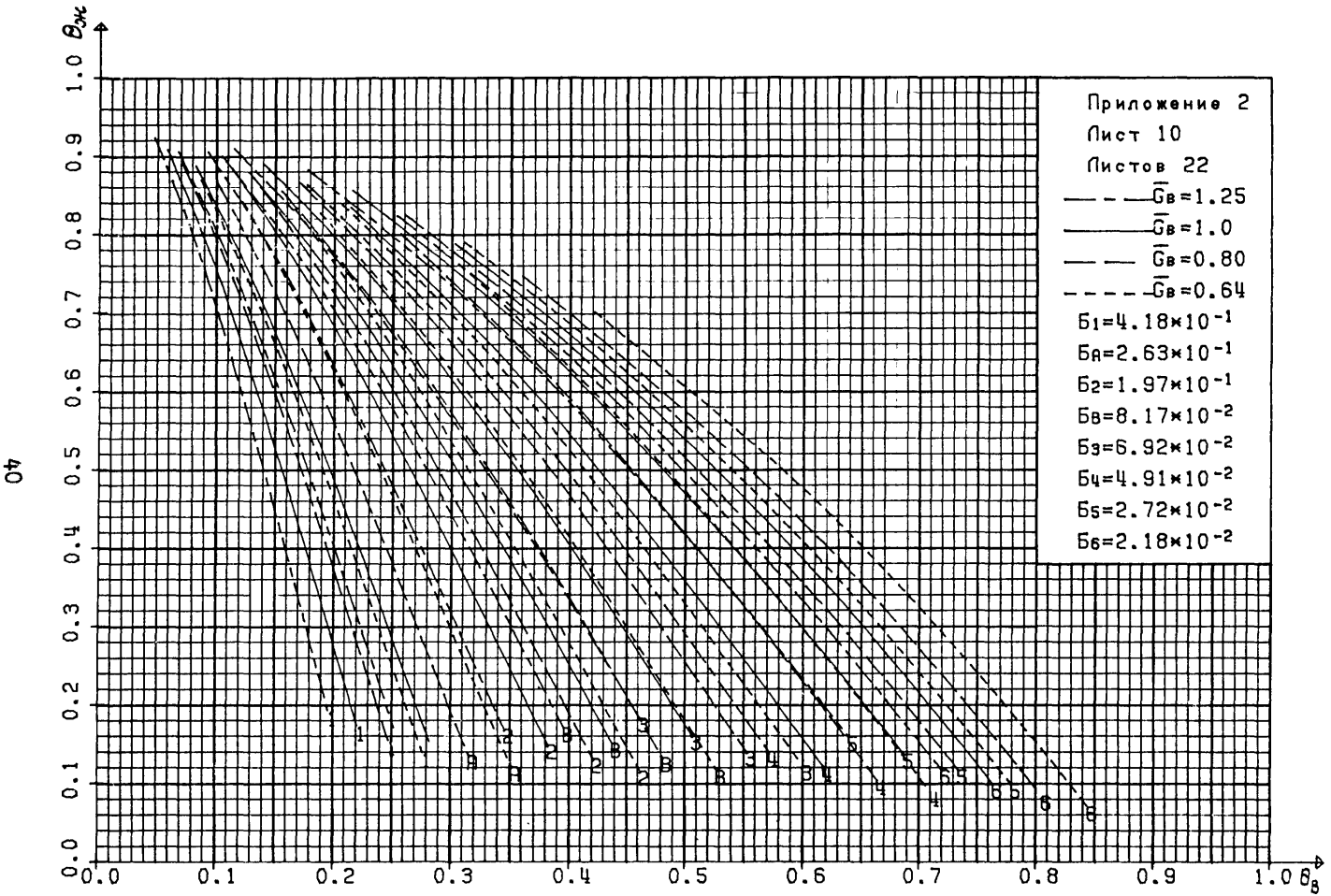

Приложение 2
Лист 5
Листов 22
$\bar{G}_в$=1.25
$\bar{G}_в$=1.0
$\bar{G}_в$=0.80
$\bar{G}_в$=0.64
$Б_1=6.73\times10^{-1}$
$Б_А=4.26\times10^{-1}$
$Б_2=3.21\times10^{-1}$
$Б_В=1.32\times10^{-1}$
$Б_З=1.12\times10^{-1}$
$Б_Ц=8.02\times10^{-2}$
$Б_5=4.43\times10^{-2}$
$Б_6=3.57\times10^{-2}$
$\theta_ж$
$\theta_в$
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0

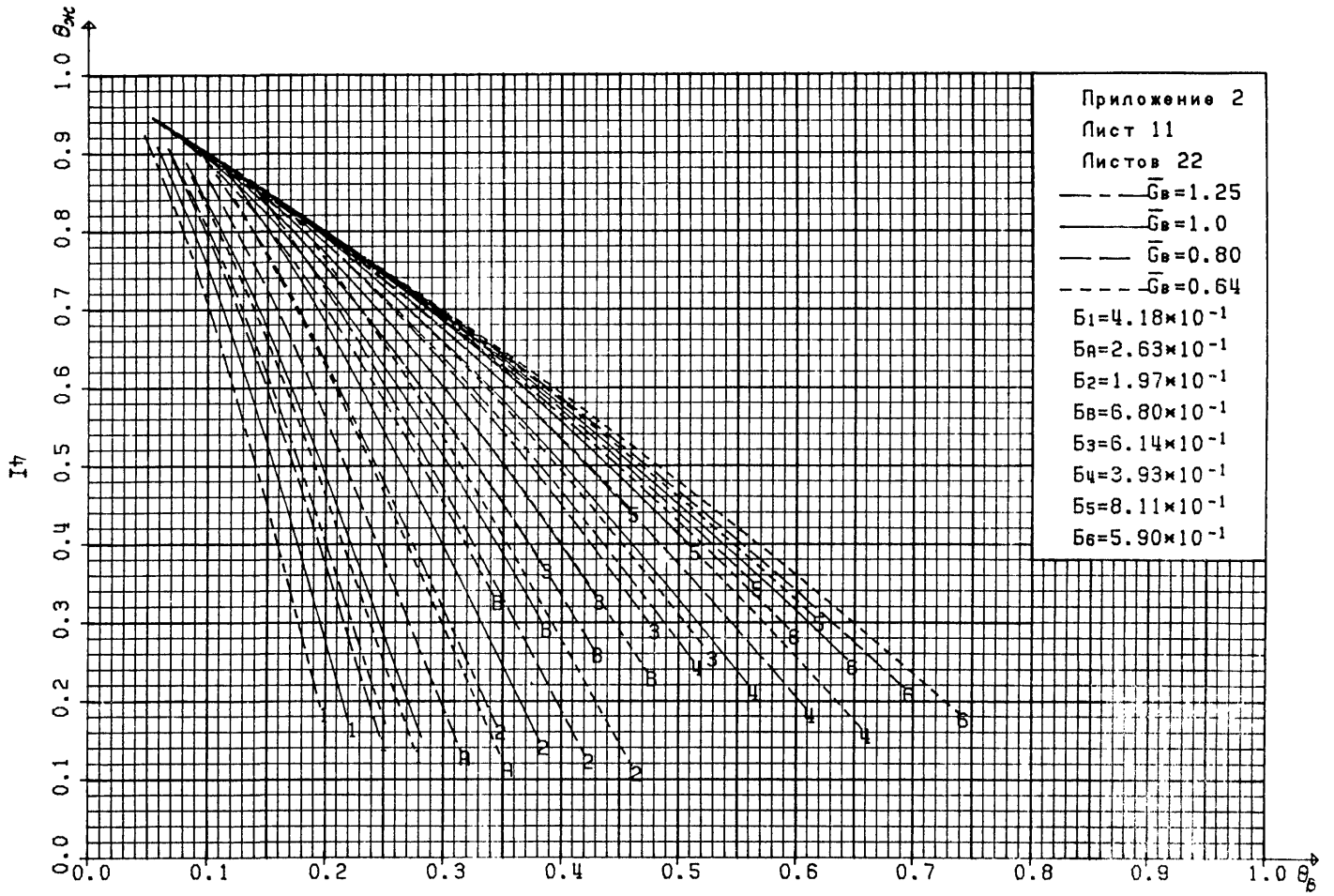

Приложение 2
Лист 6
Листов 22
$\bar{G}_в$=1.25
$\bar{G}_в$=1.0
$\bar{G}_в$=0.80
$\bar{G}_в$=0.64
Б1=6.73×10⁻¹
Бд=4.26×10⁻¹
Б2=3.21×10⁻¹
Бв=1.10×10⁰
Бз=9.94×10⁻¹
Бч=6.42×10⁻¹
Б5=1.31×10⁰
Бв=9.63×10⁻¹
θж
θв
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0

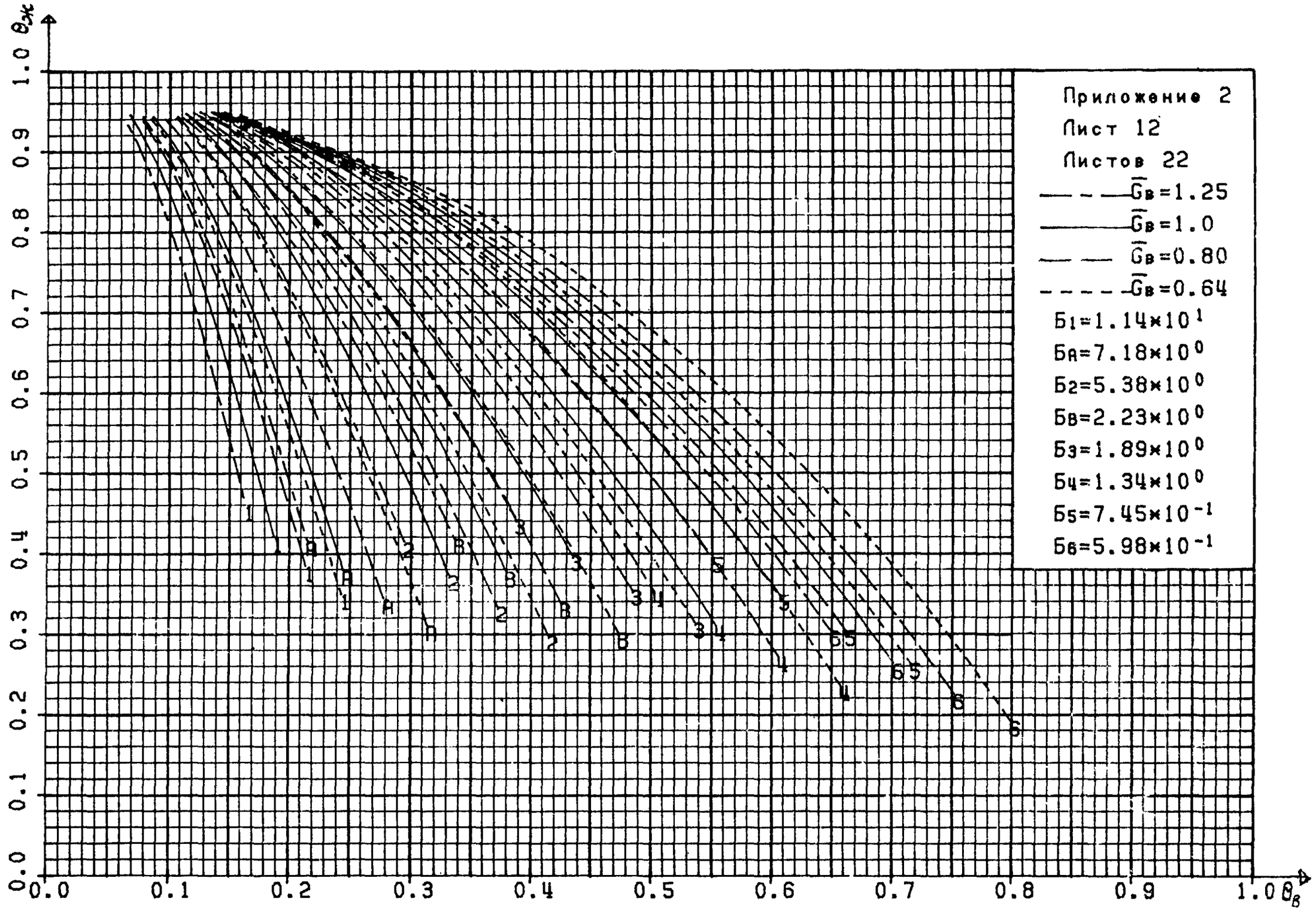

Приложение 2
Лист 7
Листов 22
$\bar{G}_в$=1.25
$\bar{G}_в$=1.0
$\bar{G}_в$=0.80
$\bar{G}_в$=0.64
Б1=2.30×10^0
БА=1.33×10^0
Б2=9.55×10^-1
БВ=4.28×10^-1
Б3=3.53×10^-1
Б4=2.39×10^-1
Б5=1.37×10^-1
Б6=1.06×10^-1
$\theta_{эк}$
$\theta_в$
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0

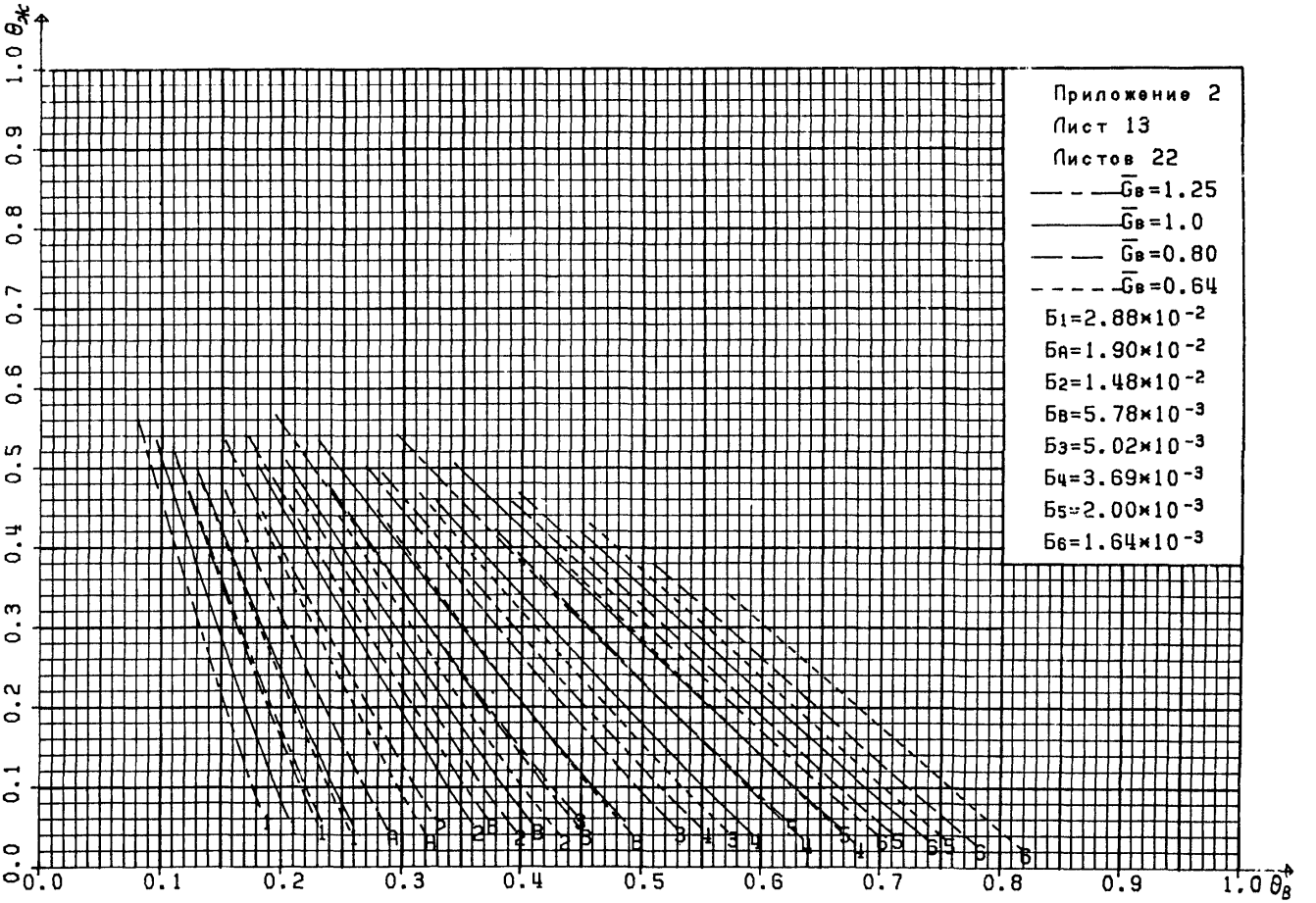

$\theta_{ж}$
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0
$\theta_в$
Приложение 2
Лист 8
Листов 22
$\bar{G}_в$=1.25
$\bar{G}_в$=1.0
$\bar{G}_в$=0.80
$\bar{G}_в$=0.64
Б1=2.30×10^0
Бд=1.33×10^0
Б2=9.55×10^-1
Бв=3.63×10^0
Б3=3.26×10^0
Бц=1.91×10^0
Б5=4.21×10^0
Б6=2.87×10^0

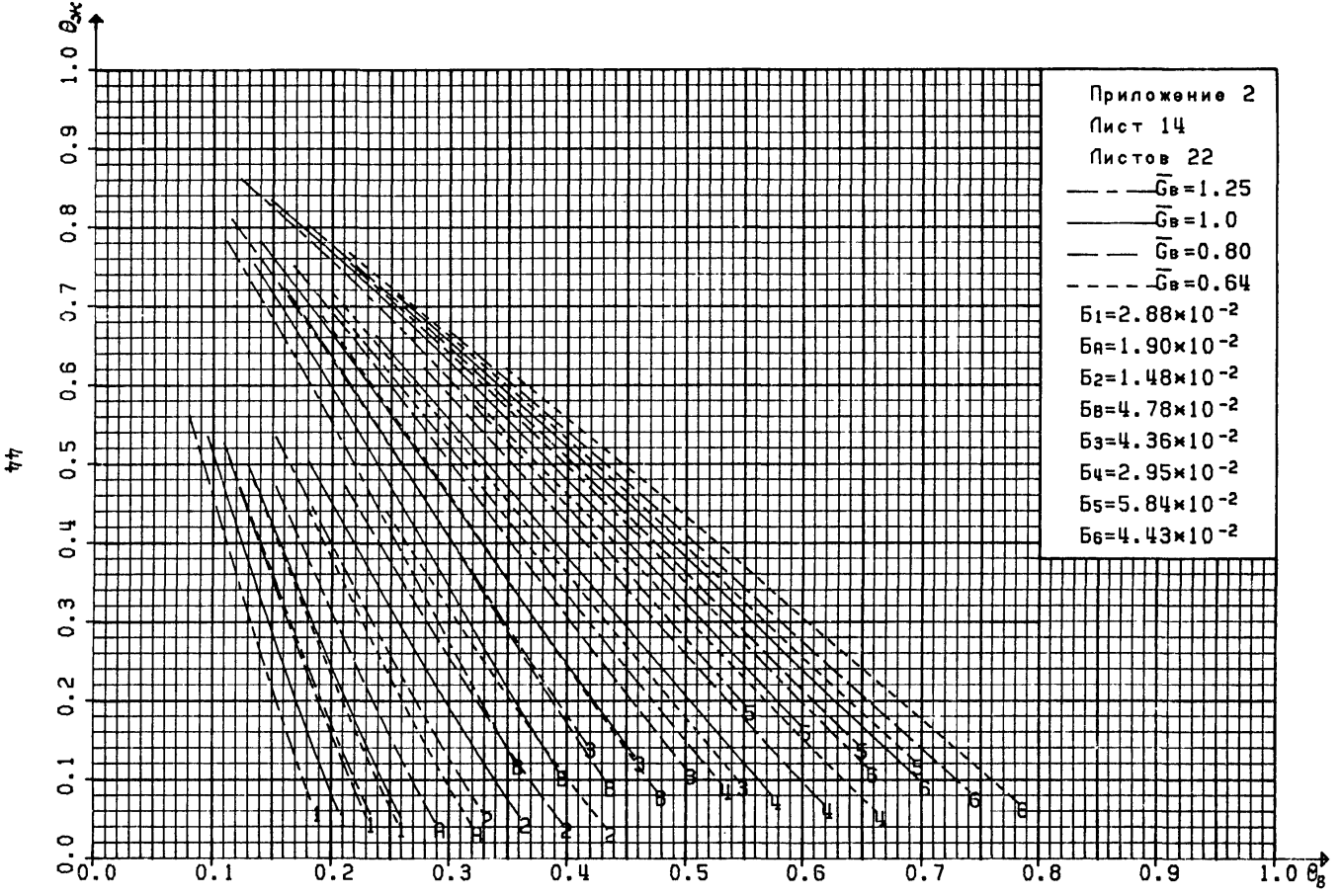

Приложение 2
Лист 9
Листов 22
$\bar{G}_в = 1.25$
$\bar{G}_в = 1.0$
$\bar{G}_в = 0.80$
$\bar{G}_в = 0.64$
$Б_1 = 5.38 \times 10^0$
$Б_А = 3.41 \times 10^0$
$Б_2 = 2.57 \times 10^0$
$Б_В = 1.06 \times 10^0$
$Б_3 = 8.98 \times 10^{-1}$
$Б_4 = 6.42 \times 10^{-1}$
$Б_5 = 3.55 \times 10^{-1}$
$Б_6 = 2.85 \times 10^{-1}$
$\theta_ж$
$\theta_в$
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0

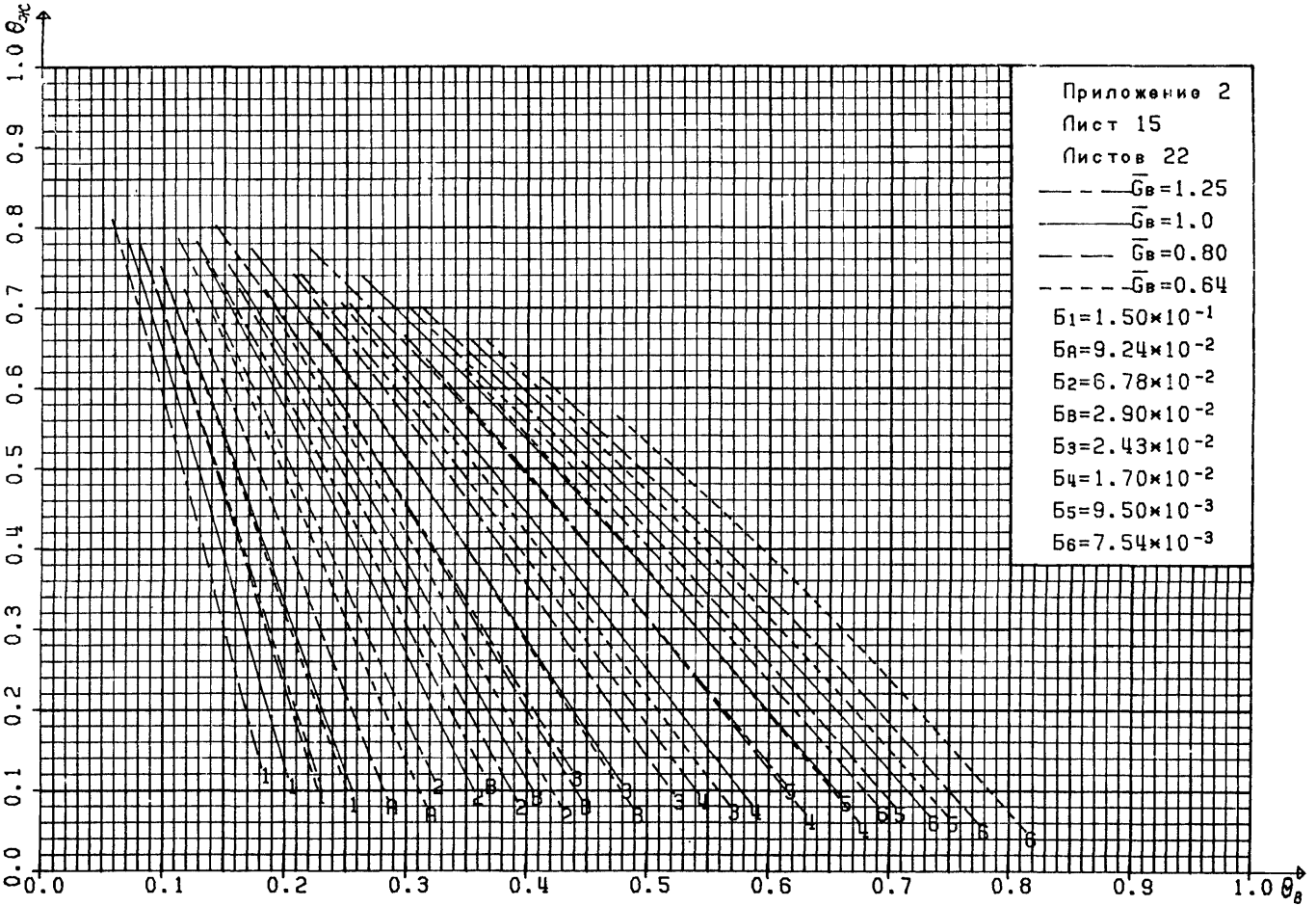

Приложение 2
Лист 10
Листов 22
$\bar{G}_в$=1.25
$\bar{G}_в$=1.0
$\bar{G}_в$=0.80
$\bar{G}_в$=0.64
Б1=4.18×10⁻¹
БА=2.63×10⁻¹
Б2=1.97×10⁻¹
Бв=8.17×10⁻²
Б3=6.92×10⁻²
Б4=4.91×10⁻²
Б5=2.72×10⁻²
Б6=2.18×10⁻²
$\theta_{ж}$
$\theta_в$
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0

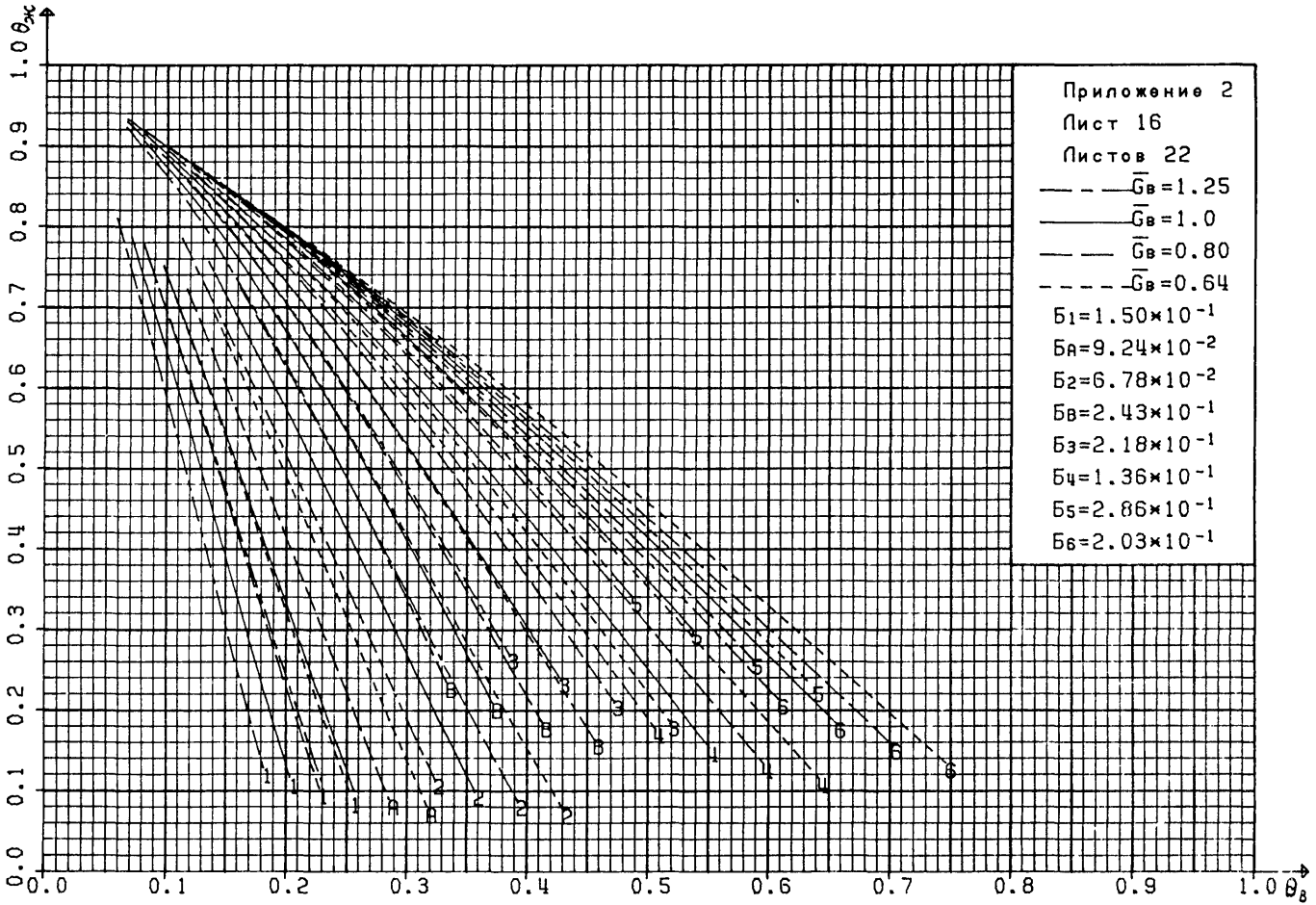

Приложение 2
Лист 11
Листов 22
$\bar{G}_в$=1.25
$\bar{G}_в$=1.0
$\bar{G}_в$=0.80
$\bar{G}_в$=0.64
$Б_1=4.18\times10^{-1}$
$Б_A=2.63\times10^{-1}$
$Б_2=1.97\times10^{-1}$
$Б_B=6.80\times10^{-1}$
$Б_3=6.14\times10^{-1}$
$Б_4=3.93\times10^{-1}$
$Б_5=8.11\times10^{-1}$
$Б_6=5.90\times10^{-1}$
$\theta_ж$
$\theta_б$
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0

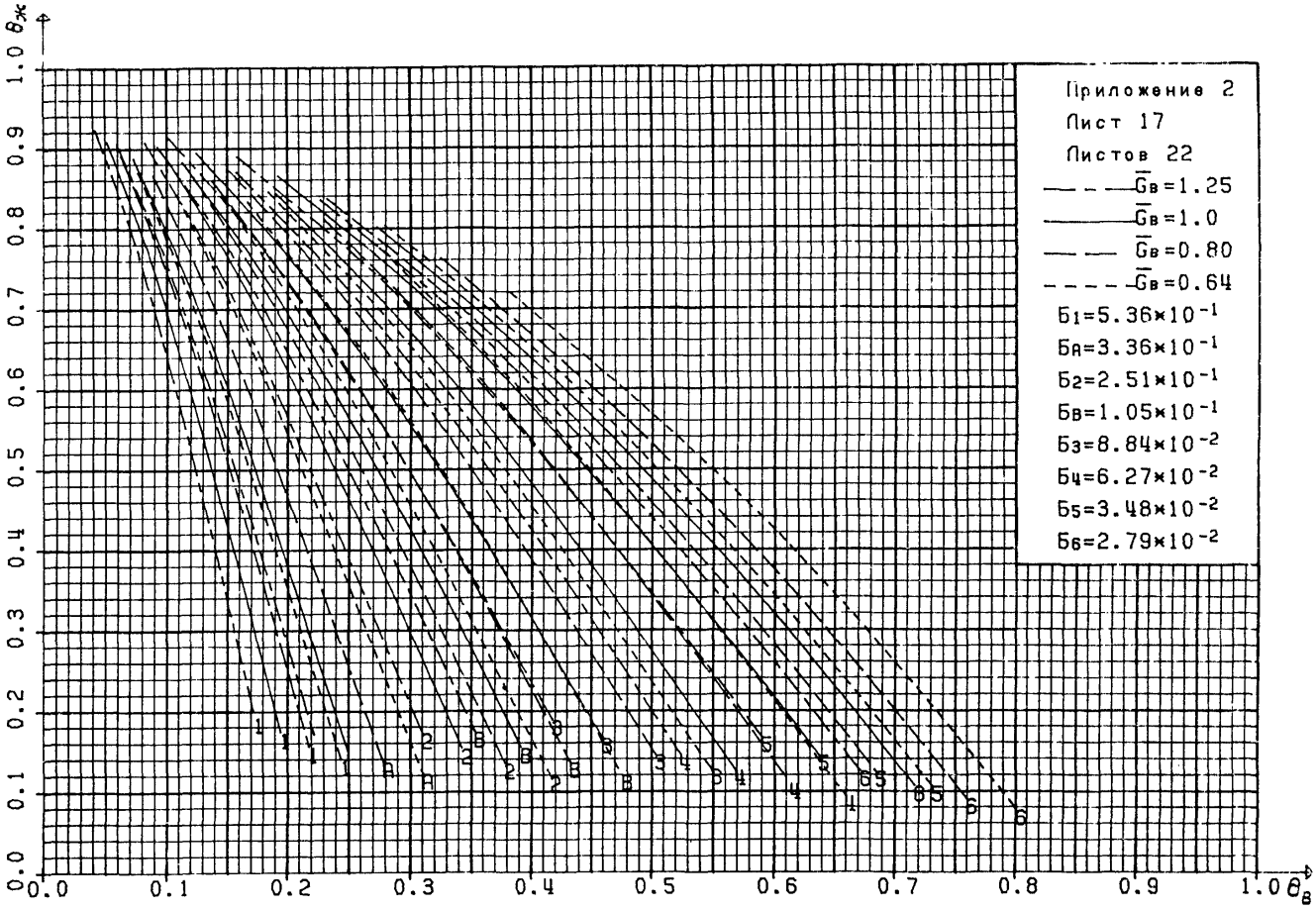

$\theta_{ж}$
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0 $\theta_{в}$
Приложение 2
Лист 12
Листов 22
$\bar{G}_{в}=1.25$
$\bar{G}_{в}=1.0$
$\bar{G}_{в}=0.80$
$\bar{G}_{в}=0.64$
$Б_1=1.14\times10^{1}$
$Б_А=7.18\times10^{0}$
$Б_2=5.38\times10^{0}$
$Б_В=2.23\times10^{0}$
$Б_3=1.89\times10^{0}$
$Б_4=1.34\times10^{0}$
$Б_5=7.45\times10^{-1}$
$Б_6=5.98\times10^{-1}$

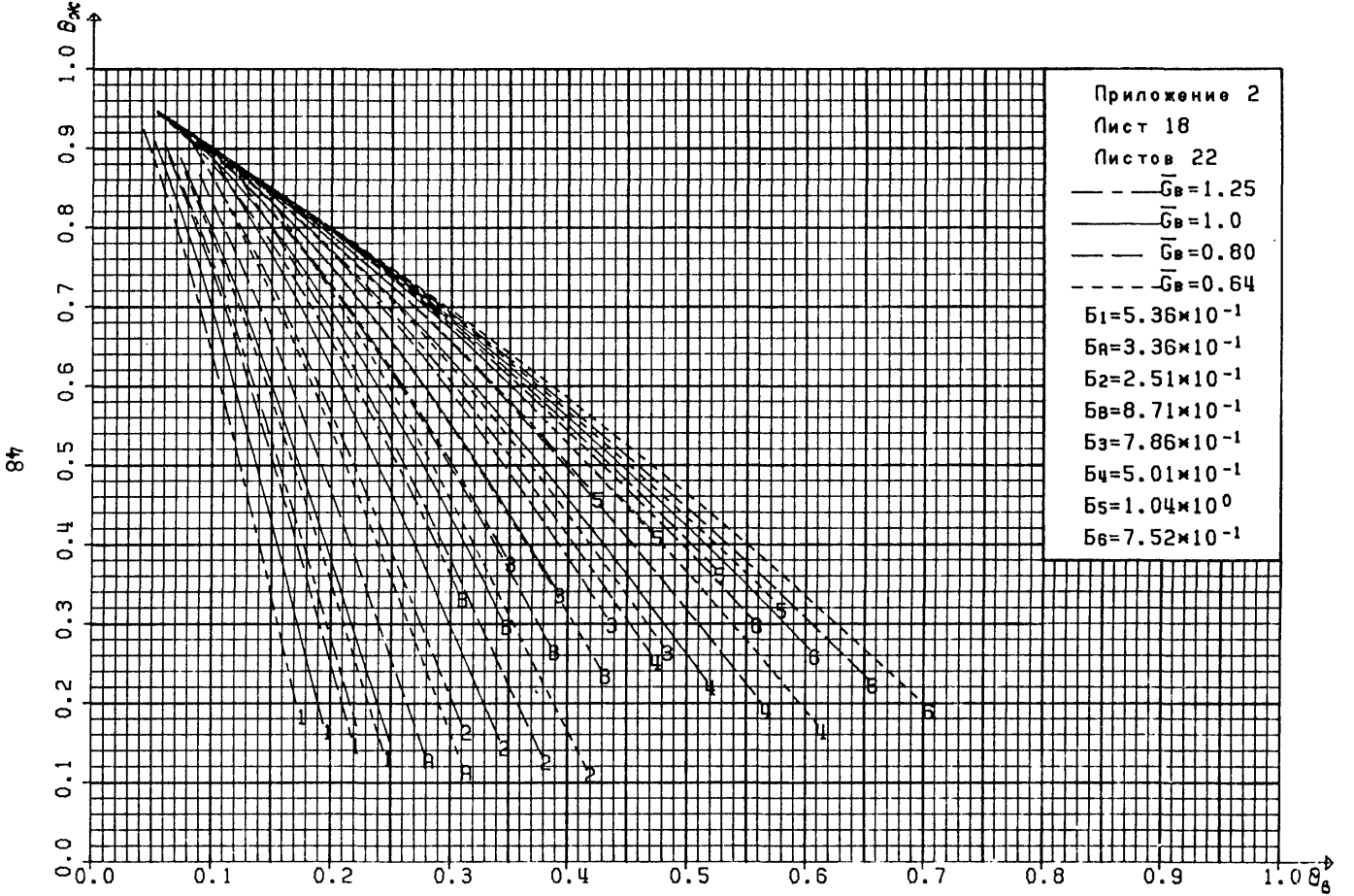

Приложение 2
Лист 13
Листов 22
$\bar{G}_в$=1.25
$\bar{G}_в$=1.0
$\bar{G}_в$=0.80
$\bar{G}_в$=0.64
Б1=2.88×10⁻²
Бa=1.90×10⁻²
Б2=1.48×10⁻²
Бв=5.78×10⁻³
Бэ=5.02×10⁻³
Бч=3.69×10⁻³
Б5=2.00×10⁻³
Б6=1.64×10⁻³
$\theta_ж$
$\theta_в$
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0

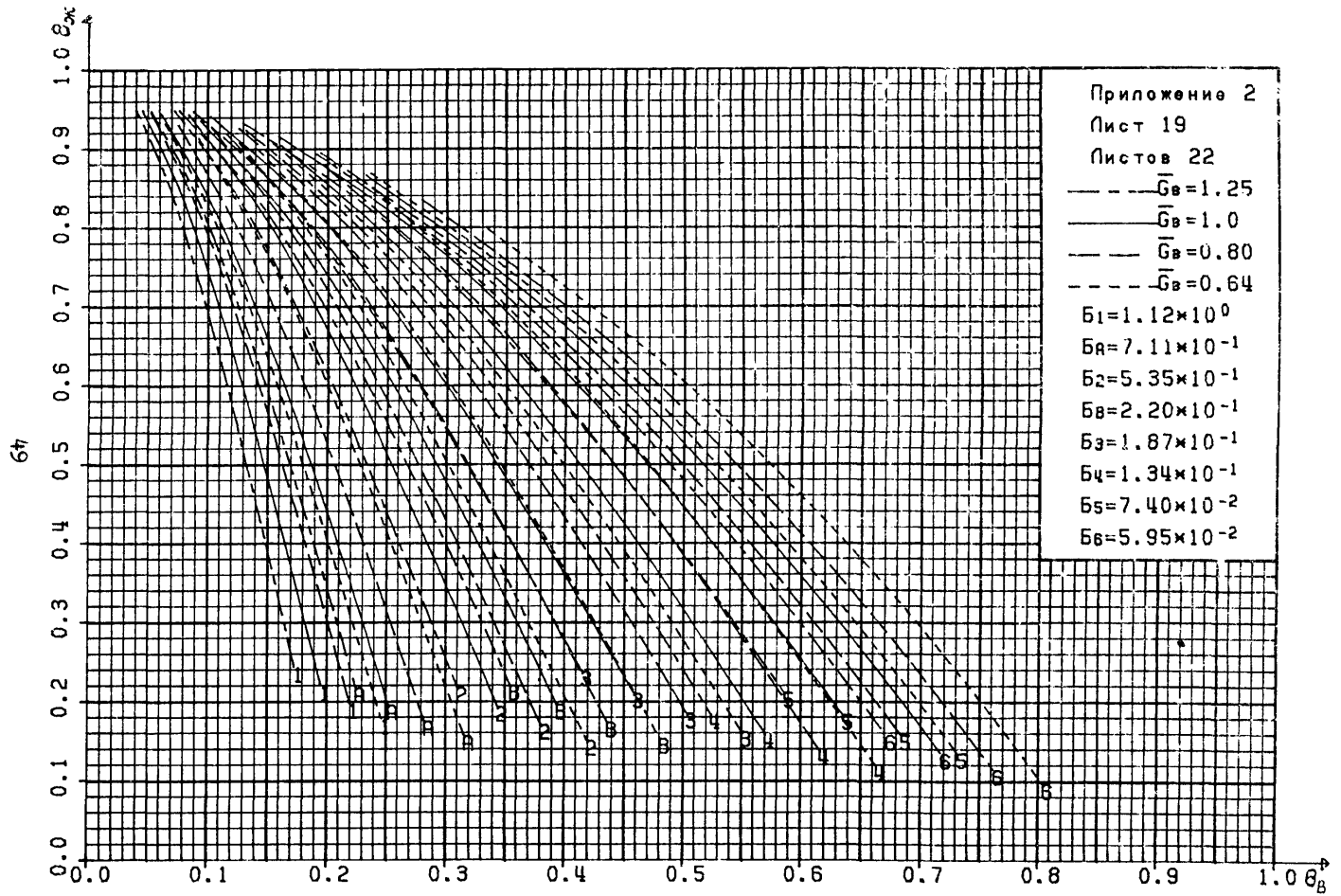

Приложение 2
Лист 14
Листов 22
$\bar{G}_в$=1.25
$\bar{G}_в$=1.0
$\bar{G}_в$=0.80
$\bar{G}_в$=0.64
Б1=2.88×10⁻²
Бя=1.90×10⁻²
Б2=1.48×10⁻²
Бв=4.78×10⁻²
Б3=4.36×10⁻²
Б4=2.95×10⁻²
Б5=5.84×10⁻²
Б6=4.43×10⁻²
$\theta_{ж}$
$\theta_г$
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0

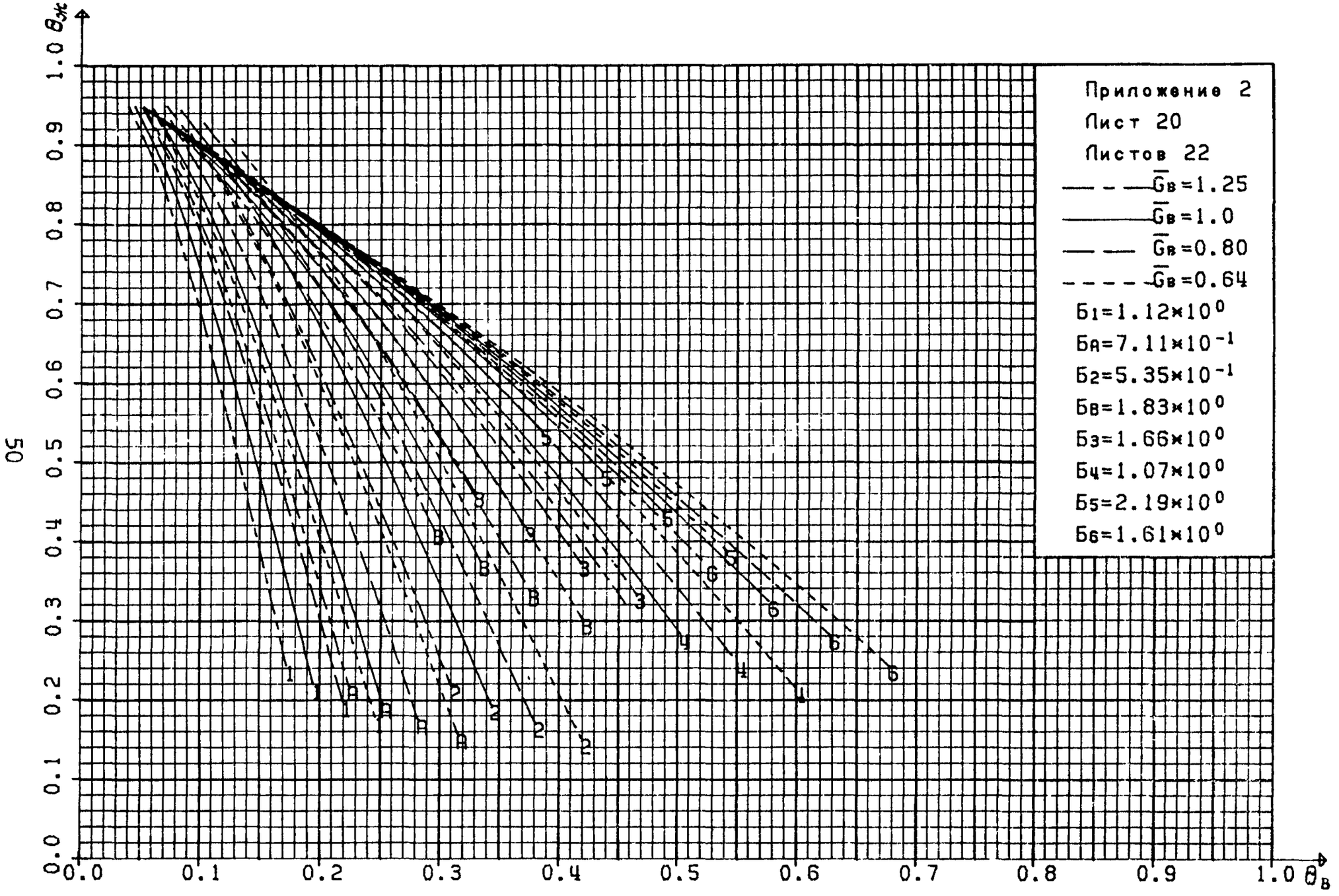

Приложение 2
Лист 15
Листов 22
$\overline{G}_в$=1.25
$\overline{G}_в$=1.0
$\overline{G}_в$=0.80
$\overline{G}_в$=0.64
$Б_1=1.50\times10^{-1}$
$Б_А=9.24\times10^{-2}$
$Б_2=6.78\times10^{-2}$
$Б_В=2.90\times10^{-2}$
$Б_3=2.43\times10^{-2}$
$Б_Ч=1.70\times10^{-2}$
$Б_5=9.50\times10^{-3}$
$Б_6=7.54\times10^{-3}$
$\theta_{ж}$
$\theta_в$
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0

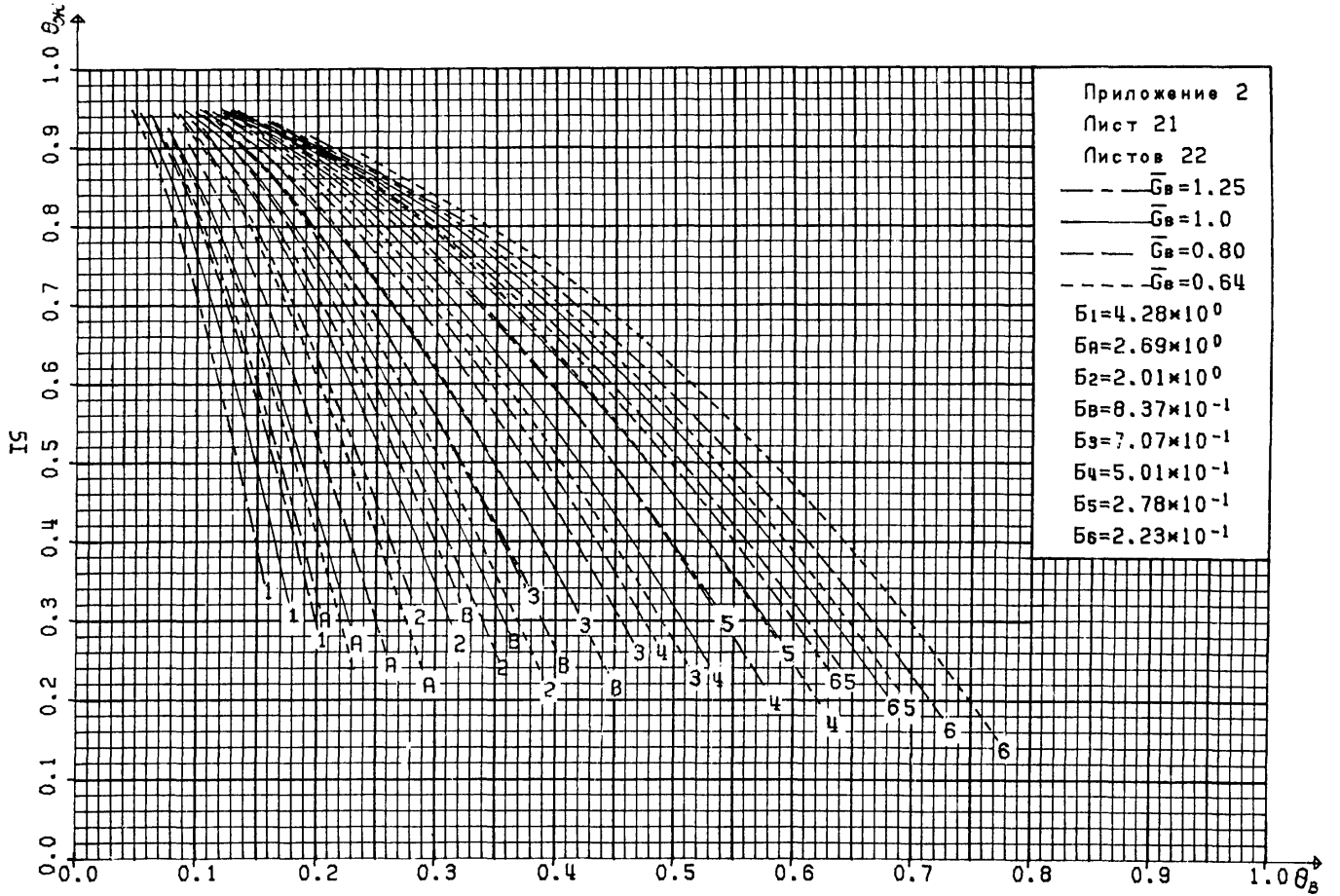

Приложение 2
Лист 16
Листов 22
$\bar{G}_в = 1.25$
$\bar{G}_в = 1.0$
$\bar{G}_в = 0.80$
$\bar{G}_в = 0.64$
$Б_1 = 1.50 \times 10^{-1}$
$Б_А = 9.24 \times 10^{-2}$
$Б_2 = 6.78 \times 10^{-2}$
$Б_В = 2.43 \times 10^{-1}$
$Б_3 = 2.18 \times 10^{-1}$
$Б_4 = 1.36 \times 10^{-1}$
$Б_5 = 2.86 \times 10^{-1}$
$Б_6 = 2.03 \times 10^{-1}$
$\theta_ж$
$\theta_в$
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0

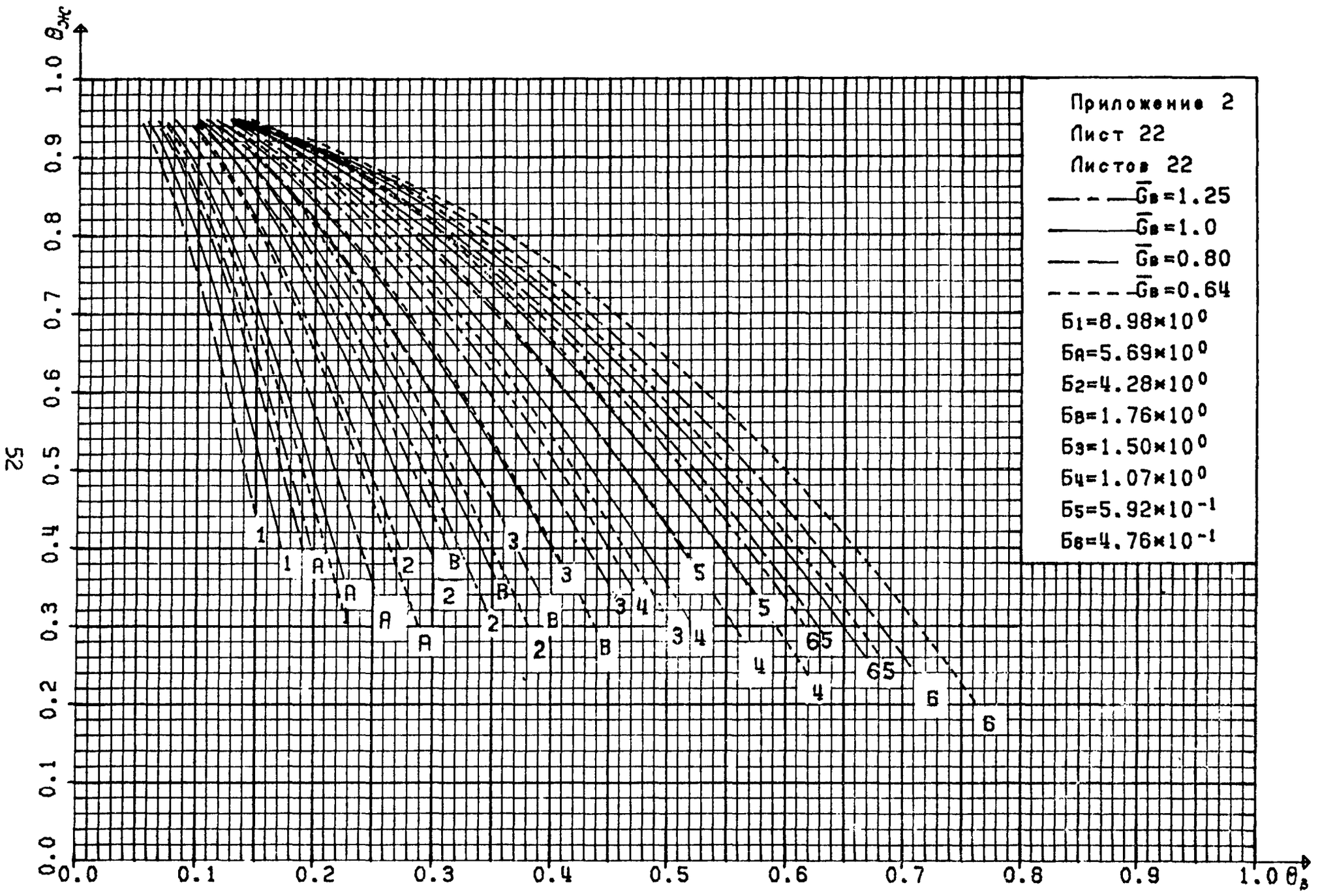

Приложение 2
Лист 17
Листов 22
$\bar{G}_в = 1.25$
$\bar{G}_в = 1.0$
$\bar{G}_в = 0.80$
$\bar{G}_в = 0.64$
$Б_1 = 5.36 \times 10^{-1}$
$Б_А = 3.36 \times 10^{-1}$
$Б_2 = 2.51 \times 10^{-1}$
$Б_В = 1.05 \times 10^{-1}$
$Б_3 = 8.84 \times 10^{-2}$
$Б_4 = 6.27 \times 10^{-2}$
$Б_5 = 3.48 \times 10^{-2}$
$Б_6 = 2.79 \times 10^{-2}$
$\theta_ж$
$\theta_в$
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0


Приложение 2
Лист 18
Листов 22
$\bar{G}_в$=1.25
$\bar{G}_в$=1.0
$\bar{G}_в$=0.80
$\bar{G}_в$=0.64
Б1=5.36×10⁻¹
Ба=3.36×10⁻¹
Б2=2.51×10⁻¹
Бв=8.71×10⁻¹
Б3=7.86×10⁻¹
Б4=5.01×10⁻¹
Б5=1.04×10⁰
Б6=7.52×10⁻¹
θж
θ4
θв
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0

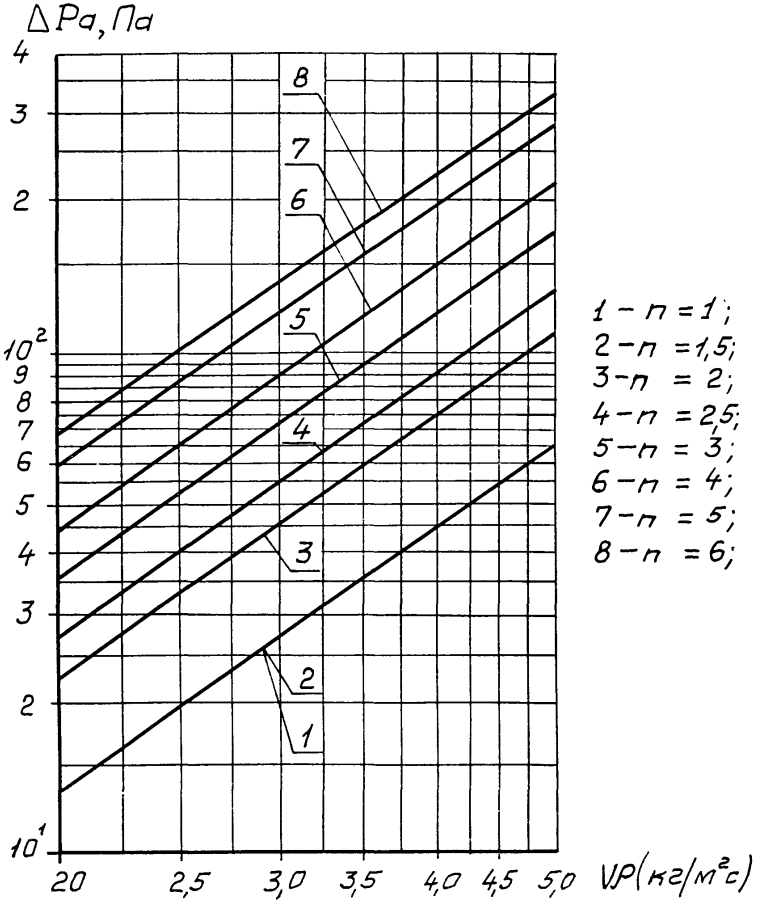

Приложение 2
Лист 19
Листов 22
$\bar{G}_в$=1.25
$\bar{G}_в$=1.0
$\bar{G}_в$=0.80
$\bar{G}_в$=0.64
Б1=1.12×10^0
Бя=7.11×10^-1
Б2=5.35×10^-1
Бв=2.20×10^-1
Бэ=1.87×10^-1
Бч=1.34×10^-1
Б5=7.40×10^-2
Б6=5.95×10^-2
$\theta_ж$
$\theta_в$
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0


Приложение 2
Лист 20
Листов 22
$\bar{G}_в$=1.25
$\bar{G}_в$=1.0
$\bar{G}_в$=0.80
$\bar{G}_в$=0.64
Б1=1.12×10^0
БА=7.11×10^-1
Б2=5.35×10^-1
Бв=1.83×10^0
Бз=1.66×10^0
Бч=1.07×10^0
Б5=2.19×10^0
Б6=1.61×10^0
$\theta_ж$
$\theta_в$
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0


Приложение 2
Лист 21
Листов 22
$\bar{G}_в$=1.25
$\bar{G}_в$=1.0
$\bar{G}_в$=0.80
$\bar{G}_в$=0.64
Б1=4.28×10^0
БА=2.69×10^0
Б2=2.01×10^0
БВ=8.37×10^-1
Б3=7.07×10^-1
Б4=5.01×10^-1
Б5=2.78×10^-1
Б6=2.23×10^-1
IS
$\theta_ж$
$\theta_в$
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0


Приложение 2
Лист 22
Листов 22
$\bar{G}_в$=1.25
$\bar{G}_в$=1.0
$\bar{G}_в$=0.80
$\bar{G}_в$=0.64
Б1=8.98×10^0
Бв=5.69×10^0
Б2=4.28×10^0
Бв=1.76×10^0
Бз=1.50×10^0
Б4=1.07×10^0
Б5=5.92×10^-1
Б6=4.76×10^-1
$\theta_{ж}$
$\theta_в$
0.0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ КОНДИЦИОНЕРОВ КТЦ3



Приложение 4

Примеры расчета воздухонагревателей кондиционеров КТЦ3

ПРИМЕР I

Расчет ВН первого подогрева

Исходные данные: кондиционер КТЦ3-40 с адиабатным увлажнением воздуха в холодный период года, L = 36500 м^3/ч; $G_в$ = 43800 кг/ч; $t_{в.н.х}$ =-26°С; $d_{в.н.х}$ = 0,4I г/кг; $i_{в.к.х} = i_{в.к.п}$ =6,24ккал/кг; температуры теплоносителя по графику ТЭЦ $t_{ж.н.х}$=I30°С и $t_{ж.к.х}$=70°С; $P_б$ = 745 мм рт.ст.

Требуется определить: число рядов n трубок и тип ВН первого подогрева, схему обвязки по теплоносителю, $G_ж$, $\Delta P_ж$, $\Delta P_а$. Расчет выполнить в системе МКГСС.

Порядок расчета

I. В соответствии с приложением I воздухонагреватели кондиционера КТЦ3-40 описываются номограммами на листах 7, 8, I9, 20 приложения 2. Из указанных листов в качестве примера выбираем лист 7, на котором представлены данные при последовательной обвязке ВН по теплоносителю по фронту и параллельной по ходу воздуха.

2. Определяем исходные данные в соответствии с п.2.4.I.

Находим $t_{в.к.х}$ по i-d диаграмме: при $d_{в.н.х}$ =0,4I г/кг, $t_{в.н.х}$ =26°С, $i_{в.к.х}$ =6,24 ккал/кг $t_{в.к.х}$ =25°С. В точке перелома графика теплосети по [8] определяем $t_{в.н.п}$ =0,2°С, $t_{ж.н.п}$ =70°С, $t_{ж.к.п}$ =45,5°С. Принимаем $d_{в.н.п}$ = I г/кг (см.п.2.4.I).

Определяем $t_{в.к.п}$ по i-d диаграмме: при $d_{в.к.п} = d_{в.н.п}$=I г/кг и $i_{в.к.п}$=6,24 ккал/кг $t_{в.к.п}$ =23,8°С.

Заносим все исходные данные в табл. I

Таблица I

Исходные данные для расчета ВН первого подогрева

Режим	Температура воздуха начальная, $t_{в.н}$, °С	Влагосодержание воздуха начальное, $d_{в.н}$, г/кг	Температура воздуха конечная, $t_{в.к}$, °С	Температура теплоносителя начальная, $t_{ж.н}$, °С	Температура теплоносителя конечная, $t_{ж.к}$, °С
I	-26,0	0,4I	25,0	I30	70
2	0,2	I,0	23,8	70	45,5

3. Определяем $\theta_в^р$ и $\theta_ж^р$ для двух режимов по формулам (4.I) и (4.2).

Для первого режима:

$$\theta_в^р = \frac{25-(-26)}{I30-(-26)} = 0{,}327;$$

$$\theta_ж^р = \frac{I30-70}{I30-(-26)} = 0{,}385.$$

Для второго режима:

$$\theta_в^р = \frac{23{,}8-0{,}2}{70-0{,}2} = 0{,}338,$$

$$\theta_ж^р = \frac{70-45{,}5}{70-0{,}2} = 0{,}35I.$$

4. Вычисляем $\bar{G}_в$ по формуле (2.7)

$$\bar{G}_в = \frac{43800}{48000} = 0{,}9I2,$$

где $G_в^{ном} = 40000 \cdot I{,}2 = 48000$ кг/ч.

5. В поле номограммы листа 7 приложения 2 наносим расчетные точки с координатами $\theta_в^р$ и $\theta_ж^р$ для первого и второго режимов. Все кривые $\theta_ж(\theta_в)$, соответствующие ВН с числом рядов n =2,5 и более и $\bar{G}_в = 0{,}9I2$, расположены правее обеих точек и значит обеспечат требуемую теплопроизводительность. Кривую $\theta_ж(\theta_в)$ с $\bar{G}_в$ = =0,9I2 получаем линейной интерполяцией двух соседних кривых с $\bar{G}_в$ = =I,0 и $\bar{G}_в$ =0,8 . Выбираем ближайшую к расчетным точкам кривую $\theta_ж(\theta_в)$ при n = 2,5 и $\bar{G}_в$ =0,9I2, соответствующую ВН с наименьшим запасом по поверхности нагрева.

Учитывая возможное снижение коэффициента теплопередачи теплообменников при поставке, допускаемое техническими условиями на кондиционеры КТЦ3, проверяем, обеспечит ли в этом случае выбранный ВН требуемую теплопроизводительность. Для этого построим кривую $\theta_ж(\theta_в)$, соответствующую $\bar{G}_в = 0{,}9I2 \cdot I{,}25 = I{,}I4$ и n = 2,5 (см.п.4.2.4). (Кривую $\theta_ж(\theta_в)$ с $\bar{G}$ = 0,9I2 получаем линейной интерполяцией двух соседних кривых с $\bar{G}_в$ = I,25 и $\bar{G}_в$ = =I,0).

Полученная кривая расположена правее двух расчетных точек в поле номограммы и значит выбранный ВН обеспечит требуемую теплопроизводительность и при уменьшении коэффициента теплопередачи.

6. Проводим лучи из начала координат через обе расчетные точки по п.5 до пересечения с выбранной кривой $\theta_ж(\theta_в)$ для $n = 2{,}5$ (В) и $\bar{G}_в = 0{,}912$. По абсциссе и ординате каждой точки пересечения определяем $\theta_в^у$ и $\theta_ж^у$:

для первого режима – $\theta_в^у = 0{,}366$, $\theta_ж^у = 0{,}431$;

для второго режима – $\theta_в^у = 0{,}380$, $\theta_ж^у = 0{,}395$.

7. Вычисляем по формуле (4.3) запас по поверхности нагрева в каждом режиме.

Для первого режима

$$\frac{F-F^р}{F^р}\cdot 100\% = \left[\frac{0{,}366-0{,}327}{0{,}327}\cdot\frac{1}{1-\frac{0{,}366+0{,}431}{2}}-0{,}1\right]\cdot 100\% = 9{,}8\%.$$

Для второго режима

$$\frac{F-F^р}{F^р}\cdot 100\% = \left[\frac{0{,}380-0{,}338}{0{,}338}\cdot\frac{1}{1-\frac{0{,}380+0{,}395}{2}}-0{,}1\right]\cdot 100\% = 10{,}3\%.$$

Меньшее из полученных чисел (9,8%) принимается в качестве фактического запаса по поверхности. Полученный запас находится в пределах (10%), допускаемых /9/.

8. Определяем $G_ж^ф$ по формуле (4.4), принимая в качестве $\theta_в^{макс.} = 0{,}338$ большее из двух значение $\theta_в^р$, расчитанных в п.3.

Величину $\theta_ж^ф$ определяем как ординату точки пересечения вертикали $\theta_в = \theta_в^{макс}$ с выбранной кривой $\theta_ж(\theta_в)$ для $n = 2{,}5$ и $\bar{G}_в = 0{,}912$ $\theta_ж^ф = 0{,}503$.

$$G_ж^ф = 43800\cdot\frac{0{,}24\cdot 0{,}338}{1\cdot 0{,}503} = 7065 \text{ кг/ч},$$

где $C_в = 0{,}24$ ккал/(кг°С); $C_ж = 1$ ккал/кг°С).

9. Определяем $G_ж$ по формуле (4.5)

$$G_ж = 43800 \cdot \frac{0,24}{I} \cdot \frac{0,338}{0,35I} = I0I20 \text{ кг/ч},$$

где $\frac{0,338}{0,35I}$ – максимальное из отношений $\frac{\theta_в^р}{\theta_ж^р}$ по п.3.

I0. Проверяем возможность замерзания теплоносителя в ВН. Составляем табл.2 исходных данных для режимов по п.2.5.I.

Таблица 2

Исходные данные

Режим	Температура воздуха начальная, °С	Относительная влажность воздуха начальная, %	Влагосодержание воздуха начальное, г/кг	Температура воздуха конечная, °С	Температура теплоносителя начальная, °С
I	-26	I00	0,46	24,9	I30
2	0	I00	3,85	I6,4	70,5

Определяем $\theta_в^р$ по формуле (4.I):

для первого режима

$$\theta_в^р = \frac{24,9-(-26)}{I30-(-26)} = 0,326;$$

для второго режима

$$\theta_в^р = \frac{I6,4-0}{70,5-0} = 0,233.$$

II. Находим по номограмме $\theta_ж^ф$ для двух режимов, как ординаты точек пересечения прямых $\theta_в^р = const$, определенных по п.I0, с выбранной кривой $\theta_ж(\theta_в)$:

для первого режима $\theta_ж^ф = 0,53$;

для второго режима $\theta_ж^ф = 0,75$.

I2. Определяем $\omega_{мин}$ в трубках ВН по формуле (2.8) по минимальному значению $\theta_в^р$ =0,233 и соответствующему ему значению $\theta_ж^ф$ =0,75.

$$\omega_{мин} = \frac{0,233}{0,75} \cdot 0,9I2 \cdot I,033 = 0,293,$$

где величину $q_{мин}$= I,033 принимаем по табл.2.4 (лист 7, общее число рядов трубок ВН n =2,5) для полуторарядного теплообменника.

Полученная $\omega_{мин}$ удовлетворяет условиям /9/, так как ($\omega_{мин} > 0,I2$ м/с).

I3. Определяем $t_{ж.к}$ по формуле (2.9):

для первого режима при $\theta_ж^ф$ = 0,53

$t_{ж.к}$ = I30-0,53 [I30-(-26)] =47,3°С;

для второго режима при $\theta_ж^ф$ = 0,75

$t_{ж.к}$ = 70,5-0,75 (70,5-0) = I7,6°С.

Температура обратной воды во всех режимах превышает нижний предельно допустимый предел (I0°С), что исключает замерзание воды во всех эксплуатационных режимах.

I4. Принятый ВН состоит из двух групп теплообменников по ходу воздуха (однорядных и полуторарядных, n = I+I,5=2,5) с параллельной обвязкой по теплоносителю. В соответствии с п.2.5.4 определим $t_{ж.к.}$ на выходе из каждой группы теплообменников.

I4.I. Для первого режима:

I4.I.I. Определим тангенс угла наклона луча, соответствующего расходу теплоносителя, пропускаемому через первые (однорядные) теплообменники, по формуле (2.I3)

$$\frac{\theta_{ж(1)}}{\theta_{в(1)}} = \frac{0,53}{0,326}\sqrt{\frac{2,3}{0,428}} = 3,78,$$

где $\theta_{в(n)} = \theta^р = 0,326$; $\theta_{ж(n)} = \theta_ж^ф = 0,53$; $б_{(1)} = 2,3$ и $б_{(n)} = б_в = 0,428$ находим на листе 7 приложения 2.

Задавая значения $б_{в(1)} = I$, определяем $\theta_{ж(1)} = 3,78$.

На номограмме листа 7 проставляем точку с координатами $\theta_{ж(1)}$ =0,378 и $\theta_{в(1)}$ =0,I (в десять раз уменьшенные числа 3,78 и I,0). Через эту точку проводим луч из начала координат до пересечения с кривой $\theta_ж(\theta_в)$, соответствующей ВН с $\bar{G}_в$ =0,9I2 и числом рядов трубок n =I.

Координаты точки пересечения определяют фактические значения относительных перепадов температур по воздуху и теплоносителю в первой группе теплообменников $\theta^{\Phi}_{б(1)}$ =0,I56 и $\theta^{\Phi}_{ж(1)}$ =0,59.

Вычисляем $t_{ж.к}$ после первой группы по формуле (2.9)

$$t_{ж.к\ (1)} = I30-0,59\ [I30-(26)] = 38^{o}C.$$

I4.I.2. Определим тангенс угла наклона луча для второй (полуторарядной) группы теплообменников по формуле (2.I3)

$$\frac{\theta_{ж(2)}}{\theta_{в(2)}} = \frac{0,53}{0,326}\sqrt{\frac{I,33}{0,428}} = 2,87,$$

где $Б_{(2)} = Б_{А}$ = I,33 находим на листе 7 приложения 2.

Определяем $\theta^{\Phi}_{в(2)}$ = 0,2 и $\theta^{\Phi}_{ж(2)}$ =0,58.

Вычисляем $t_{ж.к\ (2)}$ после второй группы по формуле (2.I0)

$$t_{ж.к\ (2)} = I30-0,58(I-0,I56)(I-0,2)\ [I30-(-26)] = 68^{o}C.$$

I4.2. Для второго режима.

I4.2.I. Определим тангенс угла наклона луча для первой (однорядной) группы теплообменников по формуле (2.I3)

$$\frac{\theta_{ж(1)}}{\theta_{в(1)}} = \frac{0,75}{0,233}\sqrt{\frac{2,3}{0,428}} = 7,46,$$

где $\theta_{в(п)} = \theta^{р}_{б}$ =0,233; $\theta_{ж(п)} = \theta^{\Phi}_{ж}$ =0,75 (см.п.п.I0,II)

Находим $\theta^{\Phi}_{б(1)}$ = 0,II и $\theta^{\Phi}_{ж(1)}$ = 0,8I.

Вычисляем $t_{ж.к(1)}$ после первой группы по формуле (2.9)

$$t_{ж.к(1)} = 70,5-0,8I(70,5-0) = I3,4^{o}C.$$

I4.2.2. Определим тангенс угла наклона луча для второй (полуторарядной) группы теплообменников по формуле (2.I3)

$$\frac{\theta_{ж(2)}}{\theta_{б(2)}} = \frac{0,75}{0,233}\sqrt{\frac{I,33}{0,428}} = 5,67$$

Находим $\theta^{\Phi}_{б(2)}$=0,I45 и $\theta^{\Phi}_{ж(2)}$=0,78.

Вычисляем $t_{ж.к(2)}$ после второй группы по формуле (2.I0)

$$t_{ж.к(2)} = I30-0,78\ (I-0,II)(I-0,I45)(I30-0)=52,8^{o}C.$$

I5. Конечные температуры воды на выходе из первой и второй групп теплообменников во всех режимах больше минимально допустимой величины ($t_{ж.к} > 10^{0}C$).

Таким образом выбранный ВН одновременно удовлетворяет обоим условиям ($\omega_{мин} \geq 0,12$м/с и $t^{мин}_{ж.к.} > 10^{0}C$), что свидетельствует об отсутствии опасности замерзания.

I6. Настройка датчика температуры воды в системе защиты от замерзания должна быть не ниже $17,6^{0}C$ при установке датчика на общем обратном трубопроводе ВН и не ниже $13,4^{0}C$ при установке его на обратном трубопроводе первого теплообменника. В противном случае, защита сработает при нормальных условиях эксплуатации.

I7. Вычисляем массовую скорость воздуха во фронтальном сечении по формуле (3.2)

$$\gamma_{\rho} = \frac{43800}{4,14.3600} = 2,94 \text{ кг/(м}^2\text{.с)},$$

где $F_{фр} = 4,14$ м^2 принимаем по табл.3.2.

По рис.3.I приложения 3 определяем аэродинамические потери давления в ВН для $n = 2,5$

$$\Delta P_a = 52,6 \text{ Па}(5,36\text{кг/м}^2).$$

I8. Определяем гидравлические потери давления в ВН по формуле (3.3):

при пропуске $G^{ф}_{ж} = 7065$кг/ч по п.8, $\theta^{ф}_{ж} = 0,503$

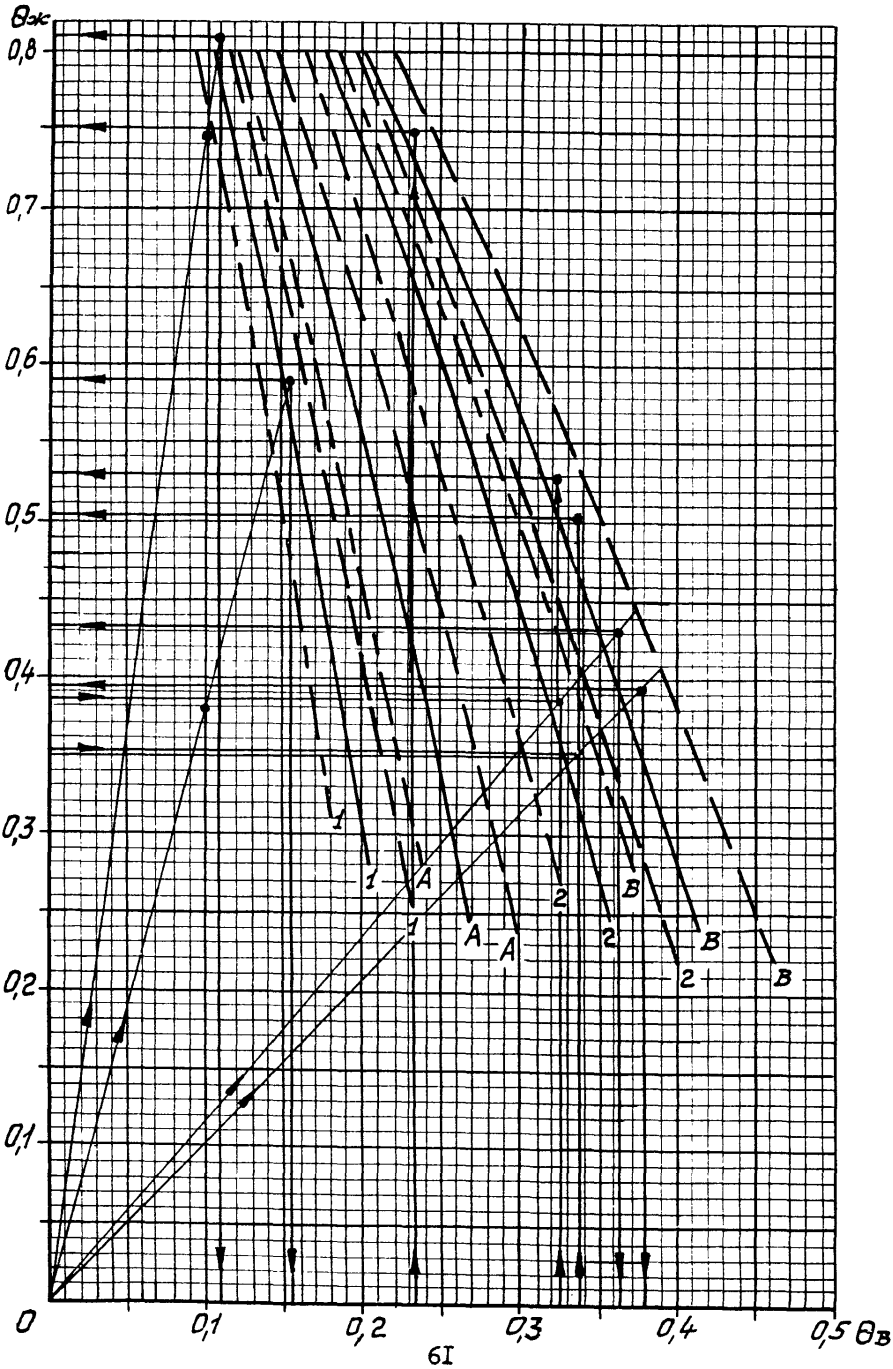
$$\Delta P_{ж} = 0,428 \left(\frac{0,338}{0,503} \cdot 0,912\right)^{2} \cdot 98,1 = 15,8 \text{ кПа},$$

где $Б_{2,5} = Б_{в} = 0,428$ находим по номограмме листа 7 приложения 2.

При пропуске $G^{ф}_{ж} = 10120$кг/ч по п.9, $\theta = 0,351$

$$\Delta P_{ж} = 0,428\left(\frac{0,338}{0,351} \cdot 0,912\right)^{2} \cdot 98,1 = 38,4 \text{ кПа}.$$

Рисунок к примеру 1



ПРИМЕР 2

Расчет ВН второго подогрева

Исходные данные: центральный кондиционер КТЦЗ-I25; L = 94000 м^3/ч; $G_в$ =II2800 кг/ч; $t_{в.н}$ =I0°С; $t_{в.к}$ =20°С; $t_{ж.н}$ =70°С; $t_{ж.к}$ =40°С; $P_б$ =I0I кПа.

Требуется определить: тип и число рядов трубок n воздухонагревателя второго подогрева, схему обвязки по теплоносителю, $G_ж$, $\Delta P_ж$ и $\Delta P_а$. Расчет выполнить в СИ.

Порядок расчета

I. В соответствии с приложением I воздухонагреватели без обводного канала кондиционера КТЦЗ-I25 описываются номограммами на листах 5,6,9 приложения 2.

В качестве примера выбираем лист 9, на котором представлены данные для ВН без обводного канала при параллельной обвязке ВН (по теплоносителю) по фронту и по ходу воздуха.

2. Вычисляем $\theta_в$ и $\theta_ж$ по формулам (4.I) и (4.2)

$$\theta_в^р = \frac{20-I0}{70-40} = 0{,}333;$$

$$\theta_ж^р = \frac{70-40}{70-I0} = 0{,}50.$$

3. Вычисляем $\bar{G}_в$ по формуле (2.7)

$$\bar{G}_в = \frac{II2800}{I50000} = 0{,}752,$$

где $G_в^{ном}$ = I25000.I,2=I50000 кг/ч.

4. В поле номограмм листа 9 приложения 2 наносим точку с координатами $\theta_в^р$ и $\theta_ж^р$. Все кривые, соответствующие $\bar{G}$ =0,752, с числом рядов трубок n =2,5 и более, расположенные правее точки, соответствуют поверхности теплообмена, обеспечивающей требуемую теплопроизводительность. Кривую $\theta_ж(\theta_в)$ при $\bar{G}_в$ = 0,752 находим линейной интерполяцией двух соседних

кривых $\bar{G}_в$ =0,8 и $\bar{G}_в$ =0,64. Выбираем ближайшую к расчетной точке кривую $\theta_ж$ ($\theta_в$) при n =2,5 и $\bar{G}_в$ = 0,752, соответствующую ВН с наименьшим запасом по поверхности нагрева.

Учитывая возможное снижение коэффициента теплопередачи теплообменников при поставке, проверяем обеспечит ли в этом случае выбранный ВН требуемую теплопроизводительность. Для этого построим кривую $\theta_ж$ ($\theta_в$), соответствующую $\bar{G}_в$ = 0,752.I,25=0,94 и n =2,5 (см.п.4.2.4). Полученная кривая расположена правее расчетной точки, значит выбранный ВН обеспечит требуемую теплопроизводительность и при снижении коэффициента теплопередачи.

5. Проводим луч из начала координат через расчетную точку по п.4 до пересечения с выбранной кривой $\theta_ж(\theta_в)$. По абсциссе и ординате точки пересечения определяем величину $\theta^у_в$ и $\theta^у_ж$.

$\theta^у_в$ =0,360, $\theta^у_ж$ = 0,540.

6. Вычисляем запас по поверхности по формуле (4.3)

$$\frac{F - F^р}{F^р} \cdot 100\% = \left[\frac{0,360-0,333}{0,333} \cdot \frac{I}{I - \frac{0,360+0,540}{2}} - 0,I \right] \cdot 100\% = 4,7\% .$$

7. Определяем $G^ф_ж$ по формуле (4.4)

$$G^ф_ж = II2800 \frac{I.006 \cdot 0,333}{4,I87 \cdot 0,597} = I5020 \text{ кг/ч},$$

где $C_в$ = I,006 кДж/(кг.^oC),

$C_ж$ = 4,I87 кДж/(кг.^oC),

$\theta^ф_ж$ = 0,597 определяем, как ординату точки пересечения вертикали $\theta^р_в$ = 0,333 с выбранной кривой $\theta_ж$ ($\theta_в$) при $\bar{G}$ =0,752 и n =2,5.

8. Вычисляем $G_ж$ по формуле (4.5)

$$G_ж = 112800 \frac{1.006}{4,187} \cdot \frac{0,333}{0,50} = 18100 \text{ кг/ч},$$

где $\frac{0,333}{0,50}$ отношение $\frac{\theta_в^р}{\theta_ж^р}$ по п.2.

9. Расчеты по п.2,5 не проводятся, так как температура начального воздуха выше ^{o}C.

10. Вычисляем V_ρ во фронтальном сечении ВН по формуле (3.2)

$$V_\rho = \frac{112800}{13,26 \cdot 3600} = 2,36 \text{ кг/(м}^2\text{.с)},$$

где $F_{фр} = 13,26$ м^2 принимаем по табл.3.2.

11. По приложению 3 определяем ΔP_a при $V_\rho = 2,36$ кг/(м^2·с) и $n = 2,5$, $\Delta P = 35,9$ Па.

12. Определяем $P_ж$ в ВН по формуле (3.3)

$$P_ж = 1,06 \cdot \left(\frac{0,333}{0,50} \cdot 0,752\right)^2 \cdot 98,1 = 26,1 \text{ кПа},$$

где $Б_п = Б_в = 1,06$ принимаем по листу 9 приложения 2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

I. Руководящий материал по центральным кондиционерам и кондиционерам-теплоутилизаторам КТЦЗ. Часть I. - Харьков, 1988.

2. Бялый Б.И., Степанов А.В. Методика расчета и выбора поверхностных теплообменников центральных кондиционеров КТЦЗ //Кондиционеростроение. -Харьков, 1989, вып.19 (в печати).

3. Динцин В.А., Щекин И.Р., Бондаренко В.Н. Гидравлические характеристики отечественных воздухонагревателей(калориферов)// Проблемы совершенствования и развития оборудования для кондиционирования воздуха и вентиляции.-Харьков, 1979.

4. Бялый Б.И., Степанов А.В. Метод расчета процессов тепловлажностной обработки воздуха в поверхностных воздухоохладителях.// Холодильная техника,-М., 1975, № 6.

5. Гинчерман И.Е. Расчет калориферных установок по расчетному и промежуточному режимам.// Кондиционирование воздуха в промышленных и гражданских зданиях. ЛДНТП,-Л.,1969.

6. Зингерман И.И., Косовский Н.Ф., Степанов А.В. К расчету установок кондиционирования воздуха, питаемых горячей водой от ТЭЦ. //Кондиционирование. - Харьков, 1974, вып.4.

7. Зингерман И.И. Исследование и расчет регулируемых воздухонагревателей для систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Автореферат на соискание ученой степени канд.техн.наук, ЛИТМП,1975, 20 с.

8. Манюк В.И. и др. Справочник по наладке и эксплуатации водяных тепловых сетей.-М., Стройиздат, 1982, с. 105-110.

9. СНиП 2.04.05-86 "Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха", Госстрой СССР.-М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987, 64 с.

Подп.к печ.18.10.90г. 60x84 1/8 Офсетная печать
7,5усл.-печ.л.,6,0уч.-изд.л. 6,0кр.-отт. Тираж 7500
Заказ 1089 Без права размножения Цена 6-50

ВНИИНТПИ, 125047, Москва, ул.Горького,38, тел.251-03-90
ПЭМ ВНИИНТПИ, 121471, Москва, Можайское шоссе,25

gost.e-ecolog.ru