РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

АЛГОРИТМ ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

РТМ 24.031.08—74

Издание официальное

МИНИСТЕРСТВО ТЯЖЕЛОГО, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО И ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Москва

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН Центральным научно-исследовательским и проектно-конструкторским котлотурбинным институтом им. И. И. Ползунова

Директор	**Н. М. МАРКОВ**
Заведующий базовым отраслевым отделом стандартизации	**К. А. СУПРЯДКИН**
Заведующий котельным отделом	**Н. В. ГОЛОВАНОВ**
Заведующий отделом математики и вычислительной техники	**Н. П. КОВАЛЬ**
Руководители темы:	**А. И. РЕЗНИКОВА, С. И. МОЧАН, Г. Р. ТЕРУШКИНА, Э. М. ТЫНТАРЕВ**
Основные исполнители:	**Ж. И. РОВИНЕЦ, Н. Л. БАРКАН, Н. Н. ГОРОШКО**

ПОДГОТОВЛЕН К УТВЕРЖДЕНИЮ Главным управлением атомного машиностроения и котлостроения Министерства тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения

Начальник Главного управления	**В. П. ЛОБАНОВ**

УТВЕРЖДЕН Министерством тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения

Заместитель министра	**П. О. СИРЫЙ**

УДК 621:18.5365:681.3.001.24(083.75)

Группа Е02

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

АЛГОРИТМ ТЕПЛОВОГО РАСЧЕТА КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

РТМ 24.031.08—74

Указанием Министерства тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения от 7 июня 1974 г. № ПС-002/7162 введен как рекомендуемый.

Настоящий руководящий технический материал (РТМ) распространяется на расчеты котлов паровых стационарных водотрубных энергетических с камерными топками.

РТМ устанавливает порядок составления и содержание алгоритма поверочных тепловых расчетов котлов на ЭВМ в соответствии с нормативным методом теплового расчета котельных агрегатов *. Программы поверочных расчетов, разработанные по данному алгоритму, могут также использоваться с необходимыми дополнительными уточнениями при выполнении конструктивных расчетов.

1. УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

1.1. Обозначения в тексте РТМ в основном соответствуют обозначениям «Теплового расчета...». Перечень условных обозначений, принятых дополнительно, приведен в пп. 1.2 и 1.3.

1.2. Сокращения и индексы, принятые в тексте и блок-схемах **:

ш. у — шлакоудаление;
КО — камера охлаждения;
ПК — поворотная камера;
ВП — воздухоподогреватель любой конструкции;
РВП — регенеративный воздухоподогреватель;
ТО — теплообменник;
ППТ — паропаровой теплообменник;
ГППТ — газопаропаровой теплообменник;
ЭКО — экономайзер;
п. п — параллельно плоскости, разделяющей в топке ширмовый и свободный объемы;
п. с — перпендикулярно сечению, разделяющему в топке ширмовый и свободный объемы;
п. т — под топки;
ш — ширмы;
сл — слабоподогретый воздух;
$\tau_{сл}$ — отношение количества слабоподогретого воздуха к общему количеству воздуха, подаваемого в топку;
$r_н$ — коэффициент рециркуляции газов в низ топки;
$r_в$ — то же, в верх топки;
$N_з$ — текущий номер зоны при позонном расчете топки;
ок — выходное окно топки;
об — обогреваемая среда;
гр — греющая среда;
x — индекс при величине, полученной из расчета на данном шаге приближений.

1.3. Символы, употребляемые в блок-схемах:


— вход в блок-схему;


— выход из блок-схемы;


— прекращение расчета, предусмотренное алгоритмом;


— выполнение действий, указанных в прямоугольнике;



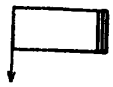
— выяснение вопроса, записанного в ромбе;


— выполнение действий или вычисление величин, указанных в квадрате, по выделенной части программы или по стандартной программе;

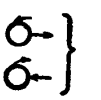
---

* Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). М., «Энергия», 1973. (В дальнейшем ссылка на этот нормативный документ дается в РТМ так: «Тепловой расчет...»).

** Прописными буквами обозначены сокращения в тексте, строчными — индексы.


— комментарий к элементам блок-схемы, соединенным стрелкой;


— указатель необходимости неоднократного выполнения последовательных действий; в флажке записывается переменная, определяющая количество повторений действий; под флажком записываются три числа: начальное значение переменной, шаг изменений, конечное значение переменной;


— символы, указывающие связь между удаленными элементами блок-схемы; верхний символ используется для входа, нижний — для выхода; в обоих кружках указывается одна и та же буква;

:= — символ присвоения параметру конкретного значения.

2. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА И БЛОК-СХЕМ

2.1. Алгоритм теплового расчета котельного агрегата представляет собой последовательное изложение математических и логических действий, необходимое для создания программы теплового расчета котельного агрегата на ЭВМ в соответствии с «Тепловым расчетом ...» Основная часть алгоритма представлена в блок-схемах. Каждая блок-схема дает наглядное изображение последовательности выполнения определенного раздела расчета и, как правило, содержит основные расчетные формулы и рекомендации.

В дополнение к блок-схемам в тексте РТМ приведены пояснения и рекомендации, необходимые для создания программы.

Описание этапов расчета, не требующих пояснений, ограничено ссылками на соответствующие разделы «Теплового расчета ...».

2.2. В алгоритме, как правило, не используются упрощения методики, предназначенные для облегчения «ручного счета». Нелинейные зависимости, представленные в «Тепловом расчете ...» только графически или в виде таблиц, заменены интерполяционными полиномами вида $y=a_n x^n+a_{n-1}x^{n-1}+ +,\ldots,+a_0$, что позволяет определять значения функции y для соответствующего значения аргумента x по схеме Горнера. Коэффициенты полиномов, полученные при разработке РТМ, приведены с точностью восьми знаков. Коэффициенты, заимствованные из других источников, в отдельных случаях имеют меньшую точность.

2.3. В соответствии с «Тепловым расчетом ...» расчет котельного агрегата выполняется в следующей последовательности:

— расчет теплофизических характеристик топлива;

— составление теплового баланса котельного агрегата и определение расчетного расхода топлива;

— расчет топки в целом и при необходимости позонный расчет топки с распределением тепла излучения по поверхности нагрева топочной камеры;

— расчет ширмовых и конвективных поверхностей нагрева;

— уточнение предварительно принятых для расчета величин, в том числе подбираемых расходов теплообменивающихся сред;

— проверка теплового баланса котельного агрегата и в случае необходимости проведение последовательных приближений расчета котла.

2.4. Выполнение расчетов предусматривается для случаев сжигания любого топлива или смеси топлив. Для каждого топлива по рекомендациям гл. 4 «Теплового расчета ...» определяются значения V^0, $V^0_{N_2}$, V_{RO_2}, $V^0_{H_2O}$. Теплоемкости твердых топлив и компонентов газообразных топлив в зависимости от температуры определяются с помощью интерполяционных полиномов. Теплоемкость жидкого топлива определяется по зависимости, приведенной в гл. 3 «Теплового расчета...». Для смеси топлив берутся значения V^0, $V^0_{N_2}$, V_{RO_2}, $V^0_{H_2O}$ и $i_{тл}$, усредненные пропорционально долям входящих в смесь компонентов. Энтальпии воздуха и продуктов сгорания определяются для расчетных значений температуры и избытка воздуха по формулам гл. 4 «Теплового расчета...» с помощью интерполяционных полиномов для теплоемкостей.

Коэффициенты полиномов приведены в табл. 1.

2.5. Тепловой баланс котельного агрегата составляется по рекомендациям гл. 5 «Теплового расчета...». Теплоемкость золы, необходимая для определения потери тепла со шлаком, рассчитывается по интерполяционному полиному, коэффициенты которого приведены в табл. 1.

Таблица 1

Вещество	Коэффициенты полиномов для вычисления теплоемкости					
	a_5	a_4	a_3	a_2	a_1	a_0
CO_2	$2{,}3407239\cdot10^{-18}$	$-2{,}0555466\cdot10^{-14}$	$7{,}6427112\cdot10^{-11}$	$-1{,}6633384\cdot10^{-7}$	$2{,}5207184\cdot10^{-4}$	0,38231419
CH_4	$-3{,}6858977\cdot10^{-16}$	$1{,}0438520\cdot10^{-12}$	$-1{,}1547931\cdot10^{-9}$	$5{,}8326777\cdot10^{-7}$	$1{,}7125262\cdot10^{-4}$	0,37002972
C_2H_6	$-3{,}2051287\cdot10^{-17}$	$2{,}0541957\cdot10^{-13}$	$-3{,}5766312\cdot10^{-10}$	$6{,}5078643\cdot10^{-8}$	$6{,}7319522\cdot10^{-4}$	0,52810839
C_3H_8	$-4{,}8076929\cdot10^{-16}$	$1{,}2339744\cdot10^{-12}$	$-1{,}0479313\cdot10^{-9}$	$-1{,}7584497\cdot10^{-8}$	$1{,}1271707\cdot10^{-3}$	0,72762587
C_4H_{10}	$-1{,}7147437\cdot10^{-15}$	$4{,}1440852\cdot10^{-12}$	$-3{,}3590473\cdot10^{-9}$	$6{,}1357083\cdot10^{-7}$	$1{,}3356209\cdot10^{-3}$	0,98612063
C_5H_{12}	$3{,}6858971\cdot10^{-16}$	$-6{,}8254661\cdot10^{-13}$	$3{,}6341789\cdot10^{-10}$	$-5{,}5482959\cdot10^{-7}$	$1{,}7514280\cdot10^{-3}$	1,2248234

Продолжение табл. 1

Вещество	Коэффициенты полиномов для вычисления теплоемкости					
	a_5	a_4	a_3	a_2	a_1	a_0
N_2	$-1,8818960\cdot10^{-18}$	$1,5436120\cdot10^{-14}$	$-4,7710105\cdot10^{-11}$	$6,2620324\cdot10^{-8}$	$-5,3739164\cdot10^{-6}$	0,30929091
CO	$1,2820512\cdot10^{-16}$	$-3,1468532\cdot10^{-13}$	$2,3601401\cdot10^{-10}$	$-3,1934747\cdot10^{-8}$	$9,3869493\cdot10^{-6}$	0,31004196
H_2S	$1,6025632\cdot10^{-17}$	$-2,2581577\cdot10^{-14}$	$-3,7660246\cdot10^{-11}$	$7,4235126\cdot10^{-8}$	$5,1942602\cdot10^{-5}$	0,36002272
H_2	0	$-4,3706331\cdot10^{-14}$	$1,1480190\cdot10^{-10}$	$-9,7465055\cdot10^{-8}$	$3,8432404\cdot10^{-5}$	0,30502797
O_2	$-1,4351798\cdot10^{-18}$	$1,1991440\cdot10^{-14}$	$-3,2737862\cdot10^{-11}$	$2,5241034\cdot10^{-8}$	$3,8834457\cdot10^{-5}$	0,31113876
Воздух	$-2,2616689\cdot10^{-18}$	$1,7716406\cdot10^{-14}$	$-5,1300306\cdot10^{-11}$	$6,0760977\cdot10^{-8}$	$3,5619473\cdot10^{-6}$	0,31519196
H_2O	$-9,2691428\cdot10^{-19}$	$9,1538884\cdot10^{-15}$	$-3,5393369\cdot10^{-11}$	$5,72072221\cdot10^{-8}$	$2,4795243\cdot10^{-5}$	0,35672260
Зола	$-7,1330819\cdot10^{-18}$	$-2,0249676\cdot10^{-14}$	$1,7199313\cdot10^{-10}$	$-2,6438212\cdot10^{-7}$	$1,7788785\cdot10^{-4}$	0,17661723
Торф	—	—	—	$1\cdot10^{-6}$	$0,4\cdot10^{-3}$	0,31
Сланцы	—	—	—	$1\cdot10^{-6}$	$0,1\cdot10^{-3}$	0,25
Антрациты и тощие угли	—	—	—	$0,142857140\cdot10^{-6}$	$0,122857140\cdot10^{-3}$	0,218857140
Бурые угли	—	—	—	$0,49999999\cdot10^{-6}$	$0,35\cdot10^{-3}$	0,26
Каменные угли	—	—	—	$0,2499999\cdot10^{-6}$	$0,295\cdot10^{-3}$	0,22950

Таблица 2

Коэффициент	Производительность D, т/ч		
	от 3 до 20	св. 20 до 100	св. 100 до 900
a_3	$-0,64671482\cdot10^{-3}$	$-0,62289562\cdot10^{-6}$	$0,13468014\cdot10^{-9}$
a_2	$0,31406089\cdot10^{-1}$	$0,20064935\cdot10^{-3}$	$0,63997113\cdot10^{-6}$
a_1	$-0,53576969$	$-0,23848966\cdot10^{-1}$	$-0,12802068\cdot10^{-2}$
a_0	0,62001030	$0,16996826\cdot10^{1}$	0,81825970

Потери тепла в окружающую среду q_5 в зависимости от производительности котельного агрегата определяются с помощью интерполяционных полиномов, коэффициенты которых приведены в табл. 2. При производительности D больше $9\cdot10^5$ кг/ч принято $q_5=0,2\%$.

2.6. При составлении теплового баланса котельного агрегата, а также при расчете отдельных поверхностей нагрева требуется определять температуру, энтальпию и удельный объем пара и воды.

Из-за отсутствия уравнений состояния для воды и водяного пара, которые достаточно точно описывали бы области вблизи линии насыщения и максимума теплоемкости, рекомендуется использовать соответствующие таблицы состояния в интервале: по давлению от 2 до 380 кгс/см² и по температуре от 100 до 690° С. В соответствии с «Тепловым расчетом...» шаг таблиц по температуре 10° С, по давлению 10 кгс/см²; для области максимальной теплоемкости шаг по температуре принимается 2° С, по давлению 2 кгс/см². Кроме общих таблиц состояния, используются таблицы теплосодержаний на линии насыщения с шагом по давлению 2 кгс/см². Для определения энтальпии и объема по температуре и давлению рекомендуется квадратичная интерполяция таблиц по двум переменным методом Ньютона:

$$z = z_{00} + (z_{10} + z_{00})\frac{x_{\text{исх}} - x_0}{x_1 - x_0} + (z_{01} - z_{00})\frac{y_{\text{исх}} - y_0}{y_1 - y_0} +$$
$$+ \left(\frac{z_{20} - z_{10}}{x_2 - x_1} - \frac{z_{10} - z_{00}}{x_1 - x_0}\right)\frac{(x_{\text{исх}} - x_0)(x_{\text{исх}} - x_1)}{x_2 - x_0} +$$
$$+ (z_{11} + z_{10} - z_{10} + z_{00})\frac{y_{\text{исх}} - y_0}{y_1 - y_0}\frac{x_{\text{исх}} - x_0}{x_1 - x_0} +$$
$$+ (z_{02} - z_{01} - z_{10} + z_{00})\frac{(y_{\text{исх}} - y_0)(y_{\text{исх}} - y_1)}{20h},$$

где h — шаг таблиц по температуре.

При определении энтальпии $i=f(t, p)$

$$z = i; \quad x = t; \quad y = p.$$

При определении объема $V=f(t, p)$

$$z = V, \quad x = t, \quad y = p.$$

Первый индекс у переменных относится к температуре t, второй — к давлению p.

В случае определения температуры по энтальпии $t=f(i, p)$ также применима квадратичная интерполяция таблиц по двум переменным методом Ньютона. В этом случае $z=t$, $x=i$, $y=p$ и первый индекс у переменных относится к энтальпии i, второй — к давлению p. Соотношение параметров $x_{\text{исх}}$,

x_0, x_1, x_2, $y_{исх}$, y_0, y_1, y_2 должно быть следующим:

$$x_0 < x_{исх} < x_1 < x_2 \quad \text{и} \quad y_0 < y_{исх} < y_1 < y_2.$$

При вычислении $t=f(i,\ p)$ значения температуры z_{00}, z_{10}, z_{20}, z_{01}, z_{11}, z_{02} для соответствующего давления определяются квадратичной интерполяцией таблиц по одной переменной:

$$t = t_n + \left[\left(\frac{\delta t}{i_{n+2}-i_{n+1}} - \frac{\delta t}{i_{n+1}-i_n}\right)\frac{i_{исх}-i_{n+1}}{i_{n+2}-i_n} + \frac{\delta t}{i_{n+1}-i_n}\right](i_{исх}-i_n)\,°C.$$

При этом

$$t_n = (t_{нач}-\delta t)+n\delta t\,°C;$$
$$i_n \leqslant i_{исх} \leqslant i_{n+1} < i_{n+2},$$

где $t_{нач}$ — начальное значение температуры в таблицах; в данном интервале таблиц 100° С;

δt — шаг таблиц по температуре;

n — порядковый номер значения функции в таблице.

Значения энтальпии кипящей воды и насыщенного пара с достаточной точностью определяются линейной интерполяцией таблиц по давлению. Температуру и давление насыщения можно определять по уравнениям, приведенным Веспером:

$$t = \sum_{i=0}^{i=11} a_i\,[\ln P]^i\,°C;$$

$$\ln P = \sum_{i=0}^{i=9} a_i (t)^i.$$

Коэффициенты, входящие в уравнения, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициент	t	$\ln P$
a_0	$0{,}9909271199\cdot10^2$	$-5{,}078709984$
a_1	$0{,}2785424215\cdot10^2$	$7{,}270489907$
a_2	$2{,}3753576470$	$-3{,}033726807$
a_3	$0{,}2107780463$	$1{,}256759065$
a_4	$2{,}129682011\cdot10^{-2}$	$-5{,}608659370\cdot10^{-1}$
a_5	$1{,}328377290\cdot10^{-3}$	$2{,}477563380\cdot10^{-1}$
a_6	$-3{,}739348425\cdot10^{-4}$	$-8{,}659024966\cdot10^{-2}$
a_7	$-1{,}741775190\cdot10^{-5}$	$2{,}015339284\cdot10^{-2}$
a_8	$2{,}207171179\cdot10^{-5}$	$-2{,}693452728\cdot10^{-3}$
a_9	$1{,}534373134\cdot10^{-6}$	$1{,}553179872\cdot10^{-4}$
a_{10}	$-4{,}268568510\cdot10^{-7}$	—
a_{11}	$-4{,}29246029\cdot10^{-8}$	—

2.7. Порядок и ход расчета топки в целом соответствуют указаниям гл. 6 «Теплового расчета...»; они показаны на блок-схеме (черт. 1). Ниже даются дополнительные указания.

При расчете принимается, что все закрытые топочные поверхности (ошипованные, покрытые огнеупорной массой или кирпичом) находятся только в зоне максимального тепловыделения; если покрытие пода отличается от покрытия экранов, то принимается, что он покрыт кирпичом.

При расчете коэффициентов затененности ширм и примыкающих к ним экранов используются следующие формулы:

$$\tau_A = \frac{A}{S_{своб}}\ln\frac{1}{1-a_ф};$$

$$\varphi_ш = \frac{1}{2\tau_A}\left[0{,}42328745 + N_2\left(\tau_A\sqrt{1+\left(\frac{S_1}{A}\right)^2}\right) - N_2\left(\tau_A\frac{S_1}{A}\right) - N_2(\tau_A)\right];$$

$$\varphi_{пр} = \frac{1}{2\tau_A\frac{S_1}{A}}\left\{\left(2\tau_A\sqrt{1+\left(\frac{S_1}{A}\right)^2} - 2\tau_A\right)P(\tau_A) + \tau_A^2\left(\frac{2}{\tau_A\sqrt{1-\left(\frac{S_1}{A}\right)^2}} - \frac{2}{\tau_A}\right)[P(\tau_A) - M(\tau_A)]\right\};$$

$$C_ш = \frac{1}{(1+\omega)^{0{,}4}};\quad C_{пр} = 1 - 0{,}4\omega^{0{,}6}.$$

Табличные значения функций $P(x)$, $M(x)$ и $N_2(x)$ аппроксимированы полиномами, коэффициенты которых приведены в табл. 4, 5 и 6. Расчет коэффициента β, учитывающего взаимный теплообмен между топкой и ширмами, выполняется по аппроксимирующим полиномам для твердого, жидкого и газообразного топлив. Значения полиномиальных коэффициентов приведены в табл. 7.

2.8. Блок-схемы позонного расчета топки, выполняемого по рекомендациям гл. 6 «Теплового расчета», приведены на черт. 2 и 3. С учетом практики расчетов число зон по высоте топки принимается не более 12. При пользовании блок-схемой (черт. 2) следует учитывать, что в том случае, если в топке имеются ширмы, допустимое расхождение значений температуры на выходе из топки, полученных из расчета топки в целом и позонного расчета, увеличивается до 50° С.

Алгоритмом не предусматривается расчет высокофорсированных топок, поэтому в блок-схемах позонного расчета не учтена теплоотдача конвекцией.

Приращение выгорания $\Delta\beta$ для n-й зоны, когда температура на выходе из последней зоны не равна температуре на выходе из топки с заданной точностью, определяется по соотношению

$$\Delta\beta = \frac{\beta_{max}-\beta_{min}}{\vartheta''_т(\beta_{min}) - \vartheta''_т(\beta_{max})}\left[\vartheta''_т(\beta) - \vartheta''_т\right].$$

Здесь β_{max} — степень выгорания в рассматриваемой зоне по верхней границе в соответствии с табличными данными «Теплового расчета...»;

β_{min} — степень выгорания по нижней границе;

Блок-схема расчета топки в целом

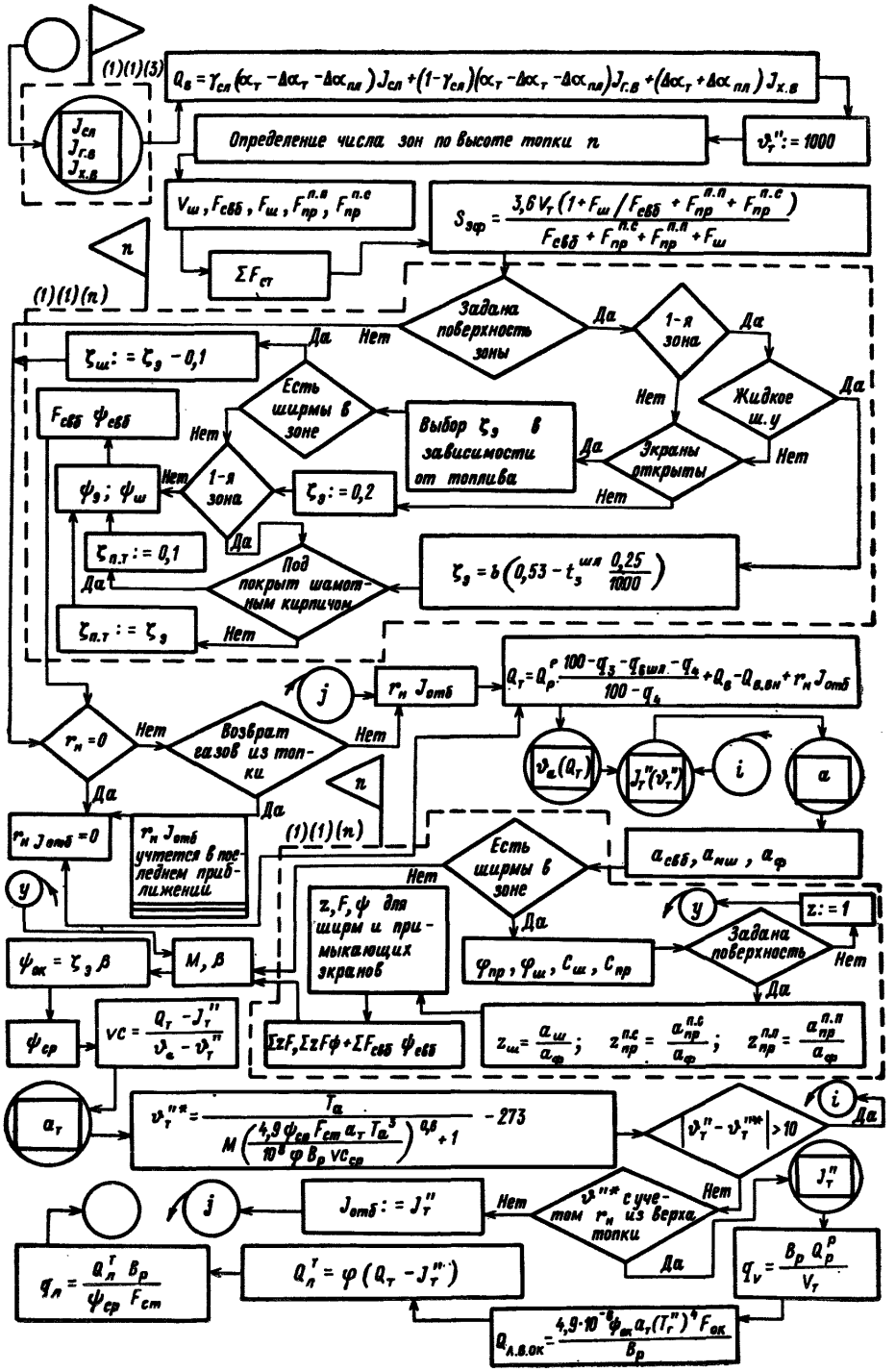


Таблица 4

Коэффициенты полинома функции $P(x)$

Коэффициенты	Значения		
	от 0 до 2,5	св. 2,5 до 4,0	св. 4 до 7,5
a_6	$0,26239850 \cdot 10^{-1}$	$0,38656686 \cdot 10^{-1}$	$0,39797282 \cdot 10^{-4}$
a_5	$-0,23062472$	$-0,77219268$	$-0,14166301 \cdot 10^{-2}$
a_4	$0,83224633$	$0,64008741 \cdot 10^{1}$	$0,20880216 \cdot 10^{-1}$
a_3	$0,16423898 \cdot 10^{1}$	$-0,28181138 \cdot 10^{2}$	$-0,16324244$
a_2	$0,20567300 \cdot 10^{1}$	$0,69509464 \cdot 10^{2}$	$0,71504373$
a_1	$-0,18205762 \cdot 10^{1}$	$-0,91102101 \cdot 10^{2}$	$-0,16685144 \cdot 10^{1}$
a_0	$0,99839124$	$0,49622349 \cdot 10^{2}$	$0,16285973 \cdot 10^{1}$

Таблица 5

Коэффициенты полинома функции $M(x)$

Коэффициенты	Значения		
	от 0 до 3,5	св. 3,5 до 7,0	св. 7 до 8,5
a_6	$0,14442949 \cdot 10^{-2}$	$-0,27000661 \cdot 10^{-4}$	$-0,26874793 \cdot 10^{-3}$
a_5	$-0,19859426 \cdot 10^{-1}$	$0,88734287 \cdot 10^{-3}$	$0,12363315 \cdot 10^{-1}$
a_4	$0,11579441$	$-0,11838604 \cdot 10^{-1}$	$-0,23676412$
a_3	$-0,38633632$	$0,81269652 \cdot 10^{-1}$	$0,24159026 \cdot 10^{1}$
a_2	$0,84673329$	$-0,29691314$	$-0,13852435 \cdot 10^{2}$
a_1	$-0,12542358 \cdot 10^{1}$	$0,52274512$	$0,42315717 \cdot 10^{2}$
a_0	$0,99958884$	$-0,29792342$	$-0,53796469 \cdot 10^{2}$

Таблица 6

Коэффициенты полинома функции $N_2(x)$

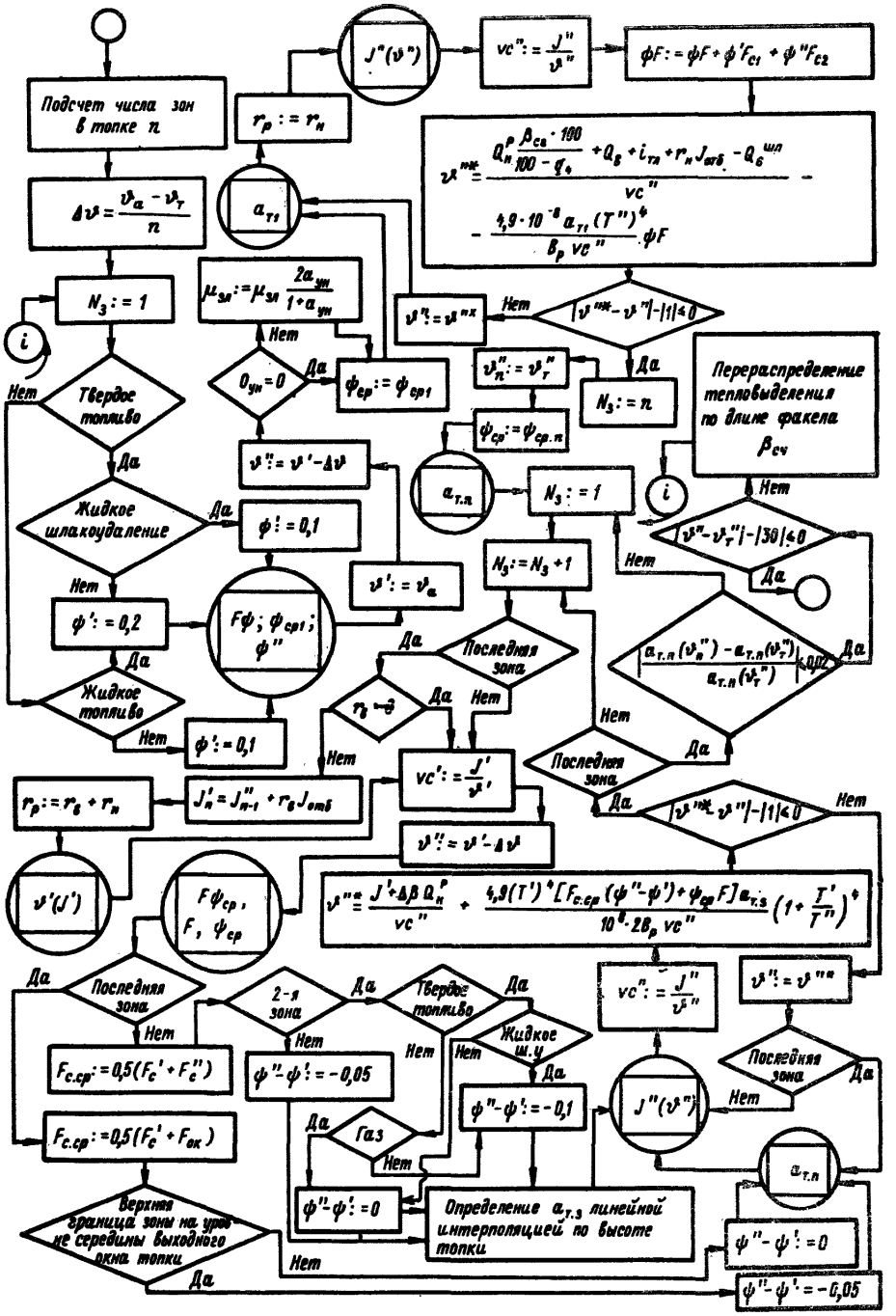
Коэффициенты	Значения		
	от 0 до 2,5	св. 2,5 до 4,0	св. 7 до 6,0
a_6	$0,14199129 \cdot 10^{-1}$	$-0,30099912 \cdot 10^{-3}$	$-0,23012082 \cdot 10^{-4}$
a_5	$-0,12742632$	$0,69808588 \cdot 10^{-2}$	$0,48305379 \cdot 10^{-3}$
a_4	$0,46652761$	$-0,65261650 \cdot 10^{-1}$	$-0,33438376 \cdot 10^{-2}$
a_3	$-0,91796218$	$0,31513686$	$0,37908044 \cdot 10^{-2}$
a_2	$0,11026482 \cdot 10^{1}$	$-0,82600937$	$0,56933997 \cdot 10^{-1}$
a_1	$-0,88305351$	$0,11005813 \cdot 10^{1}$	$-0,26044240$
a_0	$0,42328745$	$-0,56196043$	$0,34534971$

Таблица 7

Коэффициенты полинома для определения величины β, учитывающей взаимный теплообмен между топкой и ширмовым перегревателем

Вид топлива	a_3	a_2	a_1	a_0
Твердое	$-0,174048170 \cdot 10^{-8}$	$0,40960372 \cdot 10^{-5}$	$-0,30671639 \cdot 10^{-2}$	$0,17101818 \cdot 10^{1}$
Жидкое	$0,12432012 \cdot 10^{-8}$	$-0,54405594 \cdot 10^{-5}$	$0,67891997 \cdot 10^{-2}$	$-0,17016783 \cdot 10^{1}$
Газообразное	$0,42735043 \cdot 10^{-9}$	$-0,23438228 \cdot 10^{-5}$	$0,30989899 \cdot 10^{-2}$	$-0,50325175$

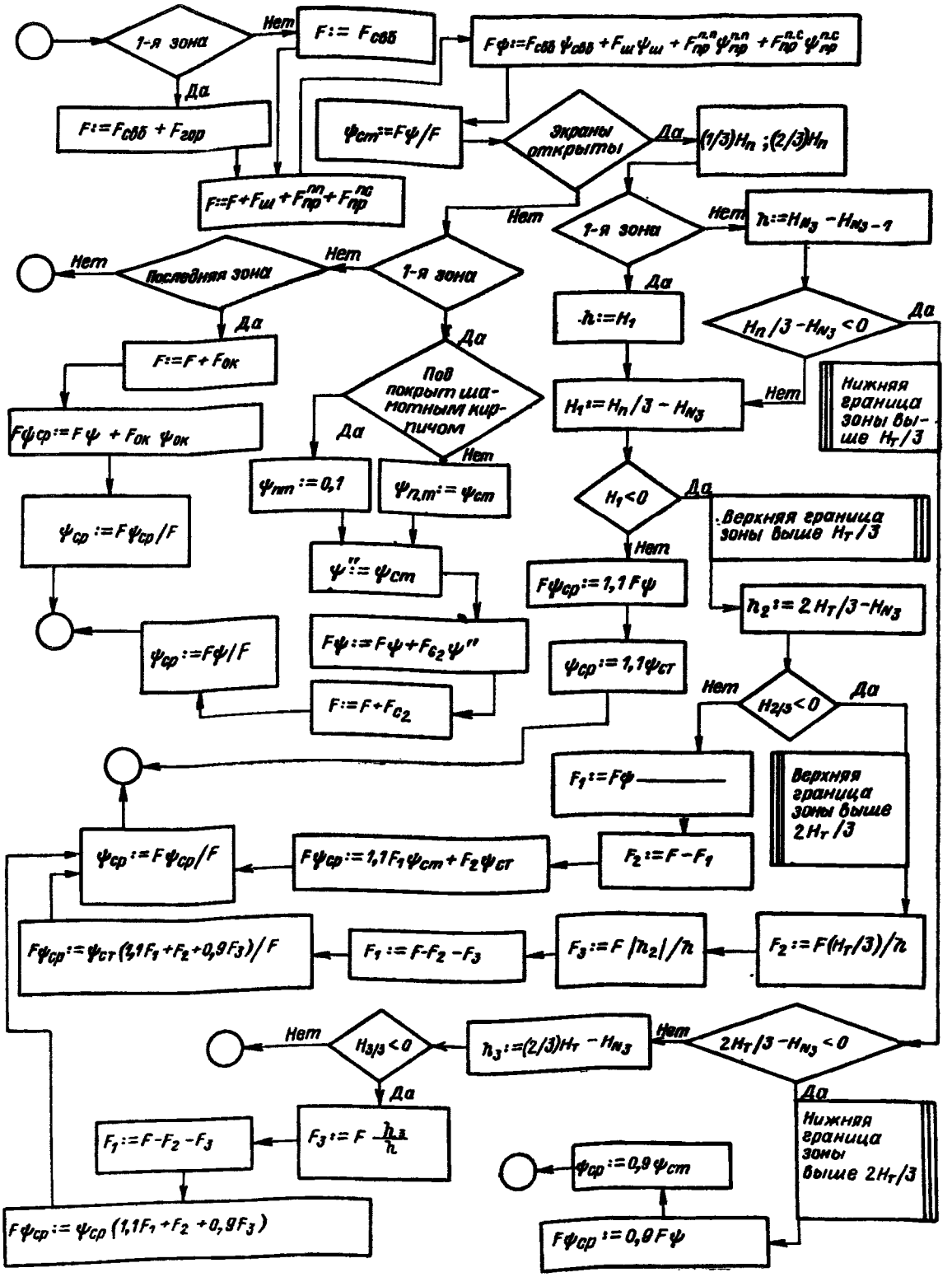
Блок-схема позонного расчета топки



1 — 1-я зона; з — текущая зона; *n* — последняя зона

Черт. 2

Блок-схема определения F, $F_{\psi_{ср}}$, $\Psi_{ср}$, Ψ''



$F_{1, 2, 3}$; $h_{1, 2, 3}$ — поверхность и высота зоны в соответствующей трети топки по высоте; H_{N_3} — расстояние от пода топки до выходного сечения зоны; h — размер зоны по высоте

Черт. 3

$\vartheta_т''(\beta_{min})$ — температура на выходе из последней зоны топки при распределении выгорания по зонам в соответствии с рекомендациями нижней границы;

$\vartheta_т''(\beta_{max})$ — температура на выходе из последней зоны топки при распределении выгорания по зонам в соответствии с рекомендациями верхней границы;

$\vartheta_т''(\beta)$ — температура на выходе из последней зоны топки при распределении выгорания.

Степень выгорания в n-й зоне β_n задается равной сумме $\beta_n+\Delta\beta_n$. При ограничении $(\beta_n \geqslant \geqslant \beta_{n-1}) \leqslant \beta$ предельное решение осуществляется методом простых итераций.

В конце позонного расчета проверяется совпадение величин $a_т$ в последней зоне, определенной в начале позонного расчета по $\vartheta_т''$ (для линейной интерполяции $a_т$) и рассчитанной потом по ϑ'' для этой зоны. Допускаемое расхождение 2%.

Температура дымовых газов на выходе из любой зоны может быть определена также по обобщенному уравнению

$$\vartheta'' = \frac{2B_р\left(\beta Q_р^р + Q_в + rI_г - Q_б^{шл}\right)}{2B_р vc''} + \\ + \vartheta' \frac{2B_р vc' - a_к F_к}{2B_р vc'' + a_к F_к} A + t_з \frac{2a_к F_к}{2B_р vc'' + a_к F_к} - \\ - \left[1 + \left(\frac{T''}{T'}\right)^4\right] \frac{4{,}9\cdot 10^{-8} a_т T'' \left[F_{с.ср}(\psi'' - \psi') + F\psi_{ср}\right]}{2B_р vc'' + a_к F_к}.$$

Здесь все переменные величины, кроме $B_р$ и $Q_р^р$, имеют индивидуальные для каждой зоны значения.

При расчете принимается:

для зоны максимальных тепловыделений

$$A = a_к = F_к = 0; \quad T' = T''; \quad \beta = \frac{\beta}{1 - q_4};$$

для всех последующих зон

$$a_к = F_к = 0; \quad Q_б^{шл} = 0; \quad \vartheta''_{n-1} = \vartheta'_n; \quad \beta = \beta_n - \beta_{n-1};$$

для выходной зоны с ширмами

$$Q_б^{шл} = 0; \quad t_з = \frac{T' + T''}{2} \sqrt[4]{a_т\left(1 - \frac{\psi}{a_л}\right)} - 273.$$

Так как уравнение записано относительно ϑ'' в неявном виде, его решение осуществляется итеративным методом. При этом ϑ'' для последующего приближения принимается равной полусумме заданного и полученного значений.

На основании позонного расчета производится распределение тепловосприятий по топочным поверхностям в следующей последовательности. Определяются для всех зон предварительные величины тепловосприятия поверхностей зоны:

$$Q_л' = \frac{4{,}9\cdot 10^{-8} \psi_{ср} a_т T^4 F}{B_р} \text{ ккал/кг}.$$

Для зоны максимального тепловыделения в эту формулу вместо T следует подставить T''.

Тепловосприятие выходного окна топки

$$Q'_{л.ок} = \frac{4{,}9\cdot 10^{-8} \psi_{ок} a_т (T_т'')^4 F_{ок}}{B_р} \text{ ккал/кг}.$$

Подсчитывается расхождение величин тепловосприятий, определенных при расчете топки в целом и в позонном расчете:

$$b = \frac{Q_л^т}{\sum Q_л'}.$$

С учетом расхождения определяются уточненные величины тепловосприятия поверхностей зоны

$$Q_л = bQ_л' \text{ ккал/кг}.$$

Тепловая нагрузка поверхностей зоны определяется по указаниям гл. 6 «Теплового расчета...». В алгоритм включаются указания для построения с помощью ЭВМ (если позволяют возможности машины) графика распределения $q_л^{ср}$ по высоте топки. С его помощью расчетчик может определить величину $q_л$ в любом сечении топки.

Предусматривается возможность определения тепловосприятия отдельного элемента, представляющего собой любую радиационную поверхность (экран, панель, ширмы, отдельная труба), расположенную в одной или нескольких зонах, или группы элементов, включенных последовательно по обогреваемой среде.

Результаты позонного расчета и распределения тепловосприятий могут понадобиться не только для последующего теплового расчета поверхностей котельного агрегата, но и для расчетов циркуляции воды и температуры металла. Это следует учесть при разработке системы исходной информации.

2.9. Расчет двухкамерных топок выполняется в соответствии с разделом 6-Г «Теплового расчета...»; блок-схема расчета приведена на черт. 4.

Зависимости (номограммы 8 и 9 «Теплового расчета...»), необходимые для выполнения расчета, в алгоритме используются в аналитическом виде.

Расчет ведется в следующей последовательности. Вначале определяется температура пленки шлака по формуле

$$t_{пл} = \lambda T_ф - t_0.$$

Промежуточные функции определяются по равенствам:

первая —

при $\varphi_1 = 0{,}012$

$$f_1(\varphi_1) = 0{,}01528T_ф - 0{,}01587t_0 - 3{,}3170;$$

при $\varphi_2 = 0{,}018$

$$f_1(\varphi_2) = 0{,}01443T_ф - 0{,}01719t_0 - 0{,}6523;$$

при $0{,}012 < \varphi < 0{,}018$

$$f_1(\varphi) = f_1(\varphi_1) + \frac{\varphi_2 - \varphi}{\varphi_2 - \varphi_1}[f_1(\varphi_2) - f_1(\varphi_1)];$$

вторая —

$$f_2 = f_1(-0{,}14409090\cdot 10^{11}A^4 + 0{,}15350000\cdot 10^9 A^3 - \\ - 0{,}63370075\cdot 10^6 A^2 + 0{,}14570211\cdot 10^4 A + \\ + 0{,}54017856\cdot 10^{-1}),$$

где A — параметр, характеризующий толщину пленки; безразмерная величина температурного перепада в пленке шлака

$$\Delta_{пл} = f_2(0{,}010 + 0{,}275\cdot 10^{-1} w_в).$$

Величины $a_{CO_2}=f(r_{CO_2})$, $a_{H_2O}=f(r_{H_2O})$, $a_л=f\left(a_{ф.л}, \frac{s_1}{d}\right)$ определяются с помощью интерполяционных полиномов, коэффициенты которых приведены в табл. 8, 9, 10. Безразмерный коэффициент $p_{шл}(w_г)$ при $\varphi_1=0{,}012$ и $\varphi_2=0{,}018$ определяется по полиномам, коэффициенты которых приведены в табл. 11.

Для промежуточных значений φ коэффициент $p_{шл}$ определяется линейной интерполяцией $p_{шл}$ по φ в интервале $p^{\varphi_1}_{шл}-p^{\varphi_2}_{шл}$.

2.10. Расчет любой ширмовой или конвективной поверхности нагрева котельного агрегата складывается из следующих этапов, по большинству которых даны отдельные блок-схемы: определение $V_г$, r_{H_2O}, $r_п$, $\mu_{зл}$ и учет влияния рециркуляции газов (черт. 5); учет тепла излучения из топки $Q_л$ (черт. 6); определение температур и теплосодержаний сред ϑ', ϑ'', t', t'', I', I'', i', i'', а также температурного напора Δt (черт. 7, 8); определение коэффициентов использования ξ (для ширмовых перегревателей), загрязнения ε и тепловой эффективности ψ (черт. 9); определение коэффициента теплоотдачи излучением $\alpha_л$ (черт. 10); определение коэффициента теплоотдачи конвекцией $\alpha_к$ (черт. 11); определение коэффициента теплопередачи k*; сведение баланса по поверхности, выполняемое по указаниям гл. 7 и 8 «Теплового расчета...». Расчету каждой такой поверхности предшествует подготовительный этап (черт. 14), который включает в себя в случае необходимости подготовку исходной информации для расчета данной поверхности и определение параметров смешения потоков сред. В тех случаях, когда, кроме данной поверхности, рассчитываются примыкающие к ней (по газам) дополнительные, производится предварительный подсчет суммарного тепловосприятия дополнительных поверхностей. На подготовительном этапе производится расчет параметров среды на выходе из предшествующих данной поверхности пароохладителей и радиационных поверхностей нагрева. Алгоритмом предусматривается расчет радиационных поверхностей, для которых в исходных данных задается их тепловосприятие в долях от $Q_л^т$. Такой расчет должен выполняться только при отсутствии распределения тепла в топке. Для поверхностей воздушного тракта рассчитываются величины β', β'', $\beta_{рц}$ (черт. 15).

2.11. При составлении блок-схемы, приведенной на черт. 5, принято, что в алгоритме следует предусмотреть возможность двух отборов газов на рециркуляцию r_1 и r_2, подвод рециркулирующих газов в низ $r_н$ и в верх топки $r_в$, а также в любое сечение газового тракта между топкой и точками отбора. Предполагается, что при наличии двух отборов в сечение возврата газов поступает поток со средними параметрами:

$$a_{отб}=\frac{a_{отб1}r_1+a_{отб2}r_2}{r_1+r_2};$$

$$I_{отб}=\frac{I_{отб1}r_1+I_{отб2}r_2}{r_1+r_2}.$$

Возврат газов в низ топки должен предусматриваться как из газового тракта за топкой, так и из верха топки. В последнем случае $I_{отб}$ определяется при $r=0$ в точке отбора и при температуре газов на выходе из топки.

Объемы газов и парциальные давления с учетом рециркуляции принимаются следующими:

$$V_{г.рц}=V_г+\frac{r_р}{r_1-r_2}(r_1V_{г.отб1}+r_2V_{г.отб2});$$

$$V_{H_2O\ рц}=V_{H_2O}+\frac{r_р}{r_1+r_2}(V_{H_2O\ отб1}r_1+V_{H_2O\ отб2}r_2);$$

$$V_{RO_2\ рц}=V_{RO_2}(1+r_р);$$

$$r_{H_2O\ рц}=\frac{V_{H_2O\ рц}}{V_{г.\ рц}};\qquad r_{RO_2\ рц}=\frac{V_{RO_2\ рц}}{V_{г.рц}};$$

$$r_{п.рц}=r_{H_2O\ рц}+r_{RO_2\ рц}.$$

2.12. Алгоритм расчета отдельной поверхности нагрева предусматривает расчет температурного напора для следующих схем взаимного направления теплообменивающихся сред:

— прямоточной;

— противоточной;

— параллельно-смешанной с двумя ходами, имеющими одинаковую поверхность нагрева;

— перекрестной.

Расчеты температурного напора для этих схем ведутся по блок-схеме (черт. 8) в соответствии с формулами прилож. IX к «Тепловому расчету...».

В алгоритме предусматривается проверка необходимости раздельного определения температурного напора для участков поверхности при расчете кипящих экономайзеров или перегревателей с высокой начальной влажностью пара в соответствии с указаниями гл. 7 «Теплового расчета...» (см. блок-схему на черт. 7).

2.13. Коэффициент использования ξ всех поверхностей нагрева, кроме ширмовых перегревателей, целесообразно задавать в исходных данных. Коэффициент использования ширмовых перегревателей зависит от скорости газов и определяется с помощью полинома, аппроксимирующего приведенный в гл. 7 «Теплового расчета...» график:

$$\xi=0{,}65104168\cdot10^{-2}w^3-0{,}10286459w^2+$$
$$+0{,}53515626w-0{,}59397324\cdot10^{-1};$$

при $w\geqslant 4{,}5$ м/с принимается $\xi=0{,}85$.

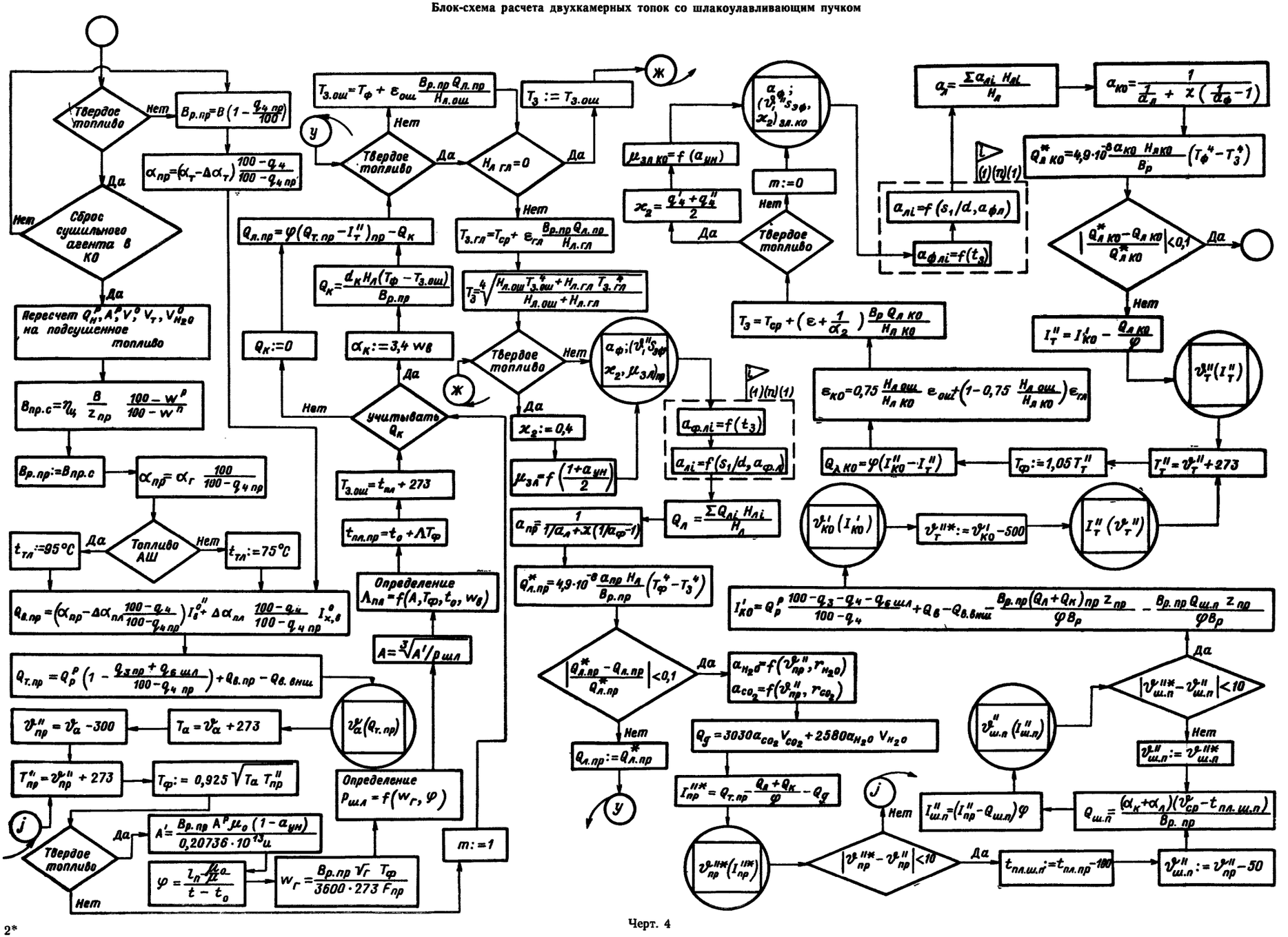
Поправку к коэффициенту загрязнения $\Delta\varepsilon$ следует задавать в исходных данных. Для определения коэффициента тепловой эффективности ψ в гл. 7 «Теплового расчета...» указаны интервалы его значений для соответствующих интервалов скоростей w. В алгоритме ψ определяется интерполяцией по w с помощью формулы

$$\psi=b_1+b_2w+\Delta\psi.$$

Величина $\Delta\psi$, на которую следует изменить ψ согласно указаниям гл. 7 «Теплового расчета...», учитывает подачу различных присадок в котел, влияние очистки поверхностей нагрева и другие

* Для гладкотрубных поверхностей по черт. 12, для ребристых и плавниковых поверхностей по черт. 13.

Блок-схема расчета двухкамерных топок со шлакоулавливающим пучком



Черт. 4

Таблица 8

Коэффициенты полиномов для вычисления степени диссоциации CO_2 $a_{CO_2} = f(r_{CO_2})$

Температура газов ϑ_1, °С	b_5	b_4	b_3	b_2	b_1	b_0
1700	—	$2{,}6041666 \cdot 10^{1}$	$-1{,}76840520 \cdot 10^{1}$	4,53693180	−0,57129759	$0{,}54598484 \cdot 10^{-1}$
1800	—	$6{,}5195221 \cdot 10^{1}$	$-3{,}98164330 \cdot 10^{1}$	9,22770970	−1,05430060	$0{,}92803030 \cdot 10^{-1}$
1900	$-9{,}21474360 \cdot 10^{2}$	$6{,}67249420 \cdot 10^{2}$	$-1{,}90289910 \cdot 10^{1}$	$2{,}74982510 \cdot 10^{1}$	−2,23055470	0,15683030
2000	$-5{,}36858980 \cdot 10^{2}$	$4{,}47115390 \cdot 10^{2}$	$-1{,}49281760 \cdot 10^{2}$	$2{,}58666080 \cdot 10^{1}$	−2,59777710	0,23590666
2100	$-6{,}81089760 \cdot 10^{2}$	$5{,}72916680 \cdot 10^{2}$	$-1{,}93232810 \cdot 10^{2}$	$3{,}39753790 \cdot 10^{1}$	−3,49153730	0,33523030
2200	$-1{,}46634610 \cdot 10^{3}$	$1{,}13905880 \cdot 10^{3}$	$-3{,}53340610 \cdot 10^{2}$	$5{,}67186180 \cdot 10^{1}$	−5,30615630	0,49224484

Таблица 9

Коэффициенты полиномов для вычисления степени диссоциации H_2O $a_{H_2O} = f(r_{H_2O})$

Температура газов ϑ_1, °С	b_5	b_4	b_3	b_2	b_1	b_0
1700	—	—	0,77700077	0,13257575	$0{,}44628982 \cdot 10^{-1}$	$0{,}15972727 \cdot 10^{-1}$
1800	$-6{,}16987170 \cdot 10^{2}$	$4{,}17249410 \cdot 10^{2}$	$-1{,}07921030 \cdot 10^{2}$	$1{,}35679480 \cdot 10^{1}$	−0,89233892	$0{,}43924848 \cdot 10^{-1}$
1900	—	—	−2,71464640	1,67045450	−0,36065656	$0{,}51960000 \cdot 10^{-1}$
2000	$-1{,}41826920 \cdot 10^{3}$	$9{,}58114800 \cdot 10^{2}$	$-2{,}45668700 \cdot 10^{2}$	$3{,}03970570 \cdot 10^{1}$	−1,97802070	0,10092484
2100		$7{,}44828090 \cdot 10^{1}$	$-4{,}3728146 \cdot 10^{1}$	$1{,}01652820 \cdot 10^{1}$	−1,2244405	0,12031060
2200	$-1{,}83493590 \cdot 10^{3}$	$1{,}31891020 \cdot 10^{3}$	$-3{,}63095860 \cdot 10^{2}$	$4{,}88739510 \cdot 10^{1}$	−3,51583170	0,20554666

Таблица 10

Коэффициенты полиномов для вычисления эффективной поглощательной способности гладкотрубных экранов $a_л$

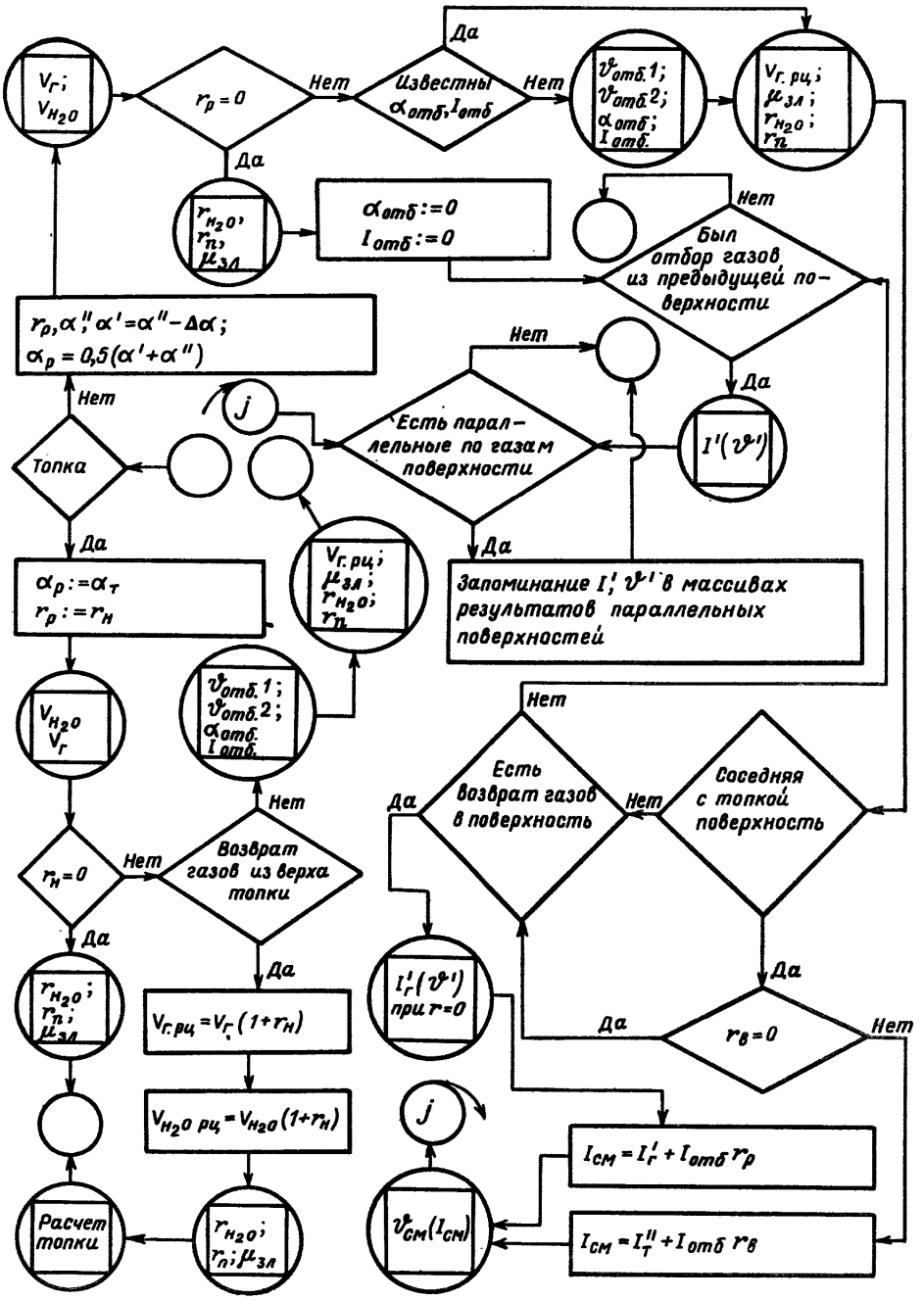
Величина $a_{ф.л}$	Вид экрана	b_5	b_4	b_3	b_2	b_1	b_0
0,85	Настенные прилегающие к обмуровке	$0{,}26666670 \cdot 10^{-3}$	$-0{,}69696975 \cdot 10^{-2}$	$0{,}59363639 \cdot 10^{-1}$	−0,22092425	0,34347576	0,69478571
	Настенные отстоящие от обмуровки	$0{,}73333333 \cdot 10^{-2}$	$-0{,}98515151 \cdot 10^{-1}$	0,51098485	−1,26337120	1,42429540	0,29432142
	Двухсветные	—	—	$0{,}88888888 \cdot 10^{-2}$	$-0{,}70428571 \cdot 10^{-1}$	0,14870634	0,71000000
0,75	Настенные прилегающие к обмуровке	—	$-0{,}49696969 \cdot 10^{-2}$	$-0{,}52808080 \cdot 10^{-1}$	−0,19709090	0,26667893	0,67892857
	Настенные отстоящие от обмуровки	$-0{,}66666657 \cdot 10^{-3}$	$0{,}87575745 \cdot 10^{-1}$	$-0{,}43742418 \cdot 10^{-1}$	0,10047725	−0,10385604	0,91103570
	Двухсветные	$-0{,}38666665 \cdot 10^{-2}$	$0{,}48575756 \cdot 10^{-1}$	−0,23325757	0,52785604	−0,56394392	1,01967850

Таблица 11

Коэффициенты полиномов для вычисления безразмерного коэффициента $p_{шл}(\varpi_г)$

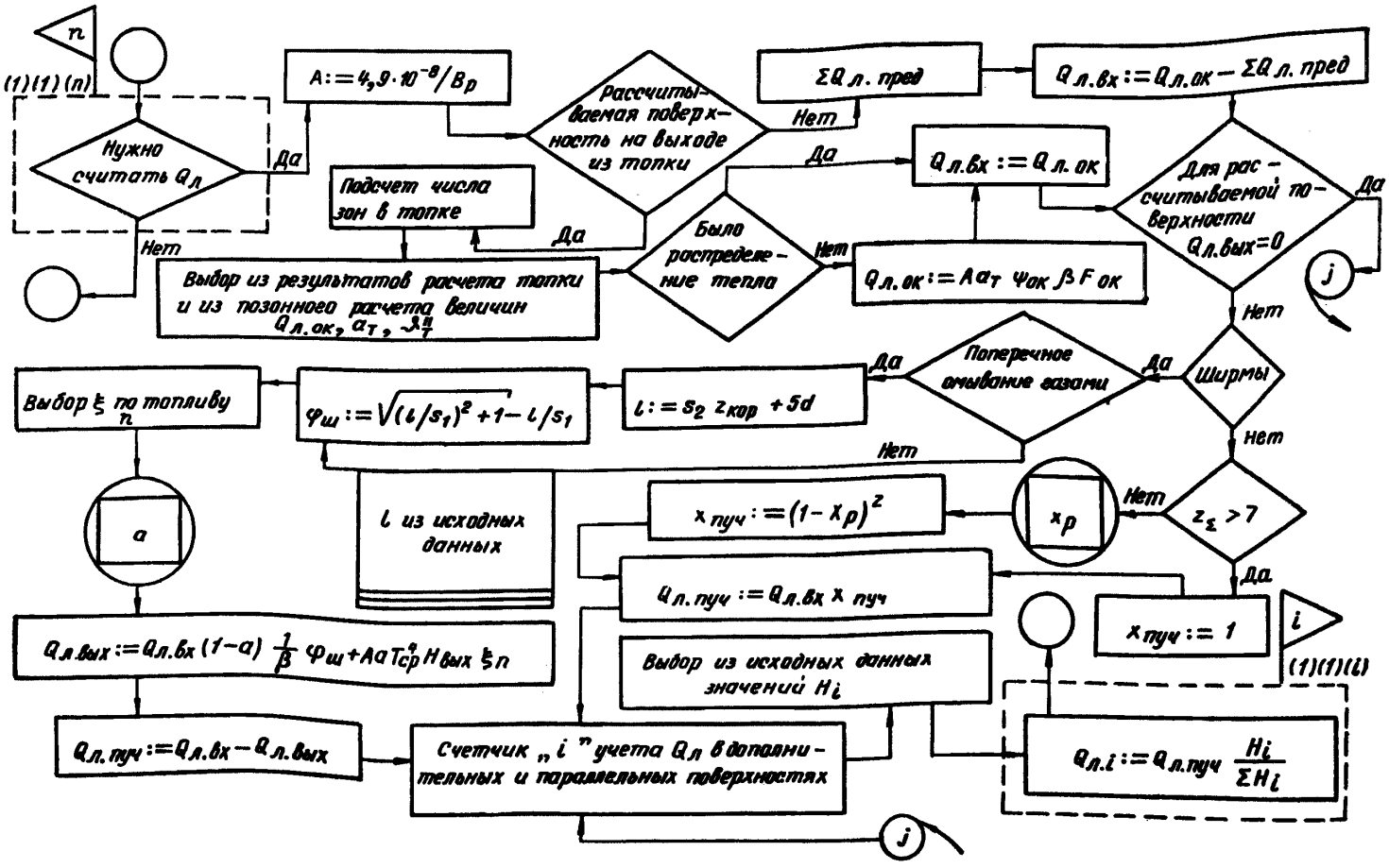
φ	b_4	b_3	b_2	b_1	b_0
0,012	—	$0{,}99326599 \cdot 10^{-5}$	$0{,}17258297 \cdot 10^{-2}$	$0{,}43869648 \cdot 10^{-1}$	0,99191919
0,018	$-0{,}49242424 \cdot 10^{-6}$	$0{,}86111111 \cdot 10^{-4}$	$0{,}64393931 \cdot 10^{-4}$	$0{,}67601010 \cdot 10^{-1}$	1,01060600

Блок-схема определения $V_г$, r_{H_2O}, $r_п$, $\mu_{зл}$ и учета влияния рециркуляции газов для рассчитываемой поверхности



Черт. 5

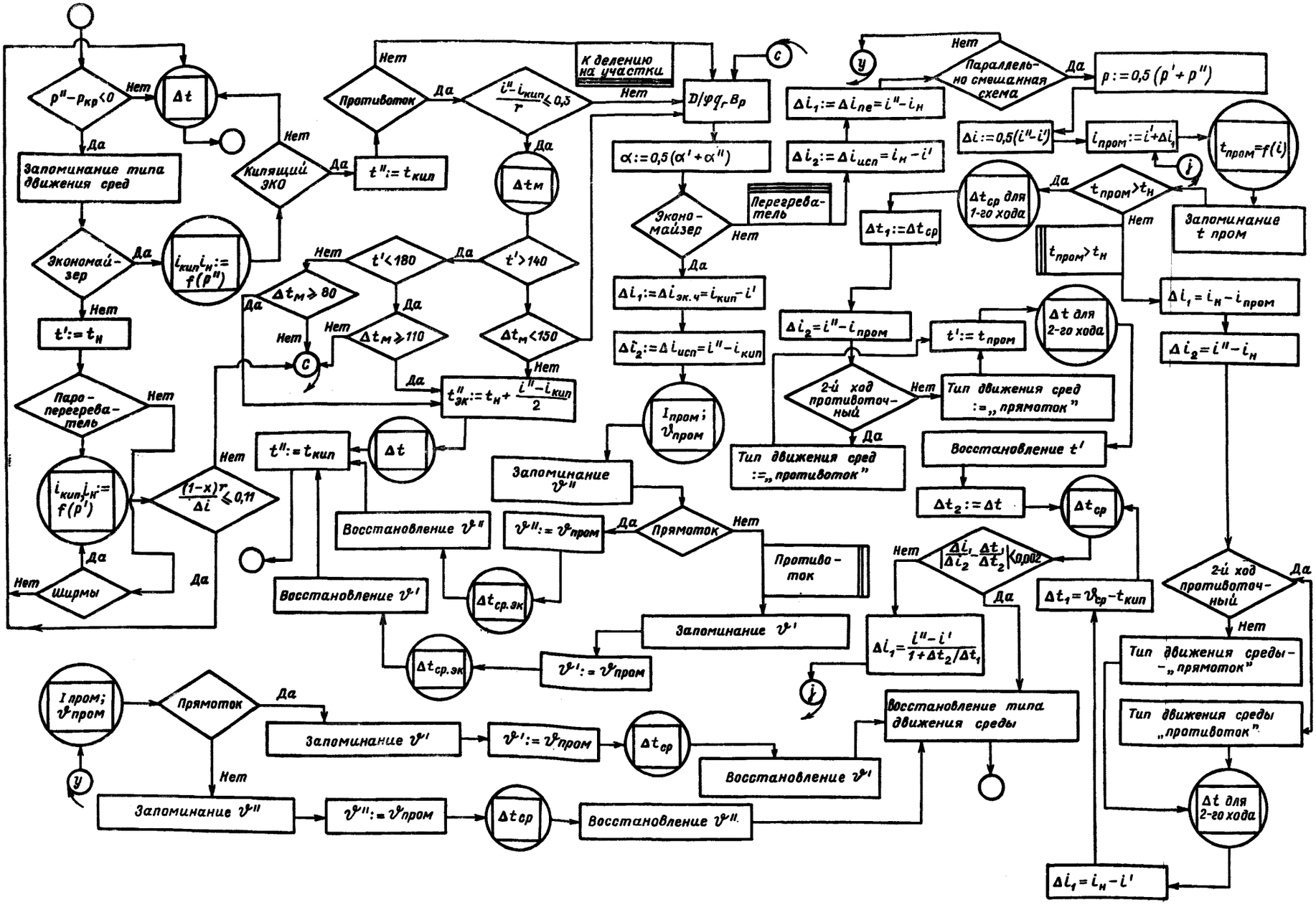
Блок-схема учета теплового излучения из топки



пред — предыдущая расчетная поверхность

Черт. 6

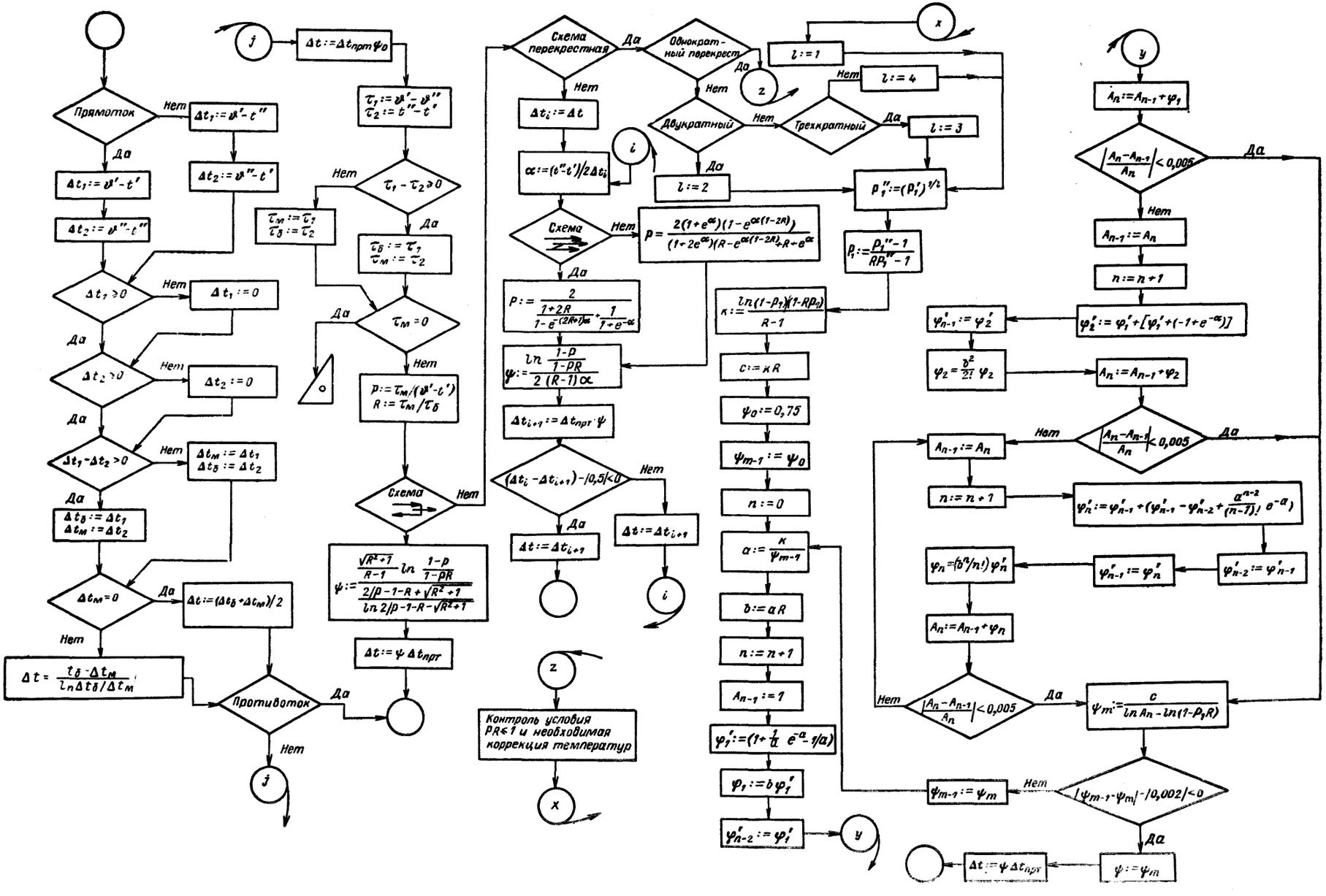
Температурный напор рассчитываемой поверхности



I, II — номер хода в параллельно-смешанной схеме; пром — промежуточный

Черт. 7

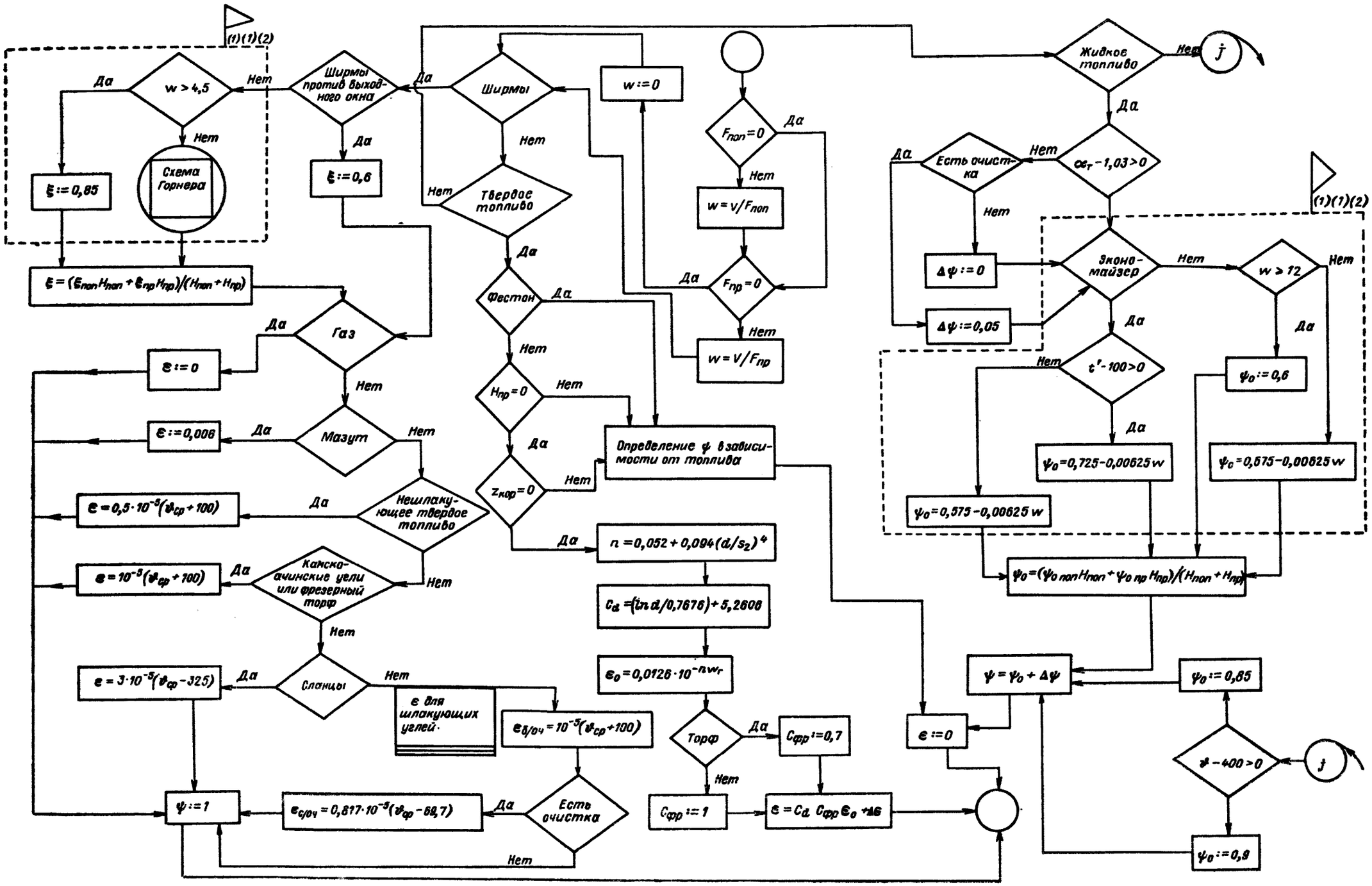
Блок-схема расчета температурного напора



i — число перекрестов

Черт. 8

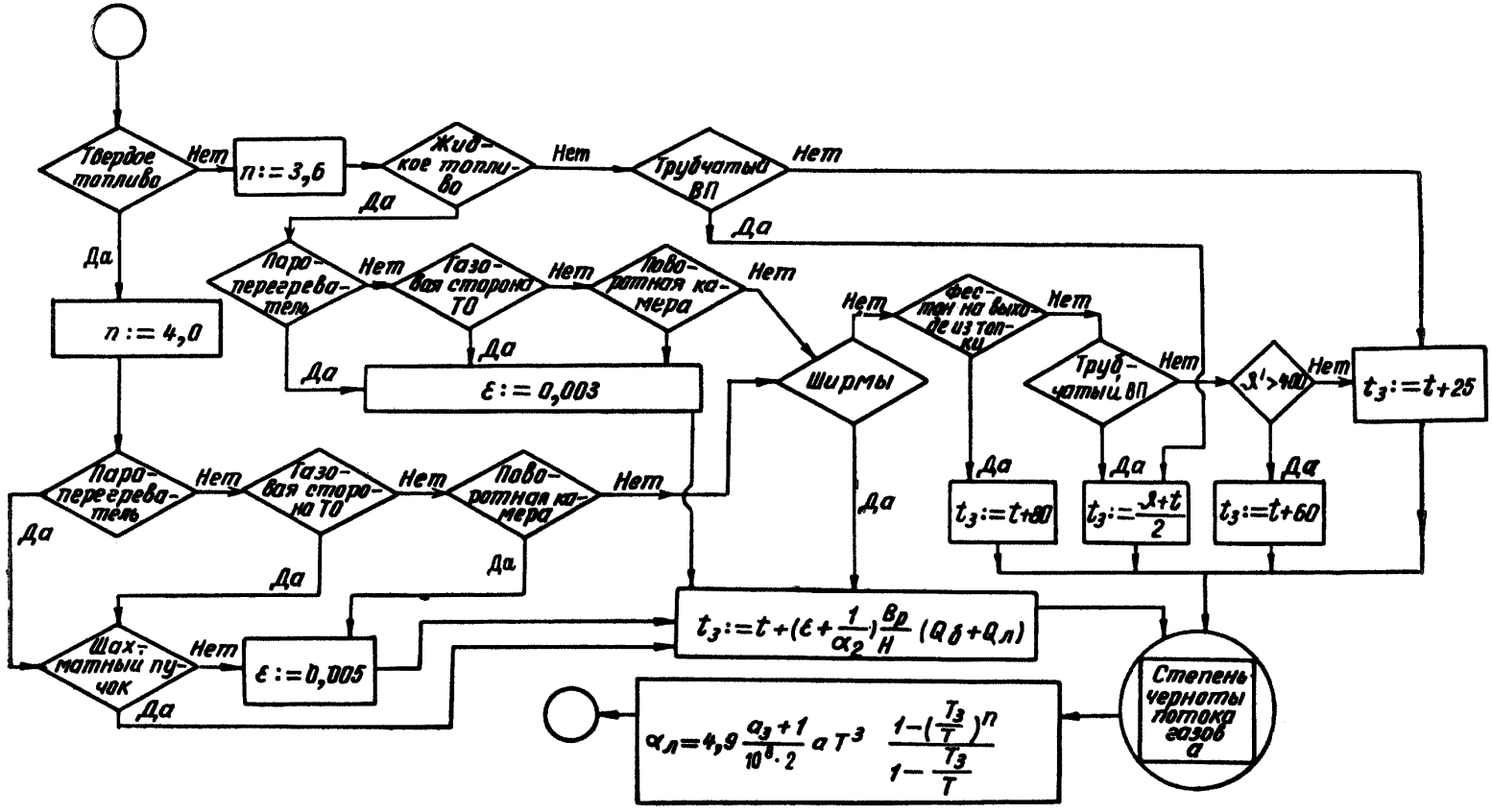
Блок-схема определения коэффициентов ξ, ψ, ε



б/оч — поверхность нагрева без очистки; с/оч — поверхность нагрева с очисткой

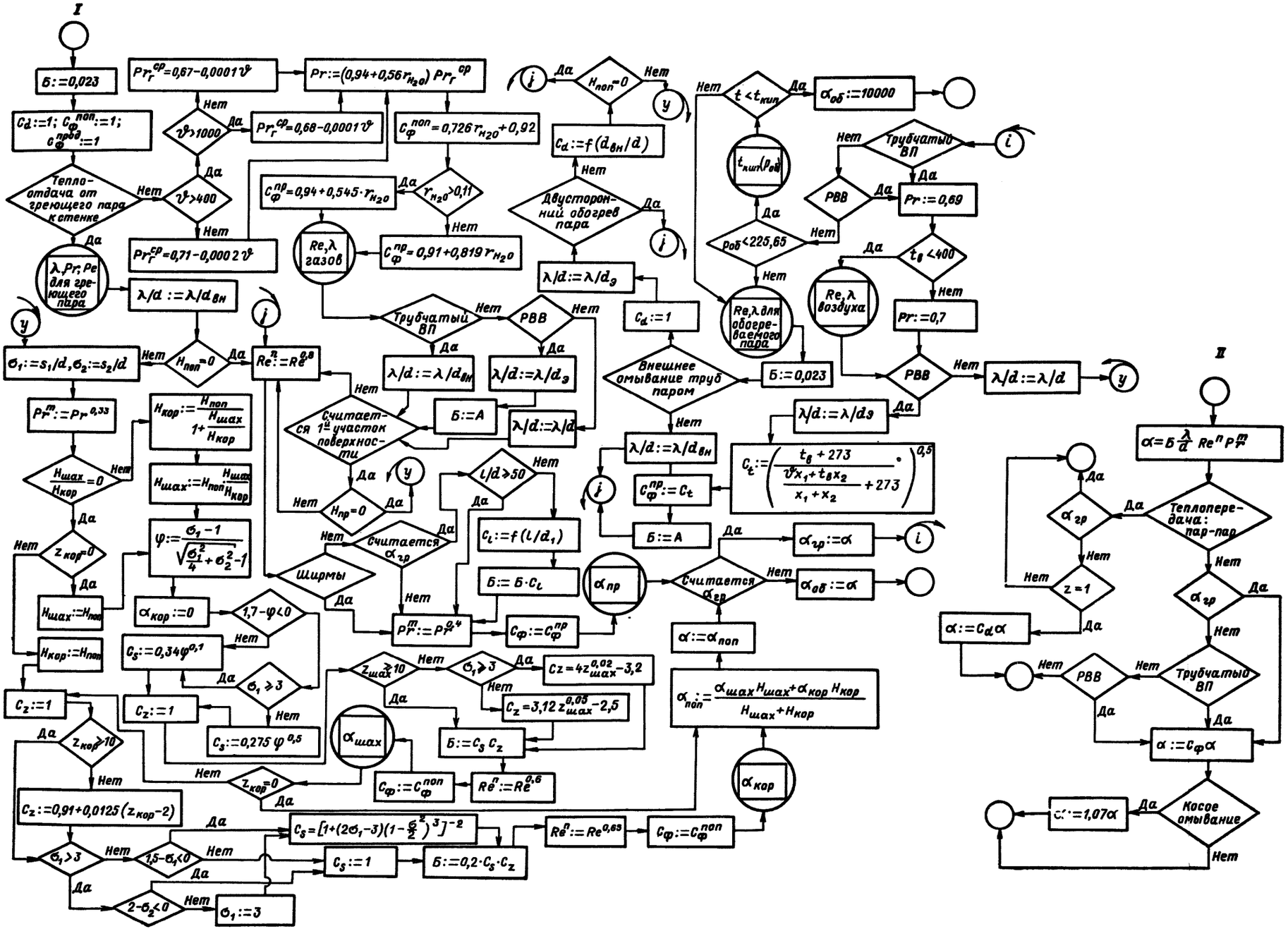
Черт. 9

Блок-схема расчета коэффициента теплоотдачи излучением продуктов сгорания



Черт. 10

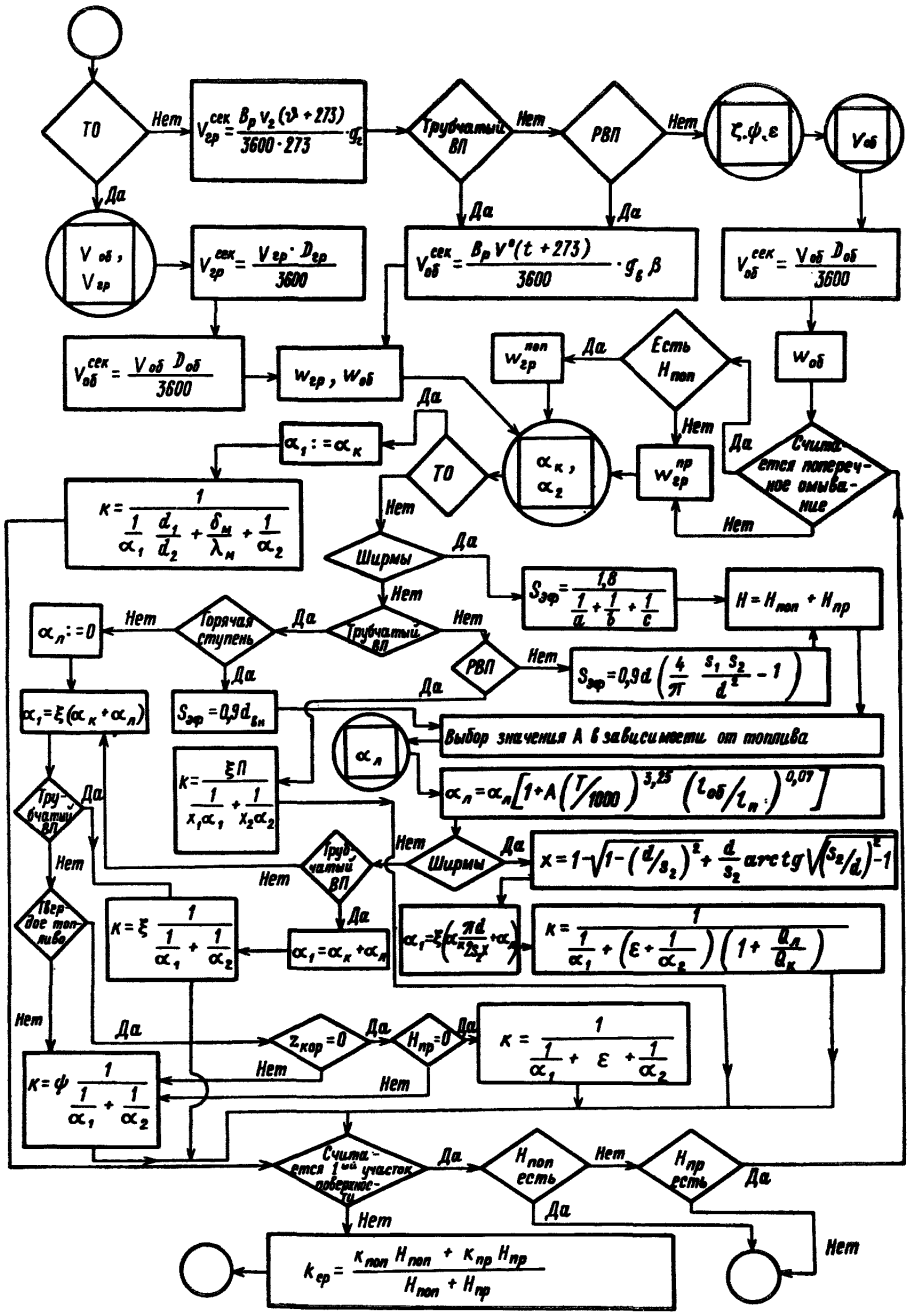
Блок-схема расчета коэффициента теплоотдачи конвекцией



I — определение $\alpha_к$ для рассчитываемой поверхности нагрева; *II* — общая схема расчета коэффициента теплоотдачи конвекцией

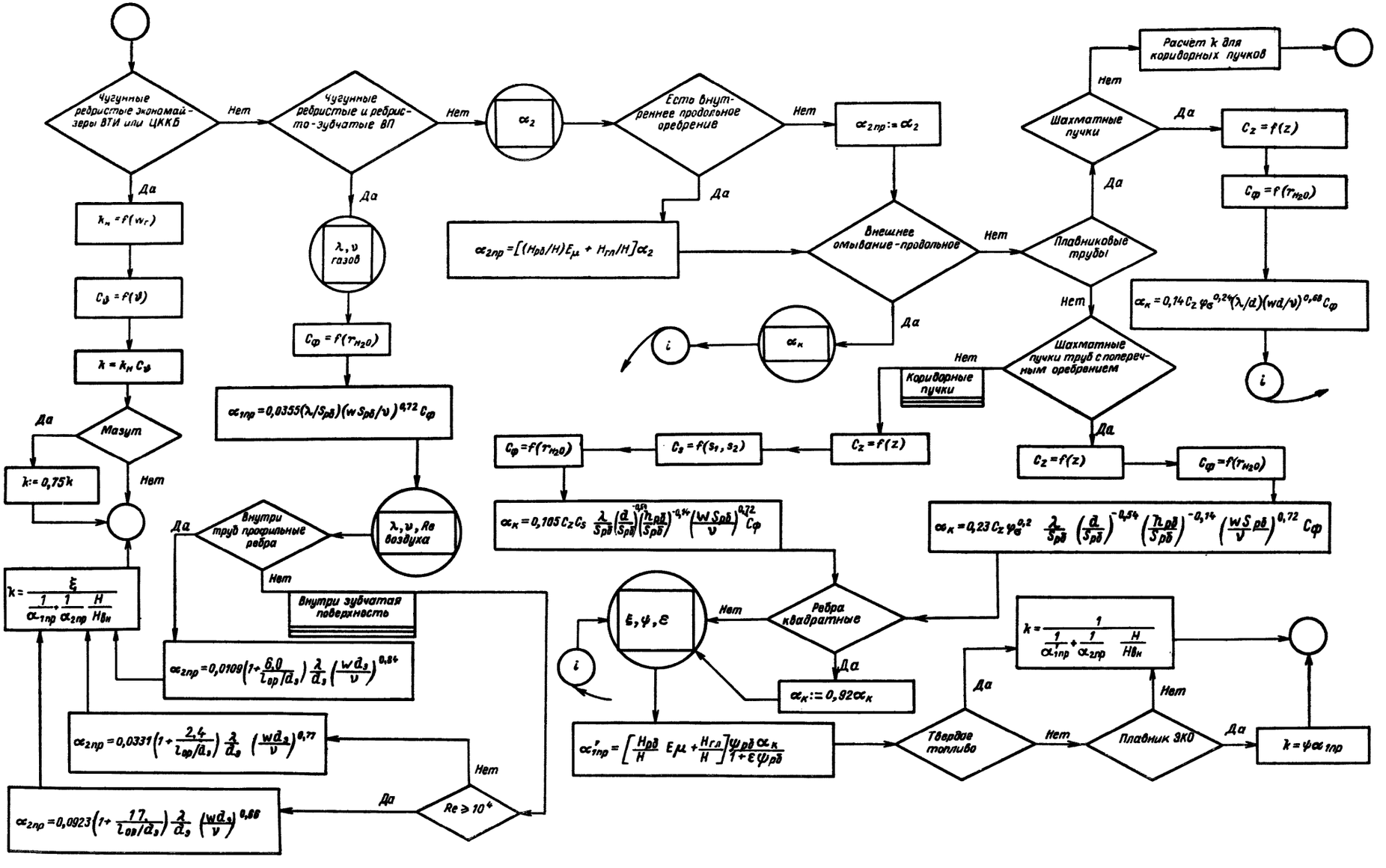
Черт. 11

Блок-схема расчета коэффициента теплопередачи k для гладкотрубных поверхностей нагрева



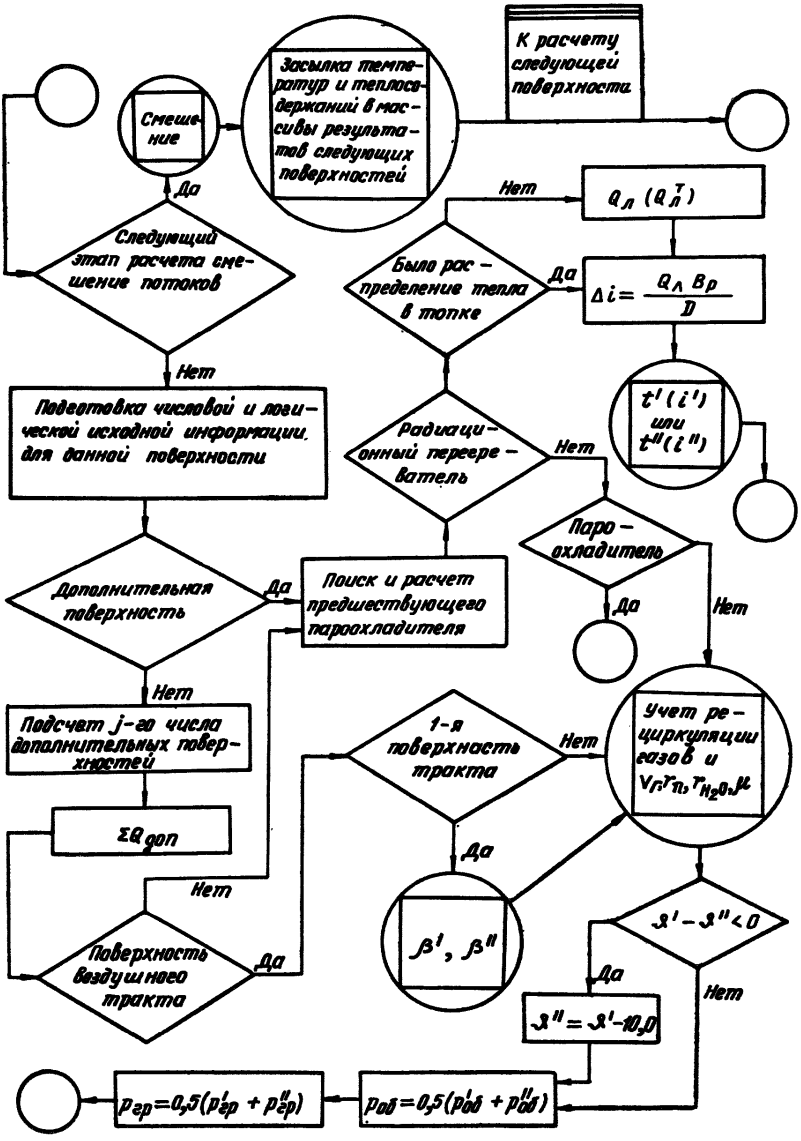
Черт. 12

Блок-схема расчета коэффициента теплопередачи k для ребристых и плавниковых поверхностей нагрева



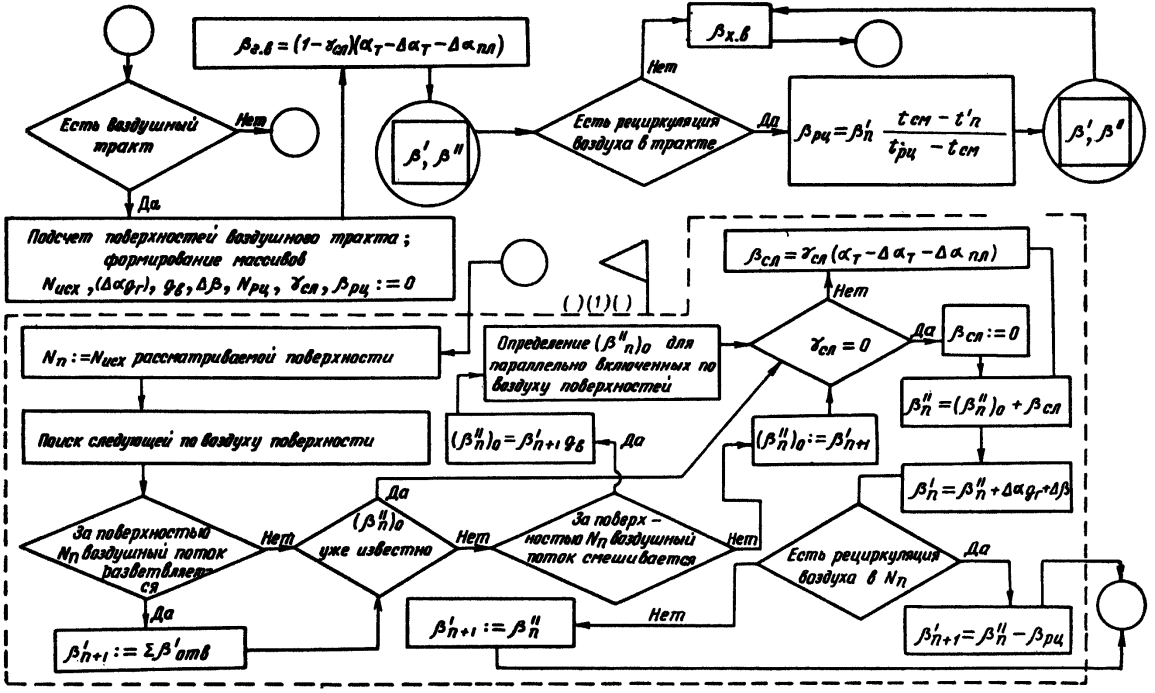
Черт. 13

Блок-схема подготовки к расчету очередной поверхности



Черт. 14

Блок-схема определения величин β', β'', $\beta_{рц}$ для поверхностей воздушного тракта



Черт. 15

подобные факторы; она должна задаваться в исходных данных. При необходимости выполнения расчетов для случая сжигания газа после мазута необходимо дополнить блок-схему (черт. 9) в соответствии с рекомендациями «Теплового расчета...».

2.14. Коэффициенты теплоотдачи конвекцией для газов, воздуха, греющего и обогреваемого пара рассчитываются по одному и тому же алгоритму — блок-схема на черт. 11.

2.15. Для расчета коэффициента теплоотдачи конвекцией необходимо определить коэффициенты теплопроводности и вязкости среды. Значения коэффициентов теплопроводности λ и вязкости μ воздуха и дымовых газов среднего состава можно определить для соответствующей температуры по полиномам, коэффициенты которых даны в табл. 12. Пересчет λ и μ по фактическому составу газов проводится с помощью поправки C_Φ к коэффициенту теплоотдачи; C_Φ определяется по блок-схеме (черт. 11).

2.16. Для определения коэффициентов теплопроводности λ и вязкости μ пара используются уравнения, приведенные в книге М. П. Вукаловича, С. Л. Ривкина, А. А. Александрова «Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара» (М., «Стандарт», 1969). Размерности величин, входящих в уравнения, отличны от принятых в алгоритме. Поэтому при составлении программы следует ввести коэффициенты пересчета переменных в соответствии с принятой системой размерностей.

Для области $p=140\div500$ бар, $t=350\div t^*$°С, где $t^*=335+1{,}03\ (p-125)-0{,}12\cdot10^{-2}\ (p-125)^2$ °С, принимается уравнение

$$t=f_1(\lambda)+f_2(\lambda)(p-221{,}29)\ ^\circ\text{C}.$$

Здесь $f_1(\lambda)=\sum_{n=0}^{n=9}a_n\lambda^n$; $f_2(\lambda)=\sum_{k=-1}^{k=8}b_k\lambda^k$.

Коэффициенты полиномов приведены в табл. 13.

Для области $p=p_н\div500$ бар, $t=0\div350$°С при определении коэффициента теплопроводности справедливо уравнение

$$\lambda=\sum_{n=0}^{n=4}a_n\left(\frac{T}{T_0}\right)^n+(p-p_н)\sum_{k=0}^{k=3}b_k\left(\frac{T}{T_0}\right)^k+$$

$$+(p-p_н)^2\sum_{m=0}^{m=3}c_m\left(\frac{T}{T_0}\right)^m,$$

где $T_0=273{,}15$ °С;

$a_0=-922{,}47$; $b_0=-0{,}9473$; $c_0=1{,}656\cdot10^{-3}$;

$a_1=2839{,}5$; $b_1=2{,}5186$; $c_1=-3{,}8929\cdot10^{-3}$;

$a_2=-1800{,}7$; $b_2=-2{,}0012$; $c_2=2{,}9323\cdot10^{-3}$;

$a_3=525{,}77$; $b_3=0{,}51536$; $c_3=-7{,}1693\cdot10^{-4}$.

$a_4=-73{,}44$;

Для области $p=1+500$ бар, $t=t^*\div700$°С имеем

$$\lambda=\lambda_1+A\left(\frac{p}{100}\right)+B\left(\frac{p}{100}\right)^2+C\left(\frac{p}{100}\right)^4+$$

$$+D\left(\frac{p}{100}\right)^8\ \text{МВт/м}\cdot^\circ\text{С},$$

где $\lambda_1=17{,}6+5{,}87\cdot10^{-2}t+1{,}04\cdot10^{-4}t^2-4{,}51\times10^{-8}t^3$; $A=8{,}35$;

$$B=\frac{0{,}390\cdot10^5}{\left(\frac{T}{100}\right)^5}+\frac{2{,}225\cdot10^8}{\left(\frac{T}{100}\right)^{10}}+\frac{7{,}375\cdot10^{11}}{\left(\frac{T}{100}\right)^{15}};$$

$$C=-0{,}0313+0{,}03\left(\frac{T}{100}\right)+\frac{1{,}3183\cdot10^{14}}{\left(\frac{T}{100}\right)^{17}};$$

$$D=\frac{1{,}413\cdot10^{35}}{\left(\frac{T}{100}\right)^{45}}.$$

Таблица 12

Коэффициенты полиномов для вычисления μ и λ воздуха и дымовых газов среднего состава

Коэффициенты	$\mu_в$	$\lambda_в$	$\mu_{д.г}$	$\lambda_{д.г}$
a_0	$0{,}13334426\cdot10^{-4}$	$0{,}21049487\cdot10^{-1}$	$0{,}12223590\cdot10^{-4}$	$0{,}19640869\cdot10^{-1}$
a_1	$0{,}86303219\cdot10^{-7}$	$0{,}64300069\cdot10^{-4}$	$0{,}74345639\cdot10^{-7}$	$0{,}72610926\cdot10^{-4}$
a_2	$0{,}11379092\cdot10^{-9}$	$-0{,}22533805\cdot10^{-7}$	$0{,}11242939\cdot10^{-9}$	$0{,}14915302\cdot10^{-8}$
a_3	$0{,}56219934\cdot10^{-13}$	$0{,}73307439\cdot10^{-11}$	$-0{,}40384652\cdot10^{-13}$	—
a_4	$0{,}23531342\cdot10^{-16}$	$-0{,}10448614\cdot10^{-14}$	$0{,}82038929\cdot10^{-17}$	—

Таблица 13

Коэффициенты полиномов $f_1(\lambda)$ и $f_2(\lambda)$

Порядковый индекс коэффициента	a	b
−1	—	0,16561327
0	$1{,}180534\cdot10^3$	−0,61902619
1	$-1{,}6043594\cdot10^4$	0,88504567
2	129607,38	6,56510260
3	−523702,22	−21,3079920
4	957739,27	−43,8608680
5	206675,12	279,4968700
6	−4264585,90	−458,2509200
7	7646994,70	330,5303700
8	−5623018,80	−103,8629100
9	1422698,90	—

Для области $p=p_н \div 800$ бар, $t=0 \div 300°$ С при определении коэффициента вязкости справедливо уравнение

$$\mu = 241{,}4 \cdot 10^{247{,}8} [(T-140)^{-1}] \left[1 + \frac{p-p_н}{10^6} \Phi\right] \text{ мкпз},$$

где $\Phi = 1{,}0467\ (T-305)$.

Для области $p=1 \div p_н$, $t=100 \div 700°$ С

$$\mu - \mu_1 = 353{,}0\rho + 676{,}5\rho^2 + 102{,}1\rho^3 \text{ мкпз},$$

где $\mu_1 = 80{,}4 + 0{,}407\,t$.

Для области $p=1 \div p_н$, $t=100 \div 300°$ С

$$\mu - \mu_1 = \rho(-1858 + 5{,}9t) \text{ мкпз}.$$

Во всех приведенных в п. 2.16 уравнениях p — давление, бар; t — температура, °С; T — абсолютная температура, К; ρ — плотность, кг/м³.

Во всем диапазоне давлений для интервала температур $t=300 \div 375°$ С величину μ можно определить с помощью линейной интерполяции по двум переменным таблиц, составленных следующим образом:

начальная температура $t_0=290°$ С;
конечная температура $t_n=380°$ С;
начальное давление $p_0=1$ кгс/см²;
конечное давление $p_n=400$ кгс/см².

При этом для обеспечения достаточной точности интерполяции шаг таблиц по температуре принимается равным 10° С, по давлению — переменным.

2.17. Поправки C_d и C_l при определении коэффициента теплоотдачи конвекцией для случая продольного омывания получаются по интерполяционным полиномам, коэффициенты которых приведены в табл. 14.

Таблица 14

Коэффициенты полиномов для вычисления поправок C_d и C_l к коэффициенту теплоотдачи конвекцией при продольном омывании

Коэффициент	C_d	C_l
a_0	$0{,}13634932 \cdot 10^1$	$0{,}19120000 \cdot 10^1$
a_1	$-0{,}15974363 \cdot 10^1$	$-0{,}65481352 \cdot 10^{-1}$
a_2	$0{,}19817016 \cdot 10^1$	$0{,}16510489 \cdot 10^{-2}$
a_3	$-0{,}88189588$	$-0{,}14172494 \cdot 10^{-4}$

2.18. Коэффициент теплоотдачи излучением $\alpha_л$ (черт. 10) и коэффициент теплопередачи k (черт. 12, 13) определяются по указаниям гл. 7 «Теплового расчета...». Для реализации блок-схемы (черт. 13) следует пользоваться табл. 15.

2.19. Определение величин относительных количеств воздуха β', β'', $\beta_{рц}$ для различных поверхностей воздушного тракта производится по блок-схеме (черт. 15). Блок-схемой предусматривается выполнение расчета при рециркуляции воздуха, отборе слабоподогретого воздуха в топку, отборах воздуха без последующего возврата его в котельный агрегат, «каскадных схемах» включения ступеней воздухоподогревателя. В общем случае следует учитывать возможность любых сочетаний перечисленных особенностей. Расчет может проводиться одновременно для всех поверхностей воздушного тракта с последующим уточнением по ходу расчета котельного агрегата.

2.20. Для современных котельных агрегатов предусматривается расчет следующих способов регулирования перегрева острого и промежуточного пара: применение впрыскивающих и поверхностных пароохладителей — приложение III к «Тепловому расчету...»; использование паропаровых и газопаропаровых теплообменников — блок-схема (черт. 19); байпасирование вторичного пара; байпасирование и рециркуляция газов.

2.21. С учетом общности и специфики расчетов отдельных поверхностей в алгоритме выделяются следующие самостоятельные блоки: дополнительная поверхность (черт. 16); поверхности поворотной камеры (черт. 17); поверхности нагрева — экономайзер, ширмы, котельный пучок (фестон), конвективный перегреватель, переходная зона, воздухоподогреватель (черт. 18); теплообменники (черт. 19). Общая схема теплового расчета дана на черт. 20.

2.22. При пользовании блок-схемами черт. 15, 18 для расчета РВП должны быть учтены следующие особенности. Величины β', β'', определенные по блок-схеме черт. 15, относятся к сечениям тракта, внешним для РВП. Эти значения β', β'' следует принимать для блок-схемы черт. 18 с учетом того, что перетечка воздуха в газы имеет место только на входе в горячую часть и на выходе из холодной. При расчете горячей части РВП ϑ' и I' принимаются по значениям за предыдущей по ходу газов поверхностью. Величины $w_г$, ϑ'', I'', $Q_б$ для горячей части определяются при $\alpha_{г.ч} = \alpha'_{пред} + \Delta\alpha_{г.ч}$; для холодной части РВП $w_г$, ϑ'', $I''_г$, $Q_б$ определяются при $\alpha''_{х.ч} = \alpha_{г.ч} + \Delta\alpha_{х.ч}$.

Для учета указанных особенностей в исходных данных РВП должен быть всегда задан состоящим из холодной и горячей частей.

3. ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

3.1. Созданию программы по составленному на основании РТМ алгоритму должна предшествовать разработка системы задания исходных данных.

Исходную информацию целесообразно представить в табличной форме, максимально близкой к той, которой обычно пользуются конструкторы-расчетчики. Эта информация должна подразделяться на логическую и числовую.

3.2. Для составления логической информации котельный агрегат разбивается на оптимальное количество отдельных рассчитываемых элементов. Такими элементами (поверхностями) являются: топка, дополнительные поверхности, различные пакеты (ступени) перегревателей, переходных зон, экономайзеров, воздухоподогревателей, котельные пучки, теплообменники для регулирования промперегрева, настенные экраны.

Опыт программирования теплового расчета котельного агрегата позволяет рассмотреть два способа составления логической информации.

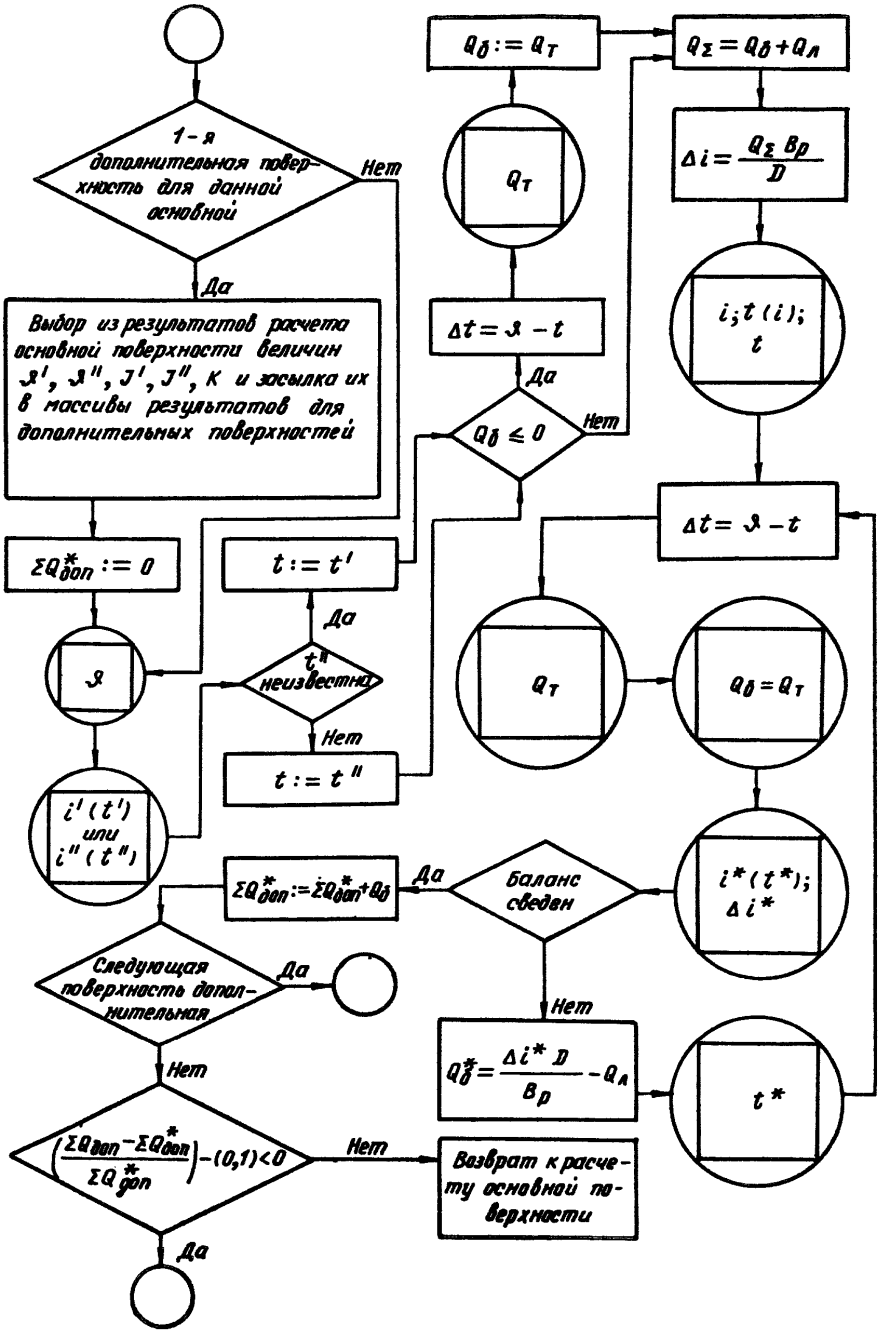
3.3. Первый способ заключается в следующем.

Таблица 15

Коэффициенты полиномов для определения коэффициентов теплопередачи в ребристых и плавниковых поверхностях нагрева

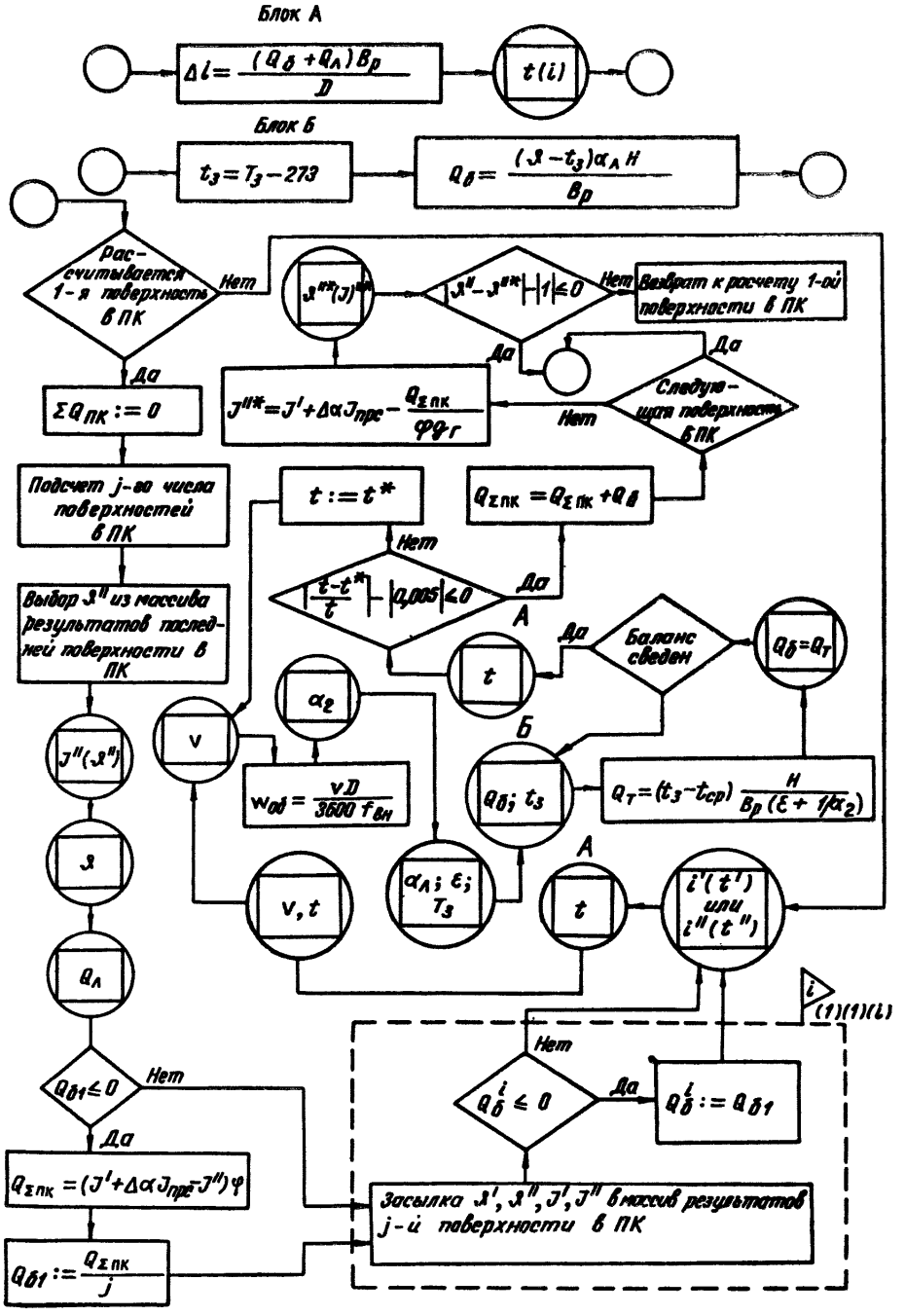
Поверхности нагрева	Коэффициенты теплопередачи	a_5	a_4	a_3	a_2	a_1	a_0
Ребристые экономайзеры	$k_н$ (экономайзер ВТИ)	—	$-0{,}22742424 \cdot 10^1$	$0{,}60594956 \cdot 10^1$	$-0{,}86744367$	$0{,}69301994 \cdot 10^{-1}$	$-0{,}20104895 \cdot 10^{-2}$
	$k_н$ (экономайзер ЦККБ)	—	$-0{,}11075757 \cdot 10^1$	$0{,}38209304 \cdot 10^1$	$-0{,}52639860$	$0{,}41511266 \cdot 10^{-1}$	$-0{,}11946386 \cdot 10^{-2}$
	C_v	—	—	—	$0{,}10960000 \cdot 10^1$	$-0{,}38857142 \cdot 10^{-2}$	$0{,}21528571 \cdot 10^{-4}$
Трубы с поперечными ребрами, коридорные пучки	C_z	—	$0{,}17657738 \cdot 10^1$	$-0{,}20268753 \cdot 10^{-1}$	$-0{,}20041667$	$0{,}59646465 \cdot 10^{-1}$	$-0{,}50000000 \cdot 10^{-2}$
	C_s	—	—	$0{,}22660714 \cdot 10^1$	$-0{,}30613095 \cdot 10^1$	$0{,}20476190 \cdot 10^1$	$-0{,}41666666$
	$C_ф$	—	—	$0{,}68500000$	$0{,}57642857 \cdot 10^1$	$-0{,}31714285 \cdot 10^2$	$0{,}60000000 \cdot 10^2$
То же, шахматные пучки	C_z	$0{,}67999537$	$0{,}14904469$	$-0{,}32347638 \cdot 10^{-1}$	$-0{,}36489565 \cdot 10^{-2}$	$-0{,}19988800 \cdot 10^{-3}$	$0{,}41967147 \cdot 10^{-5}$
	$C_ф$	—	—	—	—	$0{,}958000000$	$0{,}43999999$
Шахматные пучки труб с плавниками	C_z	$0{,}52469208$	$0{,}15451615$	$-0{,}19671151 \cdot 10^{-1}$	$0{,}12164016 \cdot 10^{-2}$	$-0{,}35947715 \cdot 10^{-4}$	$0{,}40596203 \cdot 10^{-6}$
	$C_ф$	—	—	—	—	$0{,}94350000$	$0{,}50999999$
Ребристо-зубчатые воздухоподогреватели	$C_ф(r_{H_2O})$	—	—	$0{,}91825892$	$0{,}12864583 \cdot 10^1$	$-0{,}60639880 \cdot 10^1$	$0{,}13020833 \cdot 10^2$

Блок-схема расчета дополнительной поверхности



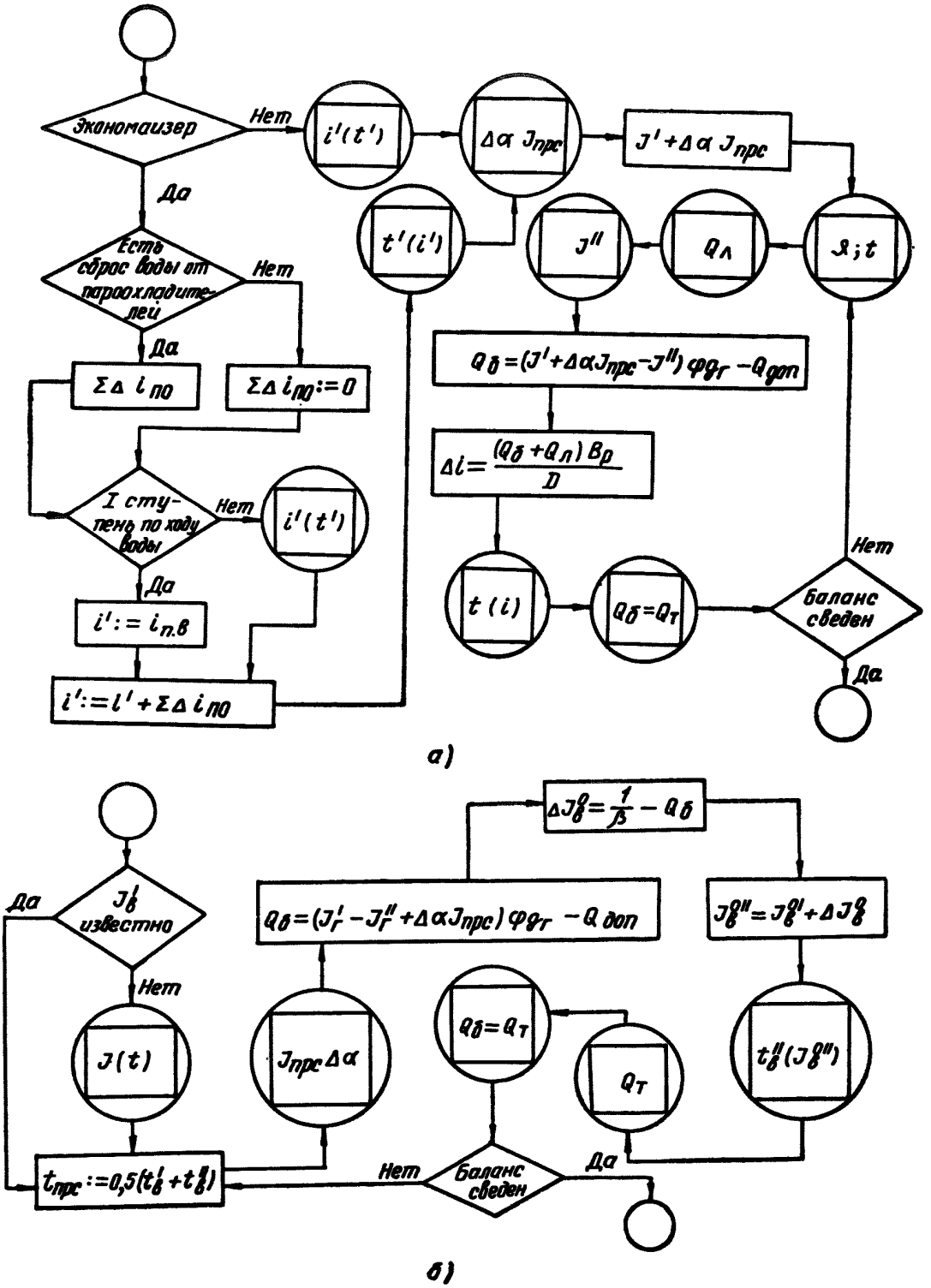
Черт. 16

Блок-схема расчета поверхностей нагрева поворотной камеры



Черт. 17

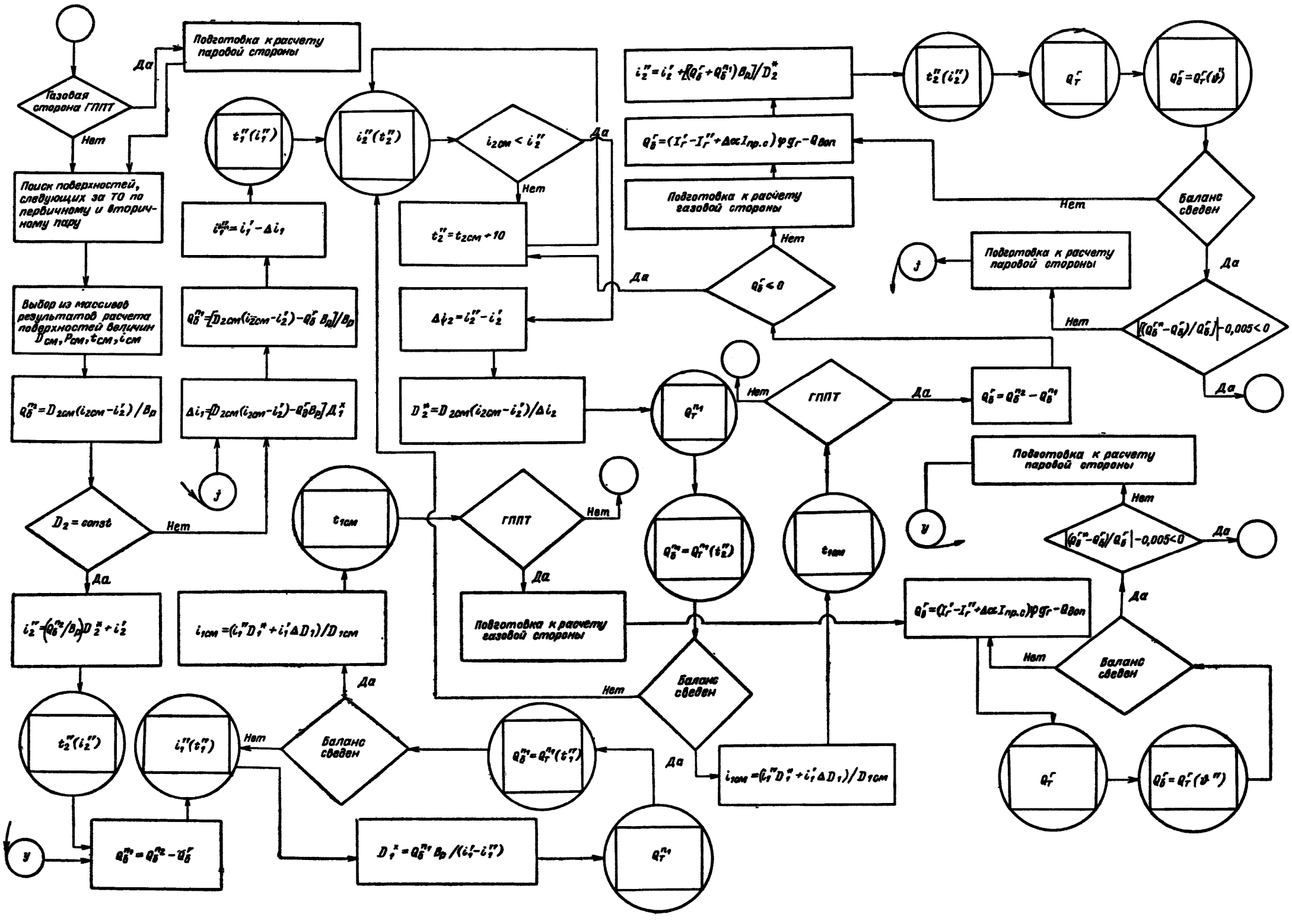
Блок-схемы расчета поверхностей нагрева



а — экономайзер, ширмы, фестон, перегреватель, переходная зона; *б* — воздухоподогреватель

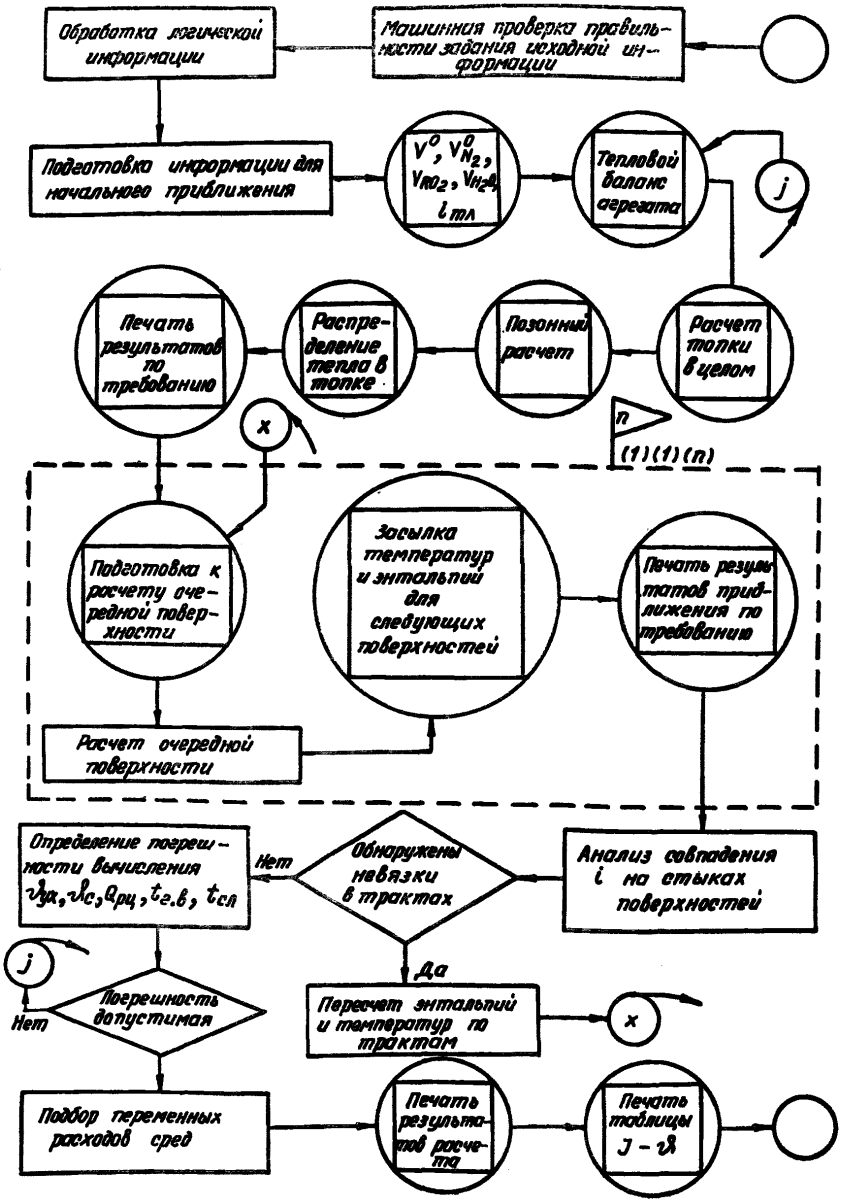
Черт. 18

Блок-схема расчета теплообменников (ГППТ, ППТ)



Черт. 19

Общая схема теплового расчета котельного агрегата



Черт. 20

Выделенные поверхности нумеруются в десятичной системе счисления в произвольном порядке, в соответствии с которым производится последующее составление логической и числовой информации. Произвольный порядок нумерации облегчает внесение возможных изменений и дополнений в уже составленную информацию. Для современных котельных агрегатов целесообразно и достаточно предусмотреть наличие до 50 поверхностей нагрева. Следует иметь в виду возможность разветвлений потоков греющей и обогреваемой сред и соответственно их смешение.

Логическая информация для каждой поверхности нагрева представляет собой набор признаков и номеров, задаваемых в десятичной системе счисления, и должна содержать сведения о положении данной поверхности в трактах греющей и обогреваемой сред, о порядке и особенностях расчета данной поверхности (по методике расчета ширм, топки, воздухоподогревателя и т. п.), а также о схеме взаимного движения теплообменивающихся сред. На основе заданной информации в программе предусматривается автоматическая нумерация поверхностей по ходу греющей и обогреваемой сред, необходимая для организации расчета.

3.4. При втором способе расчета котел следует представить состоящим из нескольких трактов (газового, парового, воздушного и т. п.), которые в свою очередь разделены на параллельные «нитки». Трактам и «ниткам» присвоены постоянные номера. Задаваемый в исходной информации номер каждой выделенной поверхности должен включать номера тракта и «нитки», а также указывать положение данной поверхности в рассматриваемом тракте. При этом необходима нумерация каждой поверхности, как правило, по двум трактам — для греющей и обогреваемой сред.

3.5. Первый из указанных способов обеспечивает меньший объем исходной информации, чем второй, делает более гибкой расчетную схему, но приводит к усложнению программы в части обработки исходных данных.

3.6. Числовая информация по содержанию должна полностью соответствовать исходной информации «Теплового расчета...». Она включает: данные, общие для всего котельного агрегата (вид и состав топлива, производительность, входные и выходные параметры обогреваемых сред, предполагаемую температуру уходящих газов, величины потерь от химического и механического недожога топлива), т. е. сведения, необходимые для составления теплового баланса котельного агрегата и определения расчетного расхода топлива; данные для расчета каждой поверхности нагрева (конструктивные характеристики, присос воздуха, расходы и давления греющей и обогреваемой сред); данные для расчета топки в целом, позонного расчета и распределения тепла. Так как выполнение позонного расчета, как правило, необходимо или для продолжения теплового расчета котельного агрегата или для расчетов гидравлических характеристик и температур металла, то имеет смысл задавать данные для расчета топки по зонам; если позонный расчет не выполняется, можно условно считать, что топка — одна зона.

3.7. Компоновка исходных данных должна соответствовать компоновке программы. Исходные данные, используемые одним блоком программы, должны быть заданы одним массивом (таблицей). Это касается как числовой, так и логической информации. Исходные данные, используемые разными блоками программы, на различных этапах расчета целесообразно программным путем выделить в соответствующие шкалы. Это относится к давлениям, избыткам и т. п.

В качестве примера предлагается компоновка числовой информации, приведенная в приложении.

4. ОБЩАЯ СХЕМА РАСЧЕТА

4.1. Изложение общей схемы расчета основывается на первом из двух способов задания логической информации, рассмотренных в пп. 3.3—3.5. При использовании второго способа существенных отличий в общей схеме расчета не будет.

Общая схема теплового расчета представлена на черт. 20.

Работа программы начинается с ввода в машину исходной информации. Правильность составления исходных данных, а также правильность переноса их с бланков на носитель информации (перфокарты, перфоленту и т. п.) следует по возможности проверять программным путем.

4.2. Критериями проверки являются допустимые численные границы интервала задания конкретных величин, известные значения суммы группы величин, наличие отдельных обязательных данных, обусловленные алгоритмом ограничения по числу расчетных элементов, трактов и т. п.

4.3. Для проведения проверки следует предусмотреть возможность печати исходных данных сразу после ввода. Вслед за печатью должна выполняться частичная проверка исходной информации, не требующая использования арифметических операций. В основном это проверка наличия численных значений тех или иных величин.

Затем выполняется перевод массивов из десятичной системы счисления в двоичную и осуществляется окончательная проверка числовой исходной информации.

После перевода логической исходной информации для каждой поверхности, задаваемой в десятичной системе счисления, в двоичную проверяется программным путем правильность задания логической информации. Следует проверить непрерывность трактов, ограничения по разветвлению и смешению потоков и т. п.

На основе исходной логической информации программа определяет последовательность прохождения греющей и обогреваемой сред через поверхности, составляет шкалы избытков воздуха, давлений и расходов сред.

4.4. На следующем этапе программа подготавливает информацию для начального приближения. В первую очередь это касается температур сред на входе и выходе для каждой поверхности нагрева. Следует предусмотреть возможность как «ручного» задания, так и программного формирования шкалы

температур для начального приближения. Температуры, заданные первым или вторым способом, к началу расчета должны быть размещены в памяти в соответствии с нумерацией поверхностей и последовательностью выполнения расчета. В нулевое состояние должны быть приведены все признаки, формируемые в процессе расчета для следующих приближений.

4.5. Тепловой расчет котла представляет собой процесс последовательных приближений, при котором рядом величин приходится задаваться (первое приближение) и затем в ходе расчета уточнять их значения до тех пор, пока два последовательно полученных результата не будут различаться на некоторую малую величину.

Первое приближение должно начинаться с определения удельных объемов продуктов сгорания и составления теплового баланса котельного агрегата. Как видно из черт. 20, вслед за этим выполняется расчет топки в целом, позонный расчет топки, распределение тепловосприятия по топочным поверхностям. Должна быть предусмотрена возможность выполнения теплового расчета без позонного расчета топки и без распределения тепла. Необходимо обеспечить возможность печати результатов после каждого из перечисленных этапов расчета по указанию оператора в таблицах с пояснениями или в виде числовых массивов.

Следующим этапом работы программы является расчет поверхностей нагрева в последовательности, совпадающей с движением продуктов сгорания от топки к хвосту. Не исключаются отклонения от указанной последовательности расчета. При необходимости должны автоматически определяться параметры смешения потока после расчета тех поверхностей, за которыми смешивается среда.

4.6. Поскольку тепловой расчет котельного агрегата представляет собой процесс последовательных приближений, необходима проверка совпадения (увязка) полученных в процессе расчета величин с предварительно принятыми. Увязка состоит из трех этапов.

4.7. На первом этапе проверяется совпадение температур и энтальпий обогреваемых сред на входе и выходе связанных движением среды поверхностей. Эта проверка должна производиться после проведения расчета всех поверхностей. Необходимость ее вызвана тем, что последовательность расчета поверхностей может не совпадать с очередностью прохождения через них обогреваемых сред, т. е. для расчета n-й по ходу газов поверхности могут потребоваться численные данные о температуре и энтальпии $(n+m)$-й поверхности, расчет которой еще не проводился. Эти данные на указанном этапе расчета могут иметь лишь предположительное, неточное значение. При расчете $(n+m)$-й поверхности полученные точные значения могут не совпасть с предположительными. При осуществлении увязок следует проверять совпадения энтальпий обогреваемых сред на стыках всех поверхностей в пределах принятой точности (0,2 ккал/кг) и в случае несовпадения производить необходимую корректировку проверяемых величин по всем трактам.

Один из путей увязки может быть следующий. По температурам и энтальпиям, заданным в качестве первого приближения, выполняется тепловой расчет каждой поверхности. Затем при обнаружении невязок по трактам к энтальпии на входе в соответствующий тракт последовательно по ходу среды прибавляются приращения энтальпии во всех поверхностях тракта, полученные в их тепловых расчетах. Таким образом, для следующего приближения получаются уточненные значения температур и энтальпий обогреваемой среды по всем поверхностям, а невязки устраняются, после чего повторяется расчет всех поверхностей, следующих за топкой. При постоянных значениях расходов греющей и обогреваемой сред, а также температур отбора газов на рециркуляцию и сушку топлива обеспечивается достаточно быстрый процесс сходимости. Число приближений зависит от сложности схемы котельного агрегата.

4.8. При отсутствии невязок во всех трактах осуществляется следующий этап процесса увязки — проверка совпадения принятых предварительно и полученных в расчете значений температур уходящих газов и газов, отбираемых на сушку топлива и на рециркуляцию, а также температур горячего и слабоподогретого воздуха. Если расхождения предварительно принятых и полученных в расчете температур превышают допустимые величины, следует полученные температуры использовать для следующего приближения и повторить расчет всего котла. Допустимые расхождения принимаются по рекомендациям «Теплового расчета...» с учетом того, что при расчетах на ЭВМ величины погрешностей могут быть уменьшены в разумных пределах.

4.9. Если указанного расхождения нет, то должен быть проведен третий этап процесса увязки — уточнение переменных расходов сред: на впрыск, байпас пара или газов, отбор газов на рециркуляцию.

4.10. Методика подбора расхода на впрыск может быть следующей. Приближенно принимается, что новая величина Δi, снимаемая впрыском, должна быть изменена на величину разности энтальпий перегретого пара, требуемой по заданию и полученной из расчета при принятом ранее $D_{впр}$. Исходя из этого

$$D^*_{впр} = D_{впр} \frac{\Delta i_{впр} - \Delta i_{раз}}{\Delta i_{впр}} \text{ кг/ч},$$

где $D_{впр}$, $D^*_{впр}$ — расходы на впрыск, принятый ранее и уточненный, кг/ч;

$\Delta i_{впр}$ — снижение энтальпии пара впрыском $D_{впр}$, ккал/кг;

$\Delta i_{раз}$ — разность энтальпий перегретого пара, требуемой по заданию и полученной из расчета.

На величину $D^*_{впр} - D_{впр}$ следует изменить все расходы, начиная с первой поверхности водяного тракта и кончая самим пароохладителем. Затем должен быть выполнен пересчет поверхностей на новые расходы.

4.11. Расход пара через байпас можно подобрать следующим образом. При первом приближении он задается равным нулю. Поверхности, па-

раллельные байпасу, рассчитываются при первом приближении на полный расход пара от входа к выходу по ходу пара. Поверхности, следующие за точкой смешения основного потока с потоком через байпас, рассчитываются от выхода ко входу по ходу пара, в результате чего получается величина энтальпии $i_{см}$. Если эта энтальпия меньше энтальпии основного потока перед точкой смешения, то расход пара через байпас подбирается с помощью коэффициента пересчета, представляющего собой отношение подбираемого расхода пара через поверхности, параллельные байпасу, к суммарному:

$$\frac{D^*}{D}=\frac{i_{см}-i'}{i''-i'},$$

где i' — энтальпия потока в точке разветвления на основной поток и поток через байпас, ккал/кг.

Подбор расхода пара через байпас происходит до тех пор, пока энтальпия в точке смешения основного потока и потока через байпас не совпадает с энтальпией на входе в поверхность, следующую за точкой смешения, с погрешностью не более 0,2 ккал/кг.

4.12. Величины байпаса продуктов сгорания и доли газов, отбираемой на рециркуляцию, для первого приближения рекомендуется задавать в исходных данных. В следующих приближениях изменение доли газов r, отбираемой на рециркуляцию, должно осуществляться с учетом того, что увеличение r на 1% повышает температуру промперегрева примерно на 2° С. Точность получения температуры промперегрева может быть принята в пределах ±2° С. Этот принцип справедлив и для подбора доли газов, проходящих через основной и байпассируемый газоходы.

4.13. Тепловой расчет котельного агрегата считается законченным, если все три этапа процесса увязок приводят к тому, что отличие результатов двух последовательных приближений является допустимым, т. е. удовлетворяет заданной точности.

После окончания расчета котельного агрегата на печать должны быть выданы все массивы результатов в табличном виде.

4.14. Программой должно предусматриваться проведение различных вариантов теплового расчета котла с заменой отдельных элементов исходной информации. В частности, следует иметь в виду возможность проведения вариантных расчетов одного и того же котла при работе на пониженных нагрузках, при сжигании различных видов топлива, при изменении параметров пара и отдельных элементов конструкции.

Заменяемая исходная информация должна иметь определенные признаки (метки), свидетельствующие о ее варьируемости. После окончания расчета программным путем производится проверка наличия указанных признаков и ввод новой информации, последовательно заменяющей варьируемую. Элементы новой информации, в свою очередь, также могут иметь признаки замены для проведения расчета последующих вариантов.

Расчеты проводятся до тех пор, пока ни один из элементов исходной информации не будет иметь признака варьируемости.

5. ТРЕБОВАНИЯ К СОСТАВЛЕНИЮ ПРОГРАММЫ И ВЫБОРУ ХАРАКТЕРИСТИК ЭВМ

5.1. При составлении программы по изложенному алгоритму следует учесть его специфику и сложность, которые требуют максимального упрощения эксплуатации программы за счет выполнения следующих условий:

— универсализация программы; для этого, исходя из практики проектирования котельных агрегатов, следует учесть возможные варианты конструкций, топлив, нагрузок; обеспечить гибкость расчетной схемы, в том числе возможность различных сочетаний вариантов; предусмотреть широкий диапазон переменных, употребляемых как в алгоритме, так и в исходных данных;

— сведение к минимуму упрощений, принятых в «Тепловом расчете...» для ручных расчетов (но не в ущерб продолжительности счета);

— сведение к минимуму необходимой исходной информации; это достигается отсутствием повторений одних и тех же величин в разных разделах исходных данных, а также исключением из исходных данных величин, которые можно получить программным путем;

— печать результатов в форме, не требующей или почти не требующей дополнительной обработки; целесообразно печатать таблицы с комментариями и в случае необходимости графики;

— составление программы отдельными блоками с подробным их описанием для облегчения размещения в памяти машины и корректировки программы в случае уточнения алгоритма;

— сведение к минимуму необходимой работы за пультом машины и снабжение оператора инструкцией для выполнения расчетов без участия «заказчика»;

— обеспечение программного контроля правильности задания исходной информации с выдачей на печать обнаруженных ошибок;

— обеспечение возможности прерывания счета из-за «сбоя» машины, нехватки времени или нецелесообразности продолжения расчета с выдачей на печать результатов различных этапов расчета; запись состояния памяти машины в момент прерывания счета на магнитную ленту;

— организация выполнения вариантных расчетов без ненужных повторений в задании общей для всех вариантов информации.

Следует также учесть возможность стыковки программы с будущими или существующими программами родственной тематики — сохранение в памяти и выдача исходной и расчетной информации, представляющей общую ценность.

5.2. Рекомендации РТМ по составлению алгоритма рассчитаны в основном на выполнение расчетов на электронных вычислительных машинах (ЭВМ) со следующей технической характеристикой:

скорость выполнения арифметических и логических операций — десятки тысяч в секунду;

емкость внутреннего быстродействующего оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) — несколько тысяч слов;

емкость внешних запоминающих устройств — десятки тысяч слов;

скорость ввода информации — сотни слов в минуту;

скорость вывода информации на алфавитно-цифровое печатающее устройство — сотни слов в минуту.

При указанной технической характеристике ЭВМ машинное время теплового расчета современного энергетического котельного агрегата не превысит десяти минут.

Предъявленным требованиям отвечают современные ЭВМ типа М-20 (М-20, М-220, БЭСМ-4 и их модификации), типа «Минск» («Минск-32») и другие машины среднего класса.

Программы по изложенному алгоритму рекомендуется для перечисленных машин составлять в кодах машины или в автокоде.

ПРИЛОЖЕНИЕ к РТМ 24.031.08—74

Справочное

ПРИМЕР КОМПОНОВКИ ИСХОДНОЙ ЧИСЛОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Таблица 1

Данные для расчета теплофизических характеристик топлива

Показатели	Обозначение
Номер топлива или первого компонента в смеси топлив — из табл. I, II «Теплового расчета ...»	N (табл. I)
То же, второго компонента	N (табл. II)
Тепловая доля первого компонента в смеси двух однородных топлив	q
Количество газа, приходящееся на 1 кг другого компонента в смеси, при нормальных температуре и давлении	x
Влагосодержание газообразного топлива	$d_{г.тл}$
Влагосодержание воздуха	d
Температура поступающего в топку первого компонента смеси топлив	$t_{тл1}$
То же, второго компонента	$t_{тл2}$
Размер частиц золы	$d_п$
Нагрузка котельного агрегата	$D/D_н$

Таблица 2

Характеристики нетабличного (твердого, жидкого) топлива

Показатели	Обозначение
Содержание влаги	$W^р$
Зольность	$A^р$
Суммарное содержание серы	$S^р$
Содержание углерода	$C^р$
Содержание водорода	$H^р$
Содержание азота	$N^р$
Содержание кислорода	$O^р$
Низшая теплота сгорания	$Q_н^р$
Температура плавления шлака	$t_з^{шл}$
Содержание карбонатов в сланцах	$(CO_2)_к$

Таблица 3

Характеристики нетабличного газообразного топлива

Показатели	Обозначение
Содержание двуокиси углерода	CO_2
Содержание углеводородов	C_mH_n

Продолжение табл. 3

Показатели	Обозначение
Содержание азота	$N^р$
Содержание окиси углерода	CO
Низшая теплота сгорания	$Q_н^с$
Содержание сероводорода	H_2S
Содержание водорода	H_2
Содержание кислорода	O_2

Таблица 4

Данные для составления теплового баланса

Показатели	Обозначение
Коэффициент избытка воздуха на выходе из топки; не должен быть больше 2,0 (по данному алгоритму)	$\alpha_т$
Присос воздуха в топку	$\Delta\alpha_т$
Присос воздуха в системе пылеприготовления (если его следует учесть в балансе)	$\Delta\alpha_{пл}$
Отношение количества воздуха на входе к теоретически необходимому (при подогреве его вне котельного агрегата)	$\beta_{к.а}$
Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах	$\alpha_{ух}$
Температура холодного воздуха (температура присосанного в газоходах воздуха берется в расчете равной $t_{х.в}$)	$t_{х.в}$
Температура, до которой подогрет воздух вне котельного агрегата	$t_{в.внш}$
Температура уходящих газов (предполагаемая)	$\vartheta_{ух}$
Потери тепла от химической неполноты сгорания	q_3
То же, от механической неполноты сгорания	q_4
Номер поверхности, за которой отбираются газы на сушку топлива при разомкнутой схеме пылеприготовления	$N_с$
Тепло, поступающее на сушку топлива с отобранными газами	$r_сI_с$
Наличие жидкого шлакоудаления	—
Доля золы топлива в уносе	$a_{ун}$
Количество насыщенного пара, отданного помимо перегревателя	$D_{н.п}$
Расход воды на продувку	$D_{пр}$

Продолжение табл. 4

Показатели	Обозначение
Отбор тепла на сторону (кроме тепла с $D_{н.п}$)	$Q_{отб}$
Расход пара на дутье и распыливание топлива	$G_ф$
Энтальпия пара, идущего на дутье и распыливание топлива	$i_ф$
Температура питательной воды	$t_{п.в}$
Давление питательной воды	$p_{п.в}$
Производительность котельного агрегата по первичному пару	$D_{пе}$
Температура первичного пара на выходе	$t''_{пе}$
Даление пара в барабане (давление насыщения)	$p_н$
Расход вторичного пара	$D_{вт}$
Температура вторичного пара на входе в котельный агрегат	$t'_{пром\ I}$
То же, на выходе	$t''_{пром\ I}$
Расход третичного пара (II промперегрев)	$D_{пром\ II}$
Температура третичного пара на входе в котельный агрегат	$t'_{пром\ II}$
То же, на выходе	$t''_{пром\ II}$
Давление третичного пара на входе в котельный агрегат	$p'_{пром\ II}$
То же, на выходе	$p''_{пром\ II}$
Вид пламени (светящееся, несветящееся)	—

Таблица 5

Данные для расчета любой поверхности нагрева

Показатели	Обозначение
Присос воздуха в газоходе, отнесенный к полному расходу газов через поверхность	$\Delta\alpha$
Наружный диаметр труб (для газовой стороны ГППТ — наружный диаметр труб, внутри которых течет вторичный пар; для паровой стороны ГППТ и для ППТ — наружный диаметр труб, внутри которых течет первичный пар)	d
Внутренний диаметр труб (для паровой стороны ГППТ и для ППТ — внутренний диаметр труб, внутри которых течет вторичный пар)	$d_{вн}$
Эквивалентный диаметр (если он нужен в расчете при продольном омывании)	$d_э$
Число рядов труб шахматного пучка	$z_{шах}$
Для ширм и поворотной камеры в эту графу записывается эффективная толщина излучающего слоя *	$S_{эф}$
Число рядов труб коридорного пучка	$z_{кор}$
Для РВП — коэффициент типа набивки	A
Сечение для прохода внешней среды при поперечном омывании (величина сечения задается для полного расхода среды)	$F_{поп}$

* Далее для заменяющих показателей слова «в эту графу записывается» опускаются.

Продолжение табл. 5

Показатели	Обозначение
Для поверхностей воздушного тракта — доля общего расхода воздуха, отбираемого из данной поверхности, без последующего возврата в котел	$\Delta\beta$
Сечение для прохода внешней среды при продольном омывании (для поверхностей воздушного тракта — при любом омывании внешней средой)	$F_{пр}$
Сечение для прохода внутренней среды	$f_{вн}$
Рабочая длина продольно-омываемого внешней средой участка	$l_{пр}$
Поперечный шаг труб	s_1
Для РВП — отношение живого сечения для прохода греющей среды к полному сечению РВП	x_1
Продольный шаг труб	s_2
Для РВП — отношение живого сечения для прохода обогреваемой среды к полному сечению РВП	x_2
Для радиационной поверхности нагрева — доля, которую составляет тепловосприятие данной поверхности от $Q_л^т$ (задается при отсутствии позонного расчета топки)	$Q_л^i / Q_л^т$
Поверхность нагрева поперечно-омываемого участка (служит признаком поперечного омывания внешней средой)	$H_{поп}$
Для поверхности воздушного тракта, в которую осуществляется рециркуляция воздуха, — температура воздуха на входе в поверхность после смешения с рециркулирующим воздухом	$t'_в$
Поверхность нагрева продольно-омываемого внешней средой участка (для поверхностей воздушного тракта— при любом омывании внешней средой)	$H_{пр}$
Коэффициент использования; для ширм — 0 (так как определяется в программе); для ширм, расположенных против выходного окна топки — снабдить признаком	ξ
Для ППТ и паровой стороны ГППТ — термическое сопротивление стенки внутренних труб; в остальных случаях — поправочный коэффициент к $\alpha_л$, учитывающий излучение перед пучками или между ними	$l_{об}/l_п$
Поправка к коэффициенту тепловой эффективности; для мазута поправкой следует учесть влияние присадки и наличие очистки; при наличии очистки независимо от величины $\Delta\psi$ снабдить признаком	$\Delta\psi$
Поправка к коэффициенту загрязнения	$\Delta\varepsilon$
Доля, которую составляют газы, проходящие через данную поверхность, от общего расхода газов (для ППТ и паровой стороны ГППТ в эту графу записывается поправочный коэффициент к α_2, учитывающий интенсифицирующее влияние конструкций теплообменника на теплообмен)	$g_г$

Продолжение табл. 5

Показатели	Обозначение
Расход обогреваемого пара (воды) через поверхность (для ППТ, паровой стороны ГППТ и фиктивной паровой поверхности — байпас пара — изменяемый расход снабдить признаком; в случае необходимости подбора расхода пара через байпас $D_{об}=0$).	$D_{об}$
Для поверхности воздушного тракта — доля, которую составляет воздух, проходящий через данную поверхность, от общего расхода воздуха, поступающего в котельный агрегат	$g_в$
Давление обогреваемой среды на выходе из поверхности	$p_{об}$
Для воздухоподогревателя — номер поверхности, из которой в данную идет рециркулирующий воздух	$N_{рц}$
Давление греющей среды на выходе из поверхности	$p_{гр}$
Для впрыскивающего пароохладителя — давление впрыскиваемой среды	$p_{впр}$
Коэффициент рециркуляции газов для данной поверхности	r
Для ППТ и паровой стороны ГППТ — расход греющей среды	$D_{гр}$
Для впрыскивающего пароохладителя — температура впрыскиваемой среды	$t_{впр}$
Отношение величин поверхностей участков с шахматным и коридорным расположением труб при поперечном омывании (заполняется только при смешанном расположении труб)	$\frac{H_{шах}}{H_{кор}}$

Таблица 6

Данные для расчета топки в целом

Показатели	Обозначение
При отборе газов на рециркуляцию из верхней части топки в нижнюю — любое число (не ноль), в противном случае—0	
Доля от общего расхода газов, отбираемая на рециркуляцию в низ топки	$r_н$
То же, в верх топки	$r_в$
Давление газов в топке	p
Среднеарифметическая толщина излучающего слоя для топок с двумя свободными объемами	$S_{эф}^{ср}$
Номер поверхности, за которой происходит отбор слабоподогретого воздуха (если требуется сосчитать топку по температурам горячего и слабоподогретого воздуха, не связанным с расчетом воздухоподогревателя, указать $N_{сл}=1$)	$N_{сл}$
Доля слабоподогретого воздуха, поступающего в топку, от общего расхода воздуха	$\gamma_{сл}$
Относительное положение максимума температур пламени по высоте топки	$x_т$
Объем топочной камеры	$V_т$

Продолжение табл. 6

Показатели	Обозначение
Поверхность стен топки, занятая горелками	$F_{гор}$
Размер сечения, отделяющего ширмовый объем в топке от соседних (во всех плоскостях)	$F_{сеч}$
Плоскость, ограничивающая топку снизу, — под (если покрытие пода не совпадает с покрытием экранов, например, под покрыт шамотным кирпичом, величину $F_{под}$ снабдить признаком)	$F_{под}$

Таблица 7

Данные для расчета топки в целом и ее зон

Показатели	Обозначение
Поверхность стен топки, занятая экранами в свободной части топочного объема (если экраны закрыты, величину $F_{св}$ снабдить признаком)	$F_{св}$
Поверхность стен топки, занятая экранами, примыкающими к ширмам и расположенными параллельно этим ширмам	$F_{п.п}$
То же, для перпендикулярно расположенных к ширмам экранов	$F_{п.с}$
Площадь выходного окна топки (заполняется только для последней зоны)	$F_{ок}$
Угловой коэффициент экранов в свободной части топочного объема	$x_{св}$
То же, для экранов, параллельных ширмам	$x_{п.п}$
То же, для экранов, перпендикулярных ширмам	$x_{п.с}$
Угловой коэффициент ширм	$x_ш$
Число ширм	n
Определяющий поперечный размер ширм	A
Определяющий продольный размер ширм	l
Шаг между ширмами	s

Таблица 8

Данные для позонного расчета топки

Показатели	Обозначение
Сечение топки, ограничивающее снизу 2-ю зону	$F_{с2}$
То же, 3-ю зону	$F_{с3}$
" 4-ю зону	$F_{с4}$
" 5-ю зону	$F_{с5}$
" 6-ю зону	$F_{с6}$
" 7-ю зону	$F_{с7}$
" 8-ю зону	$F_{с8}$
" 9-ю зону	$F_{с9}$
" 10-ю зону	$F_{с10}$
" 11-ю зону	$F_{с11}$
" 12-ю зону	$F_{с12}$

Продолжение табл. 8

Показатели	Обозначение
Суммарная высота открытых экранов	H
Высота 1-й зоны, считая от пода до верхнего сечения зоны	H_1
Высота 2-й зоны, считая от пода до верхнего сечения зоны	H_2

Таблица 9

Данные для распределения тепловосприятия выходного окна топки

Показатели	Обозначение
Номера элементов топочных поверхностей, воспринимающих теплоизлучение в выходном окне	N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6
Коэффициенты, показывающие, какую часть тепловосприятия выходного окна топки получают элементы топочных поверхностей соответственно номерам от N_1 до N_6 (сумма коэффициентов C_{N_9} не должна быть больше 1)	C_{N_1}, C_{N_2}, C_{N_3}, C_{N_4}, C_{N_5}, C_{N_6}
Высота 3-й зоны, считая от пода до верхнего сечения зоны	H_3
То же, 4-й зоны	H_4
" 5-й зоны	H_5
" 6-й зоны	H_6
" 7-й зоны	H_7
" 8-й зоны	H_8
" 9-й зоны	H_9
" 10-й зоны	H_{10}
" 11-й зоны	H_{11}
" 12-й зоны	H_{12}
Степень выгорания топлива в 1-й зоне	$\vartheta_{с.г}$

Продолжение табл. 9

Показатели	Обозначение
Доля выгорания топлива во 2-й зоне	$\Delta\vartheta_2$
То же, в 3-й зоне	$\Delta\vartheta_3$
" в 7-й зоне	$\Delta\vartheta_7$
" в 8-й зоне	$\Delta\vartheta_8$
" в 9-й зоне	$\Delta\vartheta_9$
" в 10-й зоне	$\Delta\vartheta_{10}$
" в 11-й зоне	$\Delta\vartheta_{11}$
" в 12-й зоне	$\Delta\vartheta_{12}$

Таблица 10

Данные для определения тепловосприятия поверхности, расположенной в нескольких зонах топки

Показатели	Обозначение
Коэффициент, показывающий, какую часть поверхности 1-й зоны занимает данный элемент топочной поверхности	a_1
То же, для 2-й зоны	a_2
" для 3-й зоны	a_3
" для 4-й зоны	a_4
" для 5-й зоны	a_5
" для 6-й зоны	a_6
" для 7-й зоны	a_7
" для 8-й зоны	a_8
" для 9-й зоны	a_9
" для 10-й зоны	a_{10}
" для 11-й зоны	a_{11}
" для 12-й зоны	a_{12}

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

1. Условные обозначения 1
2. Описание алгоритма и блок-схем 2
3. Исходная информация 19
4. Общая схема расчета 25
5. Требования к составлению программы и выбору характеристик ЭВМ 27

Приложение. Пример компоновки исходной числовой информации 29

Ответственный за выпуск *В. С. Розанова.*

Редактор *Л. П. Коняева.*

Техн. ред. *Н. П. Белянина.* Корректор *Л. И. Ивликова.*

Сдано в набор 20.01.76. Подписано к печ. 29.04.76. Формат бум. 60×90 1/8.

Объем 5 печ. л. (5 1/2 усл. п. л.). Тираж 600. Заказ 80. Цена 1 р. 10 к.

Редакционно-издательский отдел ЦКТИ им. И. И. Ползунова.
194021, Ленинград, Политехническая ул., д. 24.

ОПЕЧАТКИ

Прежде чем пользоваться РТМ 24.031.08—74, внесите следующие исправления:

В каком месте	Напечатано	Должно быть
Стр. 3, 15-я строка снизу	$+(z_{11}+z_{10}-z_{10}+z_{00})$	$+(z_{11}+z_{01}-z_{10}+z_{00})$
Стр. 26, табл. 15, 2-я графа, 7-я строка	C_v	C_ϑ

РТМ 24.031.08—74 „Алгоритм теплового расчета котельных агрегатов с использованием ЭВМ".

Зак. 616. 1976 г.

gost.e-ecolog.ru