

Министерство нефтяной промышленности
Всесоюзный научно-исследовательский институт по сбору,
подготовке и транспорту нефти и нефтепродуктов
(ВНИИСПТнефть)

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ
М Е Т О Д И К А
РАСЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИИ БЛОЧНЫХ ТРУБЧАТЫХ
ПЕЧЕЙ ТИПА ПТБ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

РД 39-0147103-317-86

Министерство нефтяной промышленности

**Всесоюзный научно-исследовательский институт по сбору,
подготовке и транспорту нефти и нефтепродуктов
(ВНИИСПТнефть)**

УТВЕРЖДЕН

**Первым заместителем министра
нефтяной промышленности**

В.Д.Филановским

14 января 1986 года

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

М Е Т О Д И К А

**РАСЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИИ БЛОЧНЫХ ТРУБЧАТЫХ
ПЕЧЕЙ ТИПА ПТЬ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ**

РД 39-0147103-317-86

Настоящая "Методика расчета и оптимизации блочных трубчатых печей типа ПТБ с помощью ЭВМ" разработана в дополнение к действующим методикам расчета трубчатых печей и предназначена для использования при проектировании новых объектов, а также при эксплуатации и модернизации действующих установок подготовки нефти.

Математическое описание алгоритма и программы охватывает тепловой, гидродинамический, аэродинамический и экономический расчеты печи.

Оптимизация и выбор рационального варианта осуществляется с помощью экономического расчета. За критерий оптимальности приняты годовые приведенные затраты, которые характеризуют режимные и технологические показатели работы печи.

Экономический эффект от внедрения данного руководящего документа только в расчете на действующие объекты составит 0,5 млн. руб./год.

Методика разработана с.н.с. Клименко В.В., с.н.с. Чуриным В.Н., ст.инж.Муравьевой Р.Ф., ст.инж. прогнр.Валекжаниной Л.С.

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИИ БЛОЧНЫХ ТРУБЧАТЫХ ПЕЧЕЙ ТИПА ПТБ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

РД 39-0147103-317-86

Вводится впервые

Срок введения установлен с 01.02.1986 г.

Срок действия до 01.01.1989 г.

Настоящий руководящий документ предназначен для предприятий организаций Министерства нефтяной промышленности с целью оптимизации работы блочных трубчатых печей типа ПТБ как при проектировании новых объектов сбора, подготовки и транспорта нефти, так и при эксплуатации и модернизации действующих объектов.

І. ОСНОВНАЯ ЦЕЛЬ РАЗРАБОТКИ РУКОВОДЯЩЕГО ДОКУМЕНТА

В последние годы потребность в нагревательном оборудовании на промыслах в основном покрывается за счет блочных трубчатых печей типа ПТБ. Указанные печи отличаются от других видов нагревателей блочной конструкцией, использованием циклонной топки с воздухонагревателем, воздуходувкой и камерой, в которой завершается процесс сгорания газообразного топлива. Раскаленные инертные газы - азот и продукты сгорания - с высокой скоростью поступают в теплоизолированную теплообменную камеру, оснащенную четырехрядным змеевиком из оребренных труб. Конструкция печи предусматривает рециркуляцию инертных газов, имеющих относительно невысокую температуру, что обеспечивает надежную и безопасную эксплуа-

тацию печи при высокой удельной тепловой мощности. Серийно выпускаются блочные трубчатые печи ПТБ-Ю/64, ПТБ-Ю/160, ПТБ-6,3. Данные печи обладают хорошими теплотехническими и технологическими характеристиками (удельная тепловая мощность, интенсивность процесса горения и теплообмена, компактность, полная автоматизация и относительно высокий коэффициент полезного действия). Конструкция печи позволяет путем несложной переобвязки осуществлять нагрев сырья по четырех, двух или однопоточной схеме. Это открывает широкие возможности по оптимальному использованию печи в различных конкретных условиях (производительность установки, физико-химические свойства сырья, особенности топливного газа и т.д.).

Однако, как показывает опыт, неправильная эксплуатация печей, несоблюдение технологических требований к режиму их работы приводят к перерасходу топлива и электроэнергии, а также к преждевременному выходу из строя основных дорогостоящих элементов: обгоревания труб змеевика, самого змеевика труб, автоматики, камер сгорания и др.

Это объясняется отсутствием обоснованных рекомендаций и технологических регламентов эксплуатации печей применительно к условиям различных месторождений.

В основу методики расчета и оптимизации работы блочных трубчатых печей типа ПТБ-Ю положены разработанные алгоритмы и программа расчета и оптимизации работы печи, выполняемые на ЭВМ типа ЕС. По выходным параметрам расчета принимаются решения по оптимизации работы печи с учетом предлагаемой методики.

2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИИ БЛОЧНЫХ ТРУБЧАТЫХ ПЕЧЕЙ ТИПА ПТБ

Руководящий документ представляет собой методику, изложенную в виде алгоритма, составленного с помощью алгоритмического языка. Алгоритм (приложение I) создан на основе имеющихся нормативных методических пособий по расчету нефтезаводских печей и нефтепромысловых нагревательных аппаратов.

2.1. Методическое построение алгоритма

За методическую основу построения алгоритма приняты следующие нормативные документы:

Нормативная методика теплового расчета трубчатых печей. РТМ 26-02-40-77, М., ВНИИнефтемаш, 1977.

Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. М., Энергия, 1973.

Методические указания к курсу "Расчеты трубчатых печей" М., ЦНИИТЭнефтехим, 1975.

Аэродинамический расчет котельных установок. Нормативный метод. М., Энергия, 1964.

Методические указания по расчетам теплообмена в нагревателях нефтяных эмульсий. РД 36-I-1073-84. Уфа, ВНИИСПТнефть, 1984.

Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. № 48/16/13/13. М., ЦНИИИТЭИ, 1978.

Математическое обеспечение ЕС-ЭВМ, выпуск I4, Минск. Институт математики АН БССР, 1974.

ЕС ЭВМ ОС Программы обслуживания наборов данных. М., 1981.

Сервисные процедуры ОС ЕС Пермь, НИИУМС, 1980.

Алгоритм разработан на основе системного подхода. Системное построение алгоритма осуществлялось на двух уровнях: структурном

и модульном. В алгоритме выделены общие и специфические модули, которые распределены на иерархические уровни с учетом степени общности расчетов и их взаимосвязи. Обеспечена автономность модулей.

Алгоритм включает в себя следующие основные расчетные модули: тепловой, гидродинамический, аэродинамический и экономический.

Тепловой расчет состоит из II расчетных блок-схем, укрупненных в 4 основные. При этом проводится расчет процесса горения (БС-III) для определения теплофизических свойств дымовых газов. При отсутствии в исходных данных заданного количества топлива, последнее рассчитывается в блок-схеме БС-В.

Расчет процесса горения топлива (БС-III) служит для определения количества расходуемого и сжигаемого воздуха, количества и состава образовавшихся продуктов горения и для определения теплофизических свойств дымовых газов. Эти расчеты выполняются по данным элементарного состава топлива на основе уравнений горения.

В процессе расчета воздухоподогревателя (БС-VI) определяется максимальная температура горения топлива (t_{\max}) и температура стенки камеры сгорания ($t_{ст}$). В случае превышения $t_{ст}$ предельного значения, увеличивается расход воздуха и проводится пересчет температуры стенки камеры сгорания.

Блок-схема расчета тепла, передаваемого в теплообменной камере (БС-9), включает в себя расчет коэффициентов теплоотдачи как со стороны дымовых газов, так и со стороны продуктов нагрева. Для расчета передач тепла конвекцией используется уравнение Ньютона $Q = \alpha \cdot (t_{ст} - t_w) \cdot F$. Коэффициент теплоотдачи при свободной или вынужденной конвекции определяется с помощью критериев подобия Re , Pr , Nu , которые позволяют представить расчетные уравнения в компактной и достаточно общей форме.

При расчете радиантной секции печи необходимо определить количество переданного в радиантной секции тепла Q_A , темпера-

туру уходящих дымовых газов $t_{ух}$. При этом используется метод Н.И.Белокопя, который базируется на совместном решении уравнений теплового баланса и теплопередачи. Количество тепла, переданное трубам радиацией Q_{λ} , определяется законом Стефана-Больцмана, в котором за температуру излучающей поверхности принята температура уходящих газов на перевале, а тепло воспринимается эквивалентной абсолютно черной поверхностью величиной H_s , т.е.

$$Q_{\lambda} = C_s \cdot H_s \cdot \left[\left(\frac{T_p}{100} \right)^4 - \left(\frac{\theta}{100} \right)^4 \right]$$

В основу расчета температур стенок труб теплообменной камеры ($t_{стт}$) положен закон Фурье. При превышении температуры стенок труб предельного значения снижается расход количества топлива и проводится пересчет ($t_{стт}$). Заключается тепловой расчет определением полезного количества тепла, передаваемого в печи.

Гидродинамический расчет печи позволяет рассчитать гидродинамику потока нагреваемого продукта в трубах змеевика. При этом определяются:

- скорость эмульсии в трубах;
- гидродинамический критерий;
- потери напора.

Аэродинамический расчет позволяет определить следующие характеристики теплообменной камеры и дымоходов:

- скорость продуктов сгорания в различных сечениях;
- аэродинамические критерии;
- потери напора.

С помощью экономического расчета определяются:

- капитальные вложения;
- эксплуатационные расходы;
- приведенные затраты.

Нереальность рассчитанного варианта определяется путем сравнения величины падения давления в трубах с максимально развиваемым давлением насоса установленного перед печью.

Выбор оптимального варианта обеспечивается путем сравнения рассчитанных вариантов на основе экономических показателей. За критерий оптимальности приняты годовые приведенные затраты.

На основе разработанного алгоритма составлена программа.

2.2. Описание программы

Программа RASPECH состоит из головной программы и внешних подпрограмм: PG, B, TMAX, AKD, AB, ALKS, AVR, AL2, TR, ALK, ALL, ATR, GP, HTR, HNON, HM, IP.

Перечисленные выше подпрограммы соответствуют соответствующим блок-схемам алгоритма.

Головная программа RASPECH производит ввод переменных исходных данных, которые описаны в таблицах I+4 И.Д. и постоянных величин, описанных в таблицах I+I4 Пр. (см. приложение I). В программе RASPECH для каждого m_k (число ходов по трубам змеевика) производится обращение к перечисленным выше подпрограммам с помощью оператора CALL.

2.3. Технические сведения о программе

Программа написана на алгоритмическом языке PL/I, предназначена для выполнения на ЭВМ ЕС-1022 под управлением версии 6.1 ОС ЕС.

Время трансляции программы - 16 мин.

Время счета возможных вариантов с выбором оптимального - 1 мин.

Для выполнения программы используются следующие устройства:

- устройство ввода с перфокарт (ЕС-6012);

- АЦПУ (ЕС-7032);
- дисплей (РИН-609);
- накопители на магнитных дисках (ЕС-5052).

2.4. Исходная информация

Переменные исходные данные приведены в таблицах I+I4 И.Д. (приложение I), вводятся непосредственно с перфокарт при выполнении программы.

Постоянные исходные данные приведены в таблицах I+I4 Пр. (приложение I). Перед выполнением программы *RASPECH* для удобства ее эксплуатации, данные таблиц I+I4 Пр записаны на магнитный диск в последовательный набор данных *ДАН* программой

Для визуального контроля за правильностью ввода исходной информации, последние выводятся на АЦПУ программой

2.5. Результаты расчета

Руководящий документ позволяет оперативно производить следующие расчеты:

1. Определять наибольшую тепловую мощность печи при реальных параметрах нагреваемой среды, что является важнейшим показателем при проектировании объектов добычи, сбора, подготовки и транспорта нефти.

2. Расход топлива и КПД печи.

3. Температуру стенки трубы в стенке камеры сгорания.

4. Наличие отложений солей на поверхности трубы с целью определения момента остановки печи для ремонта, очистки или замены змеевика.

5. Потери давления продукта в трубах.

6. Температуру дымовых газов в улитке камеры сгорания и уxo-

дымных газов.

7. Годовые приведенные затраты на эксплуатацию печи по трем вариантам - с обвязкой змеевика в один, два или четыре потока.

Применение РД позволит производить поверочные расчеты при проектировании обвязки печей, при корректировании технологических показателей установки и своевременно производить изменение схемы обвязки печи или ее змеевиков, переходить на работу с 1 или 2-мя вентиляторами, своевременно производить ремонт или очистку печей от отложений.

Программа отлажена и апробирована на примере работы печей ПТБ-10 Ижевского НГДУ ПО "Удмуртнефть". Были получены оптимальные значения технологических параметров работы печей. В частности, годовые приведенные затраты при 2-х поточной схеме обвязки печи меньше, чем при 4-х поточной схеме, на 10,1 тыс. руб./год.

Техдокументация по эксплуатации программы имеется в ВЦ ВНИИСПНефть и высылается по запросу пользователей.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Алгоритм расчета и оптимизации
блочных трубчатых печей ПТВ-10

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица I И.Д.

Состав топливного газа

(заполняется одна из строк: либо γ_i , либо q_i)

Доля	Компоненты газообразного топлива											
	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	C_6H_{14}	N_2	CO_2	H_2	O_2	CO	H_2
γ_i												
% об.												
q_i												
% мас.												

Таблица 2 И.Д.

Технологические величины

№	Обозначение	Наименование	Размерность	Принятое значение	Примечание
1	$G_э$	Расход эмульсии	кг/ч		
2	$t_{вх}$	Температура эмульсии на входе в печь	$^{\circ}C$		
3	$t_{вых}$	Температура эмульсии на выходе из печи	$^{\circ}C$		
4	$t_{н}$	Температура окружающего воздуха	$^{\circ}C$		
5	$O_э$	Обводненность эмульсии	доли ед.		
6	δt	Изменение температуры уходящих дымовых газов	$^{\circ}C$		

Таблица 3 И.Д.

Теплофизические свойства нагреваемой среды

№ п/п	Обозначение	Наименование	Размерность	Принимаемое значение	Примечание
1.	ρ_b	плотность пластовой воды	кг/м ³		
2.	ρ_n	плотность нефти	-"-		
3.	C_{pb}	теплоемкость пластовой воды	$\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{гр}}$		
4.	C_{pn}	теплоемкость нефти	-"-		
5.	λ_b	теплопроводность пластовой воды	$\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{гр}}$		
6.	λ_n	теплопроводность нефти	-"-		
7.	ν_3	вязкость кинематическая эмульсии	м ² /с		
8.	ρ_n^{20}	плотность нефти при $t = 20^\circ \text{C}$	кг/м ³		
9.	t_1	температура	°C		
10.	t_2	температура	°C		
11.	ν_1	вязкость нефти при t_1	сст		
12.	ν_2	вязкость нефти при t_2	сст		
13.	d_n^{15}	относит. плотность нефти при 15°C	-		

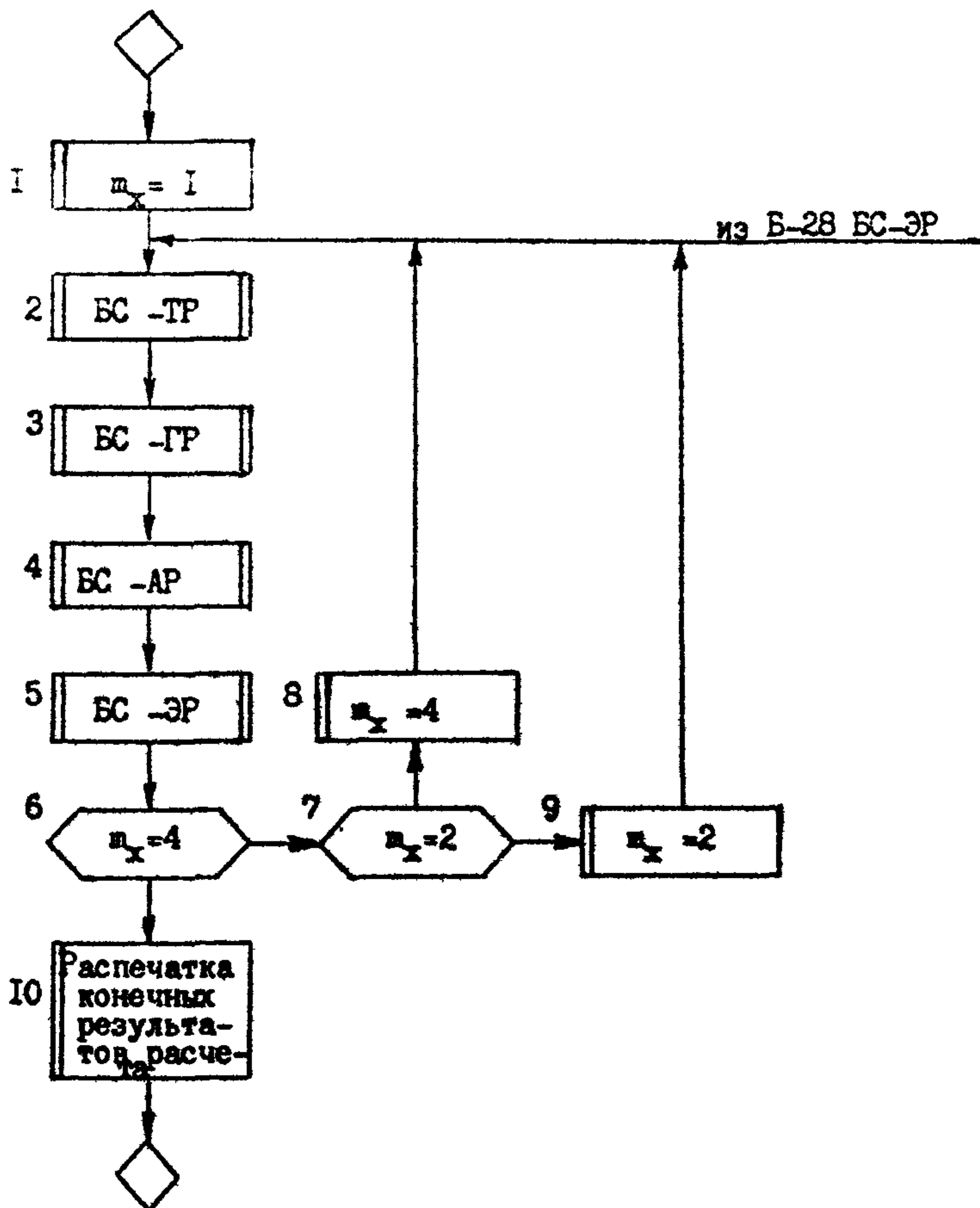
ПРОЧИЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 4 И.Д.

№ п/п	Обозначение	Наименование	Размерность	Принимаемое значение	Примечание
1.	Δ	Абсолютная шероховатость теплообменных труб	м		
2.	φ	Относительная влажность воздуха	-		
3.	T	Фактическое время работы печи в году	час		
4.	P	Максимально развиваемое давление насоса	кг/м ²		
5.	P ₀	Давление после печи	- "		
6.	n _н	Количество нагнетательных насосов перед печью	шт.		
7.	n _{эл}	Количество электродвигателей (компрессоров)	шт.		
8.	K _{эл}	Коэффициент использования компрессоров в году	-		
9.	P _{от}	Признак склонности пластовых вод к отложению солей на поверхностях нагрева Принимаемые значения: несклонные - 0 склонные - I	-		
10.	$\delta_{от}$	Толщина отложений на поверхностях нагрева	м		
11.	$\lambda_{от}$	Коэффициент теплопроводности отложений	$\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{гр}}$		
12.	B	Количество газообразного топлива	кг/ч		Величина B задается только в случае ограниченности газообразного топлива.

БС- ПП

Расчет печи



Приложение к БС-РП

Б-1. Принять: число потоков змеевика:

$$m_x = 1$$

Б-2. Обращение к БС-ТР (тепловой расчет)

Б-3. Обращение к БС-ГР (гидравлический расчет)

Б-4. Обращение к БС-АР (аэродинамический расчет)

Б-5. Обращение к БС-ЭР (экономический расчет)

Б-6. Проверка: $m_x = 4$,

где m_x из Б-1 или Б-8,9

Б-7. Проверка: $m_x = 2$,

где m_x из Б-1 или из Б-8,9

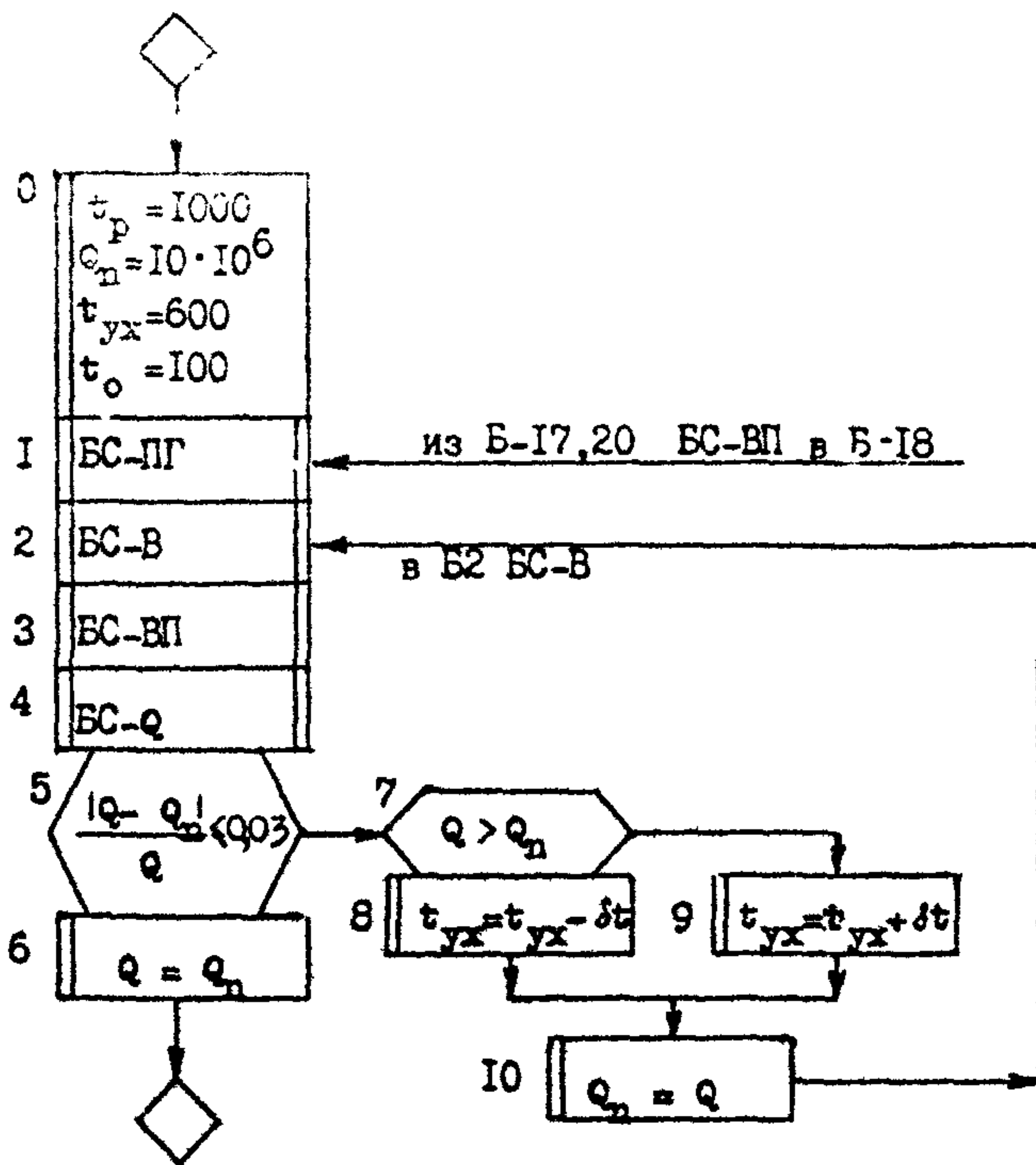
Б-8. Принять: $m_x = 4$

Б-9. Принять: $m_x = 2$

Б-10. Распечатка результатов расчета. Результаты должны быть выданы при $m_x = 1, 2, 4$.

БС - ТР

Тепловой расчет печи



Приложение к ЕС-ТР

Б-0 Принять $t_0 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$
 $t_{yx} = 600 \text{ }^\circ\text{C}$
 $t_p = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$

Б-1 Обращение к ЕС-ПГ

Б-2 Обращение к ЕС-В

Б-3 Обращение к ЕС-ВП

Б-4 Обращение к ЕС- Q

Б-5 Проверка $\frac{|Q - Q_n|}{Q} \leq 0,03,$

где Q из Б-5 ЕС- Q

Q_n из Б-0 или Б-10

Б-6 Принять $Q = Q_n$

Б-7 Проверка $Q > Q_n$

Б-8 Принять $t_{yx} = t_{yx} - \delta t,$

где t_{yx} из Б-0 или Б-8,9

δt из ТЗИД

Б-9 Принять $t_{yx} = t_{yx} + \delta t,$

где t_{yx} из Б-0 или Б-8,9

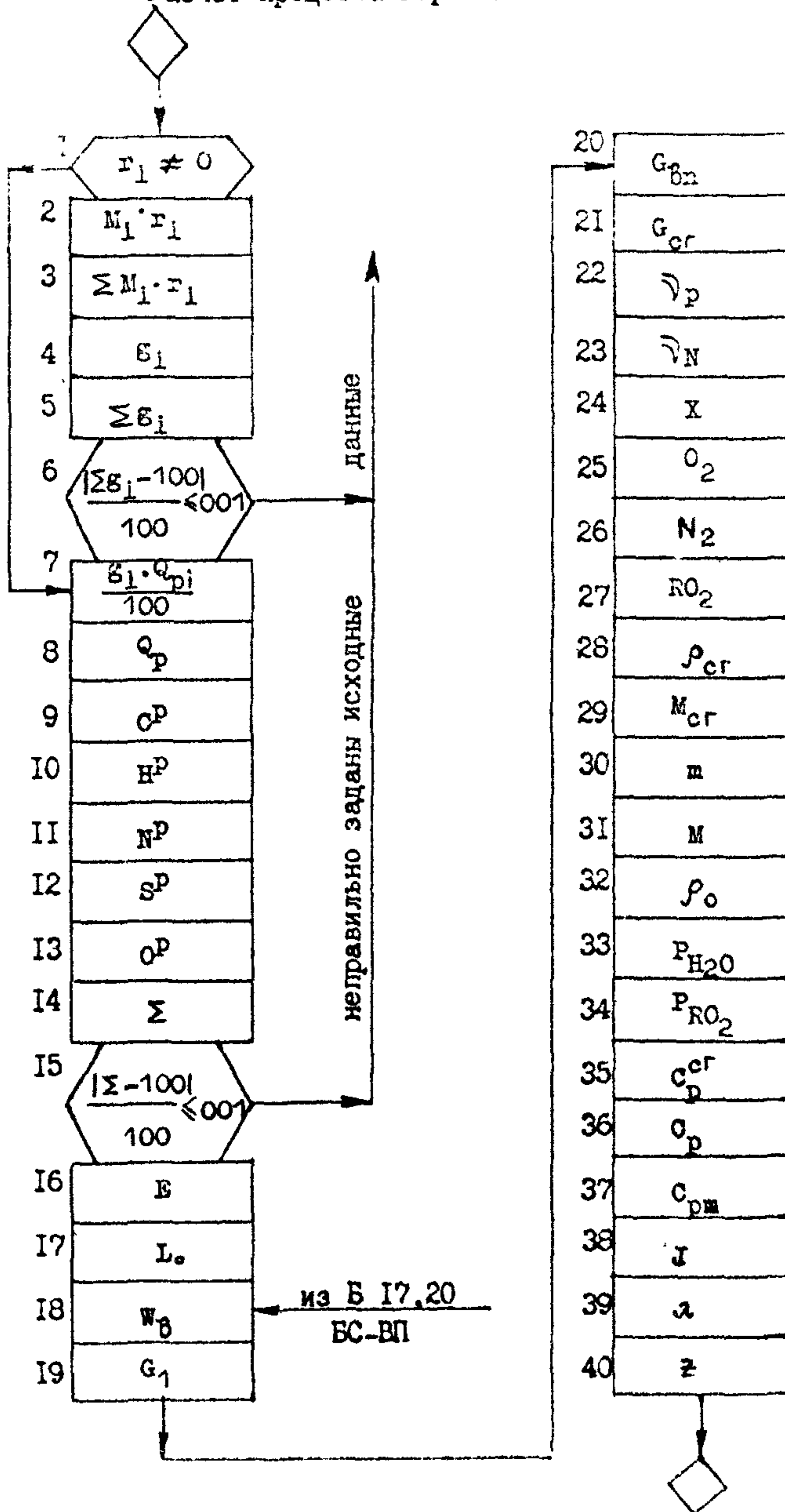
δt из ТЗИД

Б-10 Принять $Q_n = Q,$

где Q из Б-5 ЕС- Q

БС-ПГ

Расчет процесса горения



Приложение к БС-ПГ

Б-1. Проверка $\gamma_i \neq 0$ (состав топлива задан в весовых или объемных единицах),

где γ_i из Т1 И.Д.

Б-2 Произведение молекулярного веса отдельных газообразных компонентов на их объемное содержание

$$M_i \cdot \gamma_i,$$

где M_i из Т1 Пр

γ_i из Т1 И.Д.

Б-3 Сумма $\sum M_i \cdot \gamma_i$, где $M_i \cdot \gamma_i$ из Б-2.

Б-4 Массовое содержание отдельных газообразных компонентов:

$$g_i = \frac{M_i \cdot \gamma_i}{\sum M_i \cdot \gamma_i} \cdot 100,$$

где $M_i \cdot \gamma_i$ из Б-2

$\sum M_i \cdot \gamma_i$ из Б-3

Б-5 Сумма $\sum g_i$, где g_i из Б-4

Б-6 Проверка $\frac{|\sum g_i - 100|}{100} \leq 0,01$,

где $\sum g_i$ из Б-5

Б-7 Произведение $\frac{g_i \cdot Q_{p_i}^H}{100}$,

где g_i из Б-4

$Q_{p_i}^H$ из Т1 Пр

Б-8 Низшая теплотворная способность топлива

$$Q_p^H = \sum \frac{g_i \cdot Q_{p_i}^H}{100},$$

где g_i из Б-4,

$Q_{p_i}^H$ из Т1 Пр.

Б-9 Рабочее количество углерода в топливе

$$C_p = 12,01 \sum \frac{g_i \cdot m_i}{M_i},$$

где g_i из Б-4 или Т1 И.Д.

m_i из Т1 Пр

M_i из Т1 Пр.

Б-10 Рабочее количество водорода в топливе,

$$H^P = 1,008 \sum \frac{g_i \cdot n_i}{M_i},$$

где n_i из Т1 Пр.

Б-11 Рабочее количество азота в топливе,

$$N^P = 14,01 \sum \frac{g_i \cdot s_i}{M_i},$$

где s_i из Т1 Пр.

Б-12 Рабочее количество серы в топливе,

$$S_A^P = 32,06 \sum \frac{g_i \cdot p_i}{M_i},$$

где p_i из Т1 Пр.

Б-13 Рабочее количество кислорода в топливе,

$$O^P = 16,00 \sum \frac{g_i \cdot q_i}{M_i},$$

где q_i из Т1 Пр.

Б-14 Сумма рабочих количеств компонентов в топливе,

$$\Sigma = C^P + H^P + N^P + S_A^P + O^P,$$

где $C^P, H^P, N^P, S_A^P, O^P$ из Б-9-13

Б-15 Проверка $\frac{|\Sigma - 100|}{100} \leq 0,01,$

где Σ из Б-14.

Б-16 Характеристика элементарного состава рабочего топлива:

$$E = 2,98 \frac{H^P - 0,126 \cdot O^P}{C^P + 0,375 \cdot S_A^P},$$

C^P, H^P, S_A^P, O^P из Б-9,10,12,13.

Б-17 Расход воздуха на 1 кг топлива,

$$L_o = 0,1154 (1+E) \cdot (C^P + 0,375 \cdot S_A^P),$$

где E из Б-16

C^P из Б-9

S_A^P из Б-12

Б-18. Содержание водяных паров в атмосфере воздуха:

$$w_g = \varphi \cdot \delta_s \cdot \mathcal{L} \cdot L_o ,$$

где φ - относит. влажность воздуха из Т4 И.Д.

δ_s -из Т6 Пр при t_n из Т2 И.Д.

\mathcal{L} -из Т7 Пр или из Б-17,20 БС-ВП.

L_o - Б-17.

Б-19. Количество газообразных продуктов сгорания:

$$G_1 = 1 + \mathcal{L} \cdot L_o + w_g ,$$

где \mathcal{L} из Т7 Пр или Б-17,20 БС-ВП.

L_o из Б-17

w_g из Б-18.

Б-20. Содержание ^{водяных} паров в продуктах сгорания:

$$G_{H_2O} = \frac{8,94 \cdot N^P + w^P}{100} + w_g ,$$

где N^P из Б-10

w^P из Т7 Пр.

w_g из Б-18.

Б-21. Количество сухих газов

$$G_{сг} = G_1 - G_{H_2O} ,$$

где G_1 из Б-19

G_{H_2O} из Б-20

Б-22. Характеристика рабочей массы топлива:

$$\gamma^P = \frac{G_{сг} - \mathcal{L} L_o}{L_o} ,$$

где $G_{сг}$ из Б-21

\mathcal{L} из Т7 Пр или из Б-17,20 БС-ВП

L_o из Б-17.

Б-23. Характеристика содержания азота в топливе:

$$\gamma^N = \frac{0,013 \cdot N^P}{L_o} ,$$

где N^P из Б-11

L_o из Б-17.

Б-24. Относительное изменение мольного состава сухих газов продуктов сгорания:

$$x = \frac{0,209E}{I + E} - 0,791 \cdot \gamma^N,$$

где E из Б-16

γ^N из Б-23

Б-25. Содержание кислорода в продуктах сгорания,

$$O_2 = 20,9 \frac{\alpha - 1}{\alpha - x},$$

где α из Т7 Пр или Б-17,20 БС-ВП

x из Б-24.

Б-26. Содержание азота в продуктах сгорания

$$N_2 = 79,1 \frac{\alpha - \gamma^N}{\alpha - x},$$

где α из Т7 Пр или Б-17,20 БС-ВП

γ^N из Б-23

x из Б-24.

Б-27. Содержание трехатомных газов в продуктах сгорания:

$$RO_2 = \frac{20,9}{(\alpha - x)(I + E)},$$

где α из Т7 Пр или Б-17,20 БС-ВП

x из Б-24

E из Б-16.

Б-28. Плотность сухих газов:

$$\rho_{сг} = 1,293 \frac{\alpha + \gamma^P}{\alpha - x},$$

где α из Т7 Пр или Б-17,20 БС-ВП

γ^P из Б-22

x из Б-24.

Б-29. Молекулярный вес сухих газов:

$$M_{сг} = 28,96 \frac{\alpha + \gamma^P}{\alpha + x},$$

где α из Т7 Пр или Б-17,20 БС-ВП.

Б-30. Величина m :

$$m = \frac{M_{сг}}{M_{вп}} - 1, \quad \text{где } M_{сг} \text{ из Б-29} \\ M_{вп} = 18.$$

Б-31. Молекулярный вес продуктов сгорания:

$$M = \frac{M_{сг}}{1 + m \frac{G_{вп}}{G_1}}, \quad \text{где } M_{сг} \text{ из Б-29} \\ m \text{ из Б-30} \\ G_{вп} \text{ из Б-20} \\ G_1 \text{ из Б-19}$$

Б-32. Плотность газообразных продуктов сгорания:

$$\rho_s = \frac{M}{22,4207}, \quad \text{где } M \text{ из Б-31}$$

Б-33. Парциальное давление водяных паров,

$$P_{H_2O} = \frac{M}{M_{вп}} \cdot \frac{G_{вп}}{G_1} \cdot P_0, \\ \text{где } M \text{ из Б-31} \\ M_{вп} = 18 \\ G_{вп} \text{ из Б-20} \\ G_1 \text{ из Б-19} \\ P_0 \text{ из Т7 Пр}$$

Б-34. Парциальное давление трех-атомных сухих газов:

$$P_{RO_2} = (P_0 - P_{H_2O}) \frac{RO_2}{100} \cdot P_0,$$

где P_0 из Т7 Пр
 P_{H_2O} из Б-33
 RO_2 из Б-27

Б-35. Теплоемкость сухих газов,

$$C_p^{сг} = C_p^b + \frac{\Delta C_p^{сг} \cdot 10^{-4}}{\alpha + \beta P},$$

где C_p^b из Т2 Пр
 $\Delta C_p^{сг}$ из Т3 Пр
 α из Т7 Пр или Б-17,20 БС-ВП
 β из Б-22

Б-36. Истинная теплоемкость продуктов сгорания:

$$\text{где } C_p^{сг} \text{ из Б-35} \\ C_p = C_p^{сг} + \frac{G_{вп}}{G_1} (C_p^{вп} - C_p^{сг}), \\ G_{вп} \text{ из Б-20} \\ G_1 \text{ из Б-19} \\ G_p^{вп} \text{ из Т2 Пр.}$$

Б-37. Средняя теплоемкость газообразных продуктов сгорания,

$$C_{pm}(t) = C_p f\left(\frac{t}{2}\right),$$

где C_p из Б-36.

Б-38. Энтальпия продуктов сгорания

I кг топлива,

$$J = G_1 \cdot C_{pm} \cdot t,$$

где G_1 из Б-19

C_{pm} из Б-37.

Б-39. Теплопроводность продуктов сгорания,

$$\lambda = \lambda_r \cdot \xi_a \cdot 10^{-4},$$

где λ_r из ТЗ Пр

ξ_a из Т8 Пр

Б-40. Абсолютная вязкость продуктов сгорания,

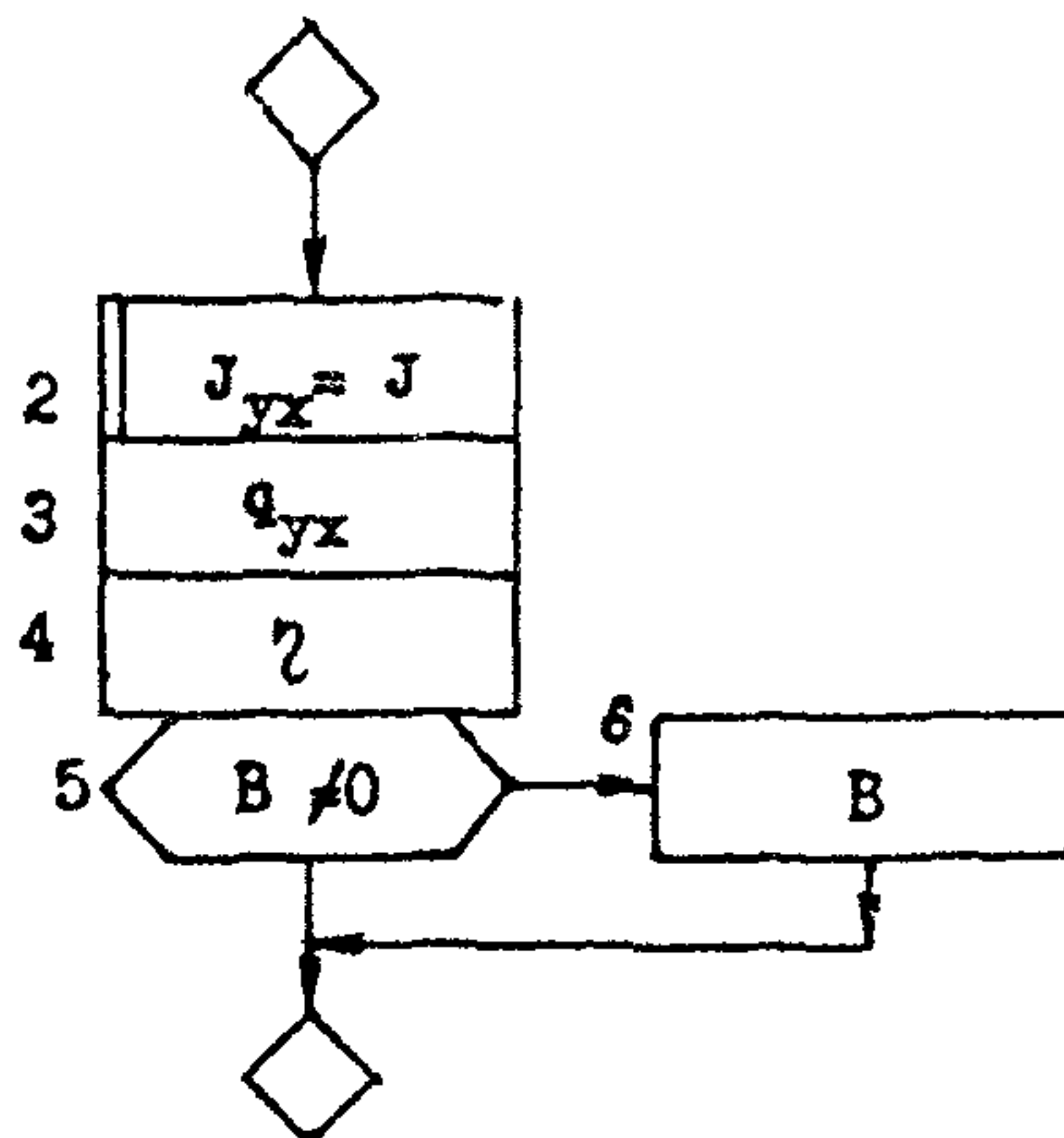
$$z = z_r \cdot \xi_z \cdot 10^{-6},$$

где z_r из ТЗ Пр

ξ_z из Т9 Пр

БС -В

Расчет количества топлива



БС-В

Расчет количества топлива

Б-2 Энтальпия дымовых газов при t_{yx} $J_{yx} = J_0$

где J из 6-38 БС-ПГ при

t_{yx} из Б-0 БС-ТР или Т-8,9 БС-ТР

Б-3 Потери тепла с уходящими дымовыми газами

$$q_{yx} = \frac{J_{yx}}{Q_p^H}$$

где J_{yx} из Б-2

Q_p^H из Б-8 БС-ПГ

Б-4 Коэффициент полезного действия печи

$$\eta = 1 - q_{yx} - q_{пот}$$

где q_{yx} из Б-3

$q_{пот}$ из Т7 Пр

Б-5 Проверка: $V \neq 0$,

где V из Т4 И.Д.

Б-6. Расход топлива

$$B = \frac{Q_n}{\eta \cdot Q_p^H}$$

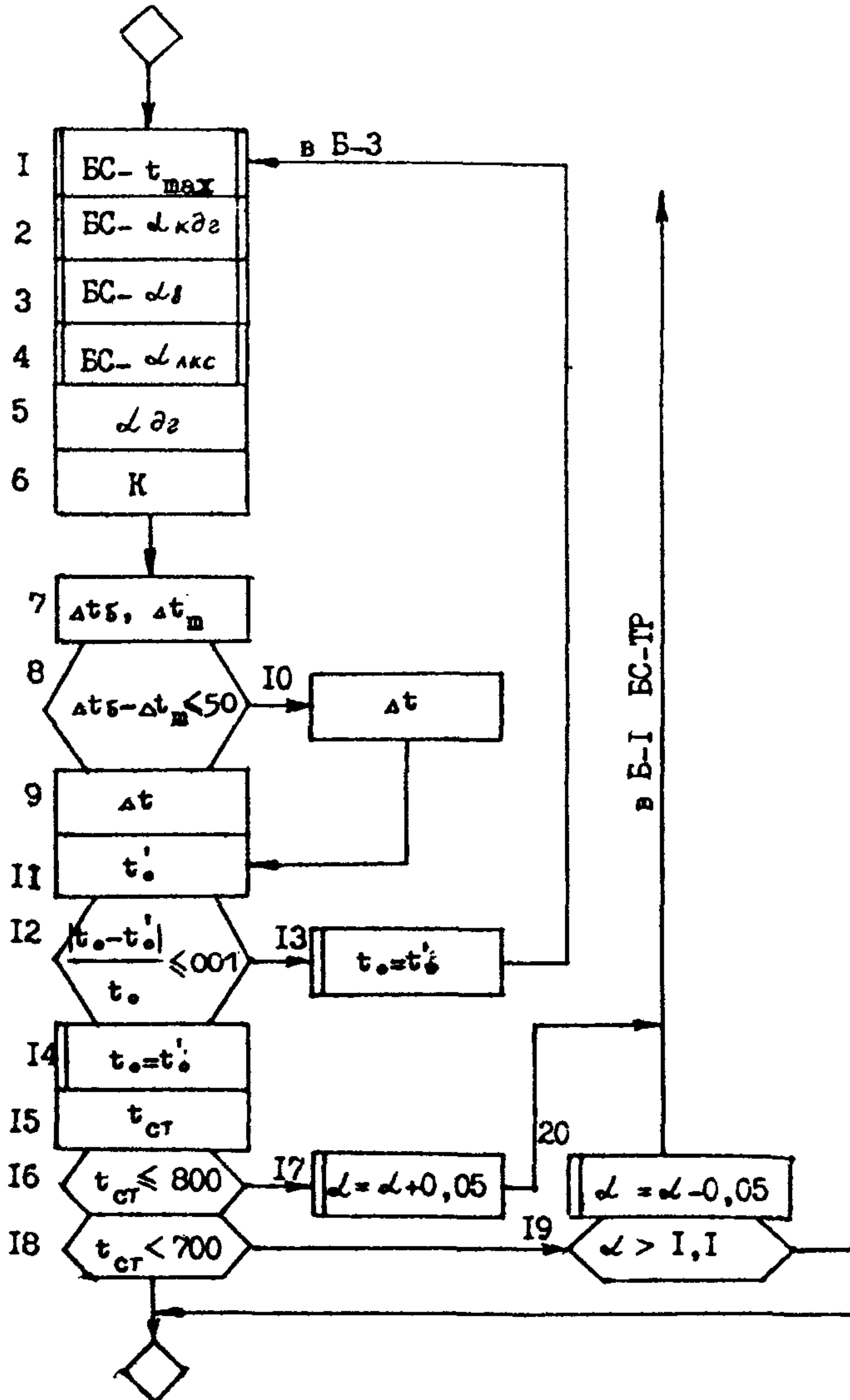
где Q_n из Т7 Пр

η из Б-4

Q_p^H из Б-8 БС-ПГ.

БС-ВП

Расчет воздухоподогревателя



Приложение к БС-ВП

Расчет воздухоподогревателя

Б-1 Обращение к БС- t_{max} Б-2 Обращение к БС- $\alpha_{кгг}$ Б-3 Обращение к БС- $\alpha_{лкс}$ Б-4 Обращение к БС- $\alpha_{гг}$

Б-5 Коэффициент теплоотдачи со стороны дымовых газов

$$\alpha_{гг} = \alpha_{кгг} + \alpha_{лкс},$$

где $\alpha_{кгг}$ из Б-6, БС- $\alpha_{кгг}$ $\alpha_{лкс}$ из Б-10 БС- $\alpha_{лкс}$

Б-6 Коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{I}{\frac{1}{\alpha_{гг}} + \frac{1}{\alpha_{гс}} + \frac{\delta_{кк}}{\lambda_{ст}}},$$

где $\alpha_{гг}$ из Б-4 $\alpha_{гс}$ из Б-9 БС- $\alpha_{гс}$ $\delta_{кк}$ из Т5 Пр $\lambda_{ст}$ из Т7 ПрБ-7 Принять $\Delta t_{гс} = t_{max} - t_{н}$

$$\Delta t_{гс} = t'_{max} - t_{о}$$

где t_{max} из Б-10 БС- t_{max} t'_{max} из Б-11 БС- t_{max} $t_{н}$ из Т2 И.Д. $t_{о}$ из Б-2 БС- t_{max} или Б-13,14.Б-8 Проверка $\Delta t_{гс} - \Delta t_{гс} \leq 50,$ где $\Delta t_{гс}, \Delta t_{гс}$ из Б-7.

Б-9 Среднеарифметический температурный напор:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_{гс} + \Delta t_{гс}}{2},$$

где $\Delta t_{гс}, \Delta t_{гс}$ из Б-7.

Б-10 Среднелогарифмический температурный напор:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_s - \Delta t_m}{2,3 \lg \frac{\Delta t_s}{\Delta t_m}},$$

где $\Delta t_s, \Delta t_m$ из Б-7

Б-11. Уточненная температура воздуха на горение,

$$t'_0 = \frac{4 \kappa F \Delta t}{B \alpha L_0 C_p} + t_n,$$

где κ из Б-6; F из Т5 Пр

Δt из Б-9,10

B из Б-5 БС-В

α из Т7 Пр или из Б-17,20

C_p из Т2 Пр при t_{cp}^b из Б-3 БС- t_{max}

Б-12. Проверка $\frac{|t_0 - t'_0|}{t_0} < 0,01,$

где t_0 из Б-2 БС- t_{max} или Б-13,14

Б-13,14. Принять $t_0 = t'_0,$

где t'_0 из Б-11.

Б-15. Температура стенки камеры сгорания:

$$t_{ст} = t_{сркс} - \frac{\kappa (t_{сркс} - t_{cp}^b)}{\alpha_{gr}}$$

где $t_{сркс}$ из Б-3 БС- $\alpha_{кгг}$

κ из Б-6

t_{cp}^b из Б-3 БС- t_{max}

α_{gr} из Б-5

Б-16. Проверка $t_{ст} < 800,$

где $t_{ст}$ из Б-15.

Б-17. Принять $\alpha = \alpha + 0,05,$

где α из Т7 Пр или Б-17,20

Б-18. Проверка $t_{ст} < 700$

где $t_{ст}$ из Б-15.

Б-19. Проверка $\alpha > 1,1$

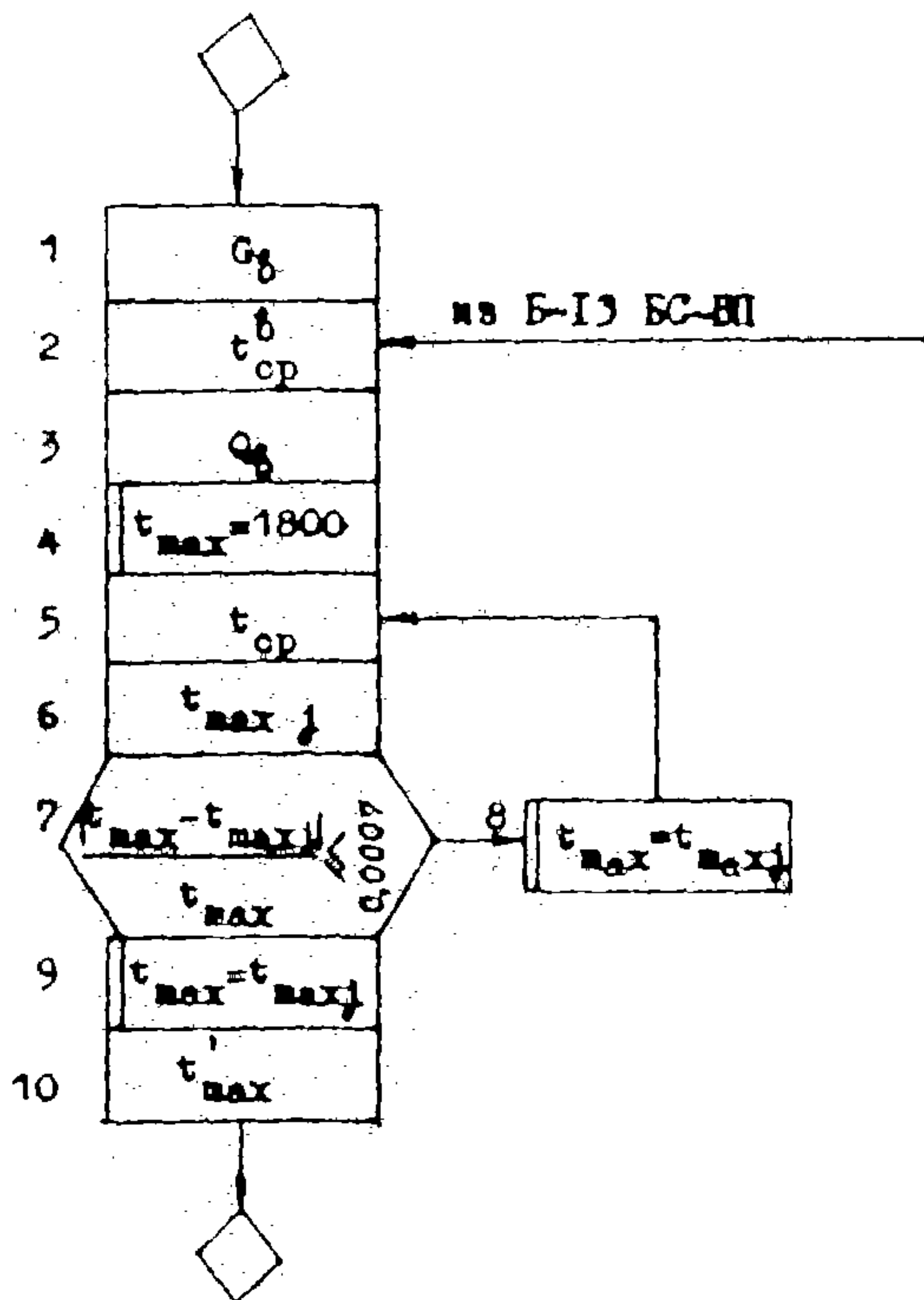
где α из Т7 Пр или из Б-17,20.

Б-20. Принять $\alpha = \alpha - 0,05$

где α из Т7 Пр или из Б-17,20.

БС - t_{\max}

Расчет максимальной температуры горения
топлива



Приложение к БС- t_{max}

Б-1. Расход воздуха на горение: $G_B = \alpha \cdot L_0 \cdot B$,

где α из Т7 Пр или из Б-17,20, БС-ВН.

L_0 из Б-17 БС-П

B из Б-5 БС-З.

Б-3. Средняя температура воздуха:

$$t_{cp}^b = \frac{t_n + t_0}{2},$$

где t_n из Т2 И Д.

t_0 из Б-0 БС-ТР или из Б-13,14, БС-ВН.

Б-4. Количество тепла, полученного воздухом:

$$Q_B = 1,02 B \alpha L_0 C_{pн}^b (t_0 - t_n),$$

где B из Б-5 БС-В

α из Т7 Пр или из Б-17,20, БС-ВН

L_0 из Б-17 БС-П

$C_{pн}^b$ из Т2 Пр при t_{cp}^b из Б-3

t_0 из Б-0 БС-ТР или Б-13,14, БС-ВН

Б-5. Принять $t_{max} = 1800$ °С.

Б-6. Средняя температура горения топлива:

$$t_{cp} = \frac{t_0 + t_{max}}{2},$$

где t_0 из Б-0 БС-ТР или из Б-13,14 БС-ВН.

t_{max} из Б-5 или Б-9

Б-7. Максимальная температура горения:

$$t_{max} = t_0 + \frac{\eta_T Q_B^0}{G_0 \cdot C_{pн}}$$

где t_0 из Б-0 БС-ТР или Б-13,14, БС-ВН.

η_T из Т7 Пр.

Q_B^0 из Б-8 БС-П

G_0 из Б-19 БС-П

$C_{pн}$ из Б-37 БС-П при t_{cp} из Б-6.

Б-8. Проверка $\frac{|t_{\max} - t_{\max j}|}{t_{\max}} \leq 0,0007;$

где t_{\max} из Б-5 или Б-9

$t_{\max j}$ из Б-7

Б-9,10. Принять $t_{\max} = t_{\max j}$.

где $t_{\max j}$ из Б-7.

Б-II. Уточненная максимальная температура горения:

$$t'_{\max} = t_{\max} - \frac{Q_1}{\beta G_1 C_{p1}}$$

где t_{\max} из Б-10

Q_1 из Б-4

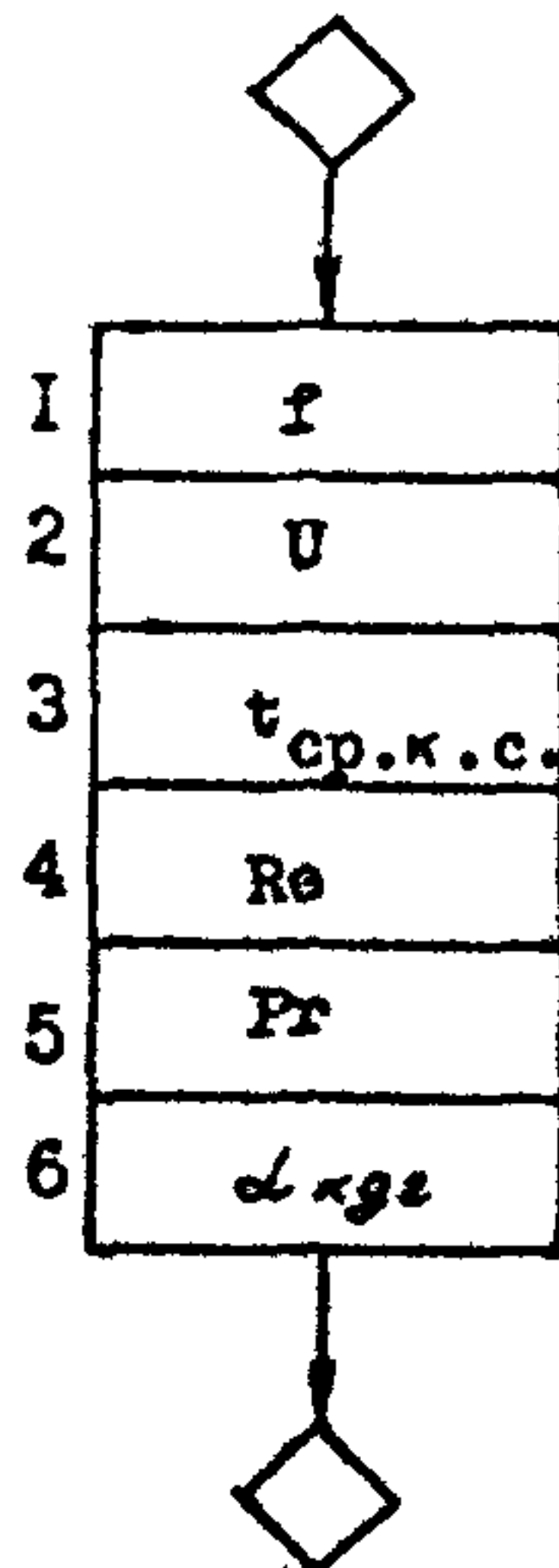
β из Б-5 ВС-В

G_1 из Б-19 ЕС-II

C_{p1} из Б-37 ЕС-II при t_{op} из Б-6.

БС - д.к.г.г.

Расчет коэффициента теплоотдачи конвекцией
со стороны дымовых газов в камере сгорания



Приложение к БС- д к д г

Б-1. Живое сечение камеры сгорания:

$$f = \frac{\pi \mathcal{D}_s^2}{4},$$

где \mathcal{D}_s из Т5 Пр.

Б-2. Весовая скорость продуктов сгорания:

$$u = \frac{B G_1}{3600 \cdot f \cdot \rho_k},$$

где B из Б-5 БС-В

G_1 из Б-19 БС-ПГ

f из Б-1

ρ_k из Т5 Пр.

Б-3. Средняя температура продуктов сгорания в камере сгорания:

$$t_{cp\ k\ c} = \frac{t_{max} + t'_{max}}{2},$$

где t_{max} из Б-10 БС- t_{max}

t'_{max} из Б-11 -"

Б-4 Число Рейнольдса

$$Re = \frac{u \cdot \mathcal{D}_s}{z},$$

где u из Б-2

\mathcal{D}_s из Т5 Пр.

z из Б-40 при $t_{cp\ k\ c}$ из Б-3.

Б-5. Число Прандтля

$$Pr = \frac{3600 \cdot c_{pm} \cdot z}{\lambda},$$

где c_{pm} из Б-37

z из Б-40

БС-ПГ при $t_{cp\ k\ c}$ из Б-3

λ из Б-39

Б-6. Коэффициент теплоотдачи конвекцией в камере сгорания:

$$\alpha_{kg\ r} = 0,021 \frac{\lambda}{d_s} \cdot c_p \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43},$$

где λ из Б-39 БС-ПГ при $t_{cp\ k\ c}$ из Б-3

$d_s = \mathcal{D}_s$ из Т5 Пр

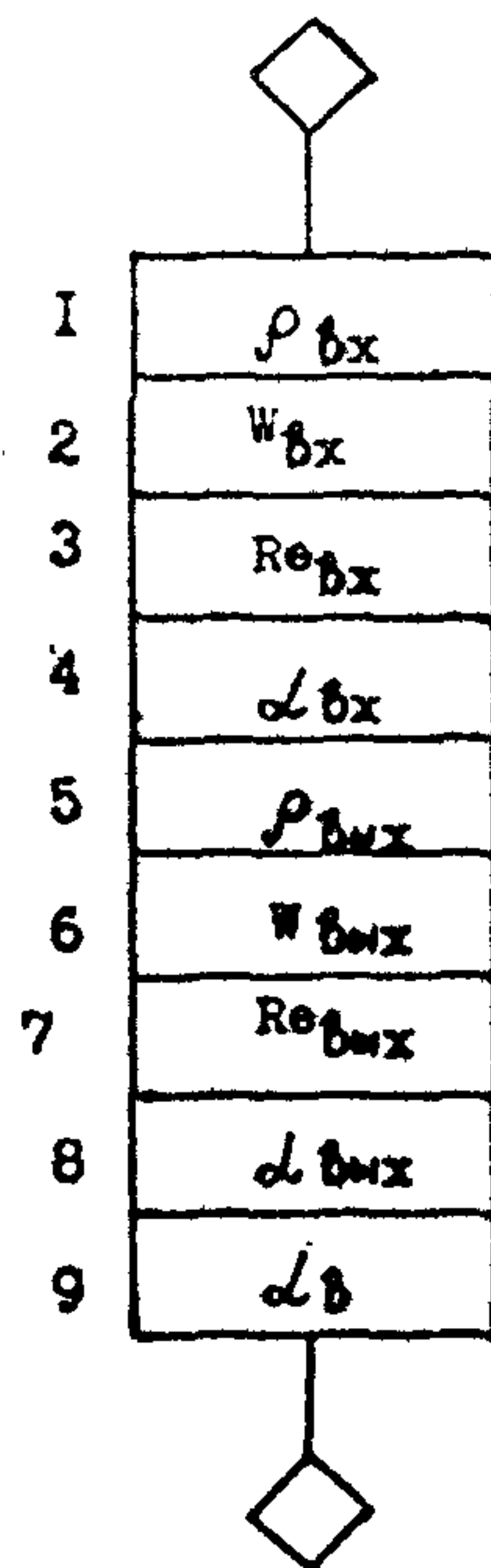
c_p из Т7 Пр

Re из Б-4

Pr из Б-5

БС - 20

Расчет коэффициента теплоотдачи
со стороны воздуха



Приложение к БС- 28

Б-1. Плотность воздуха при t_n :

$$\rho_{bx} = 1,293 \frac{273}{273 + t_n},$$

где t_n из Т2 И.Д.

Б-2. Скорость воздуха во входном сечении:

$$w_{bx} = \frac{G_1}{3600 \rho_{bx} f_{bx} \eta_k},$$

где G_1 из Б-1 БС- t_{max}

ρ_{bx} из Б-1

f_{bx} из Т5 Пр.

η_k из Т5 Пр.

Б-3. Число Рейнольдса во входном сечении

$$Re_{bx} = \frac{w_{bx} d_{zbx}}{\nu_b},$$

где w_{bx} из Б-2

d_{zbx} из Т5 Пр.

ν_b из Т2 Пр при t_n из Т2 И.Д.

Б-4. Коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха во входном сечении:

$$\alpha_{bx} = 0,023 \cdot Re_{bx}^{0,82} \frac{\lambda_b}{d_{zbx}},$$

где Re_{bx} из Б-3

λ_b из Т2 Пр при t_n из Т2 И.Д.

d_{zbx} из Т5 Пр.

Б-5. Плотность воздуха при t_0 :

$$\rho_{b0} = 1,293 \frac{273}{273 + t_0},$$

где t_0 из Б-0 БС- ТР или из Б-13,14 БС-ВЛ.

Б-6. Скорость воздуха в выходном сечении:

$$w_{b0} = \frac{G_1}{3600 \rho_{b0} f_{b0} \eta_k},$$

где G_1 из Б-1 БС- t_{max} f_{b0} из Т5 Пр

ρ_{b0} из Б-5

η_k из Т5 Пр.

Б-7. Число Рейнольдса в выходном сечении:

$$Re_{вых} = \frac{w_{вых} \cdot d_{звых}}{\nu_{\delta}}$$

где $w_{вых}$ из Б-6

$d_{звых}$ из Т5 Пр

ν_{δ} из Т2 Пр при t_0 из Б-0 БС-ТР или Б-13, 14, БС-ВН

Б-8. Коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха в выходном сечении:

$$\alpha_{вых} = 0,023 \cdot Re_{вых}^{0,81} \frac{\lambda_{\delta}}{d_{звых}}$$

$Re_{вых}$ из Б-7

λ_{δ} из Т2 Пр при t_0 из Б-0 БС-ТР Б-13, 14, БС-ВН

$d_{звых}$ из Т5 Пр.

Б-9. Коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха:

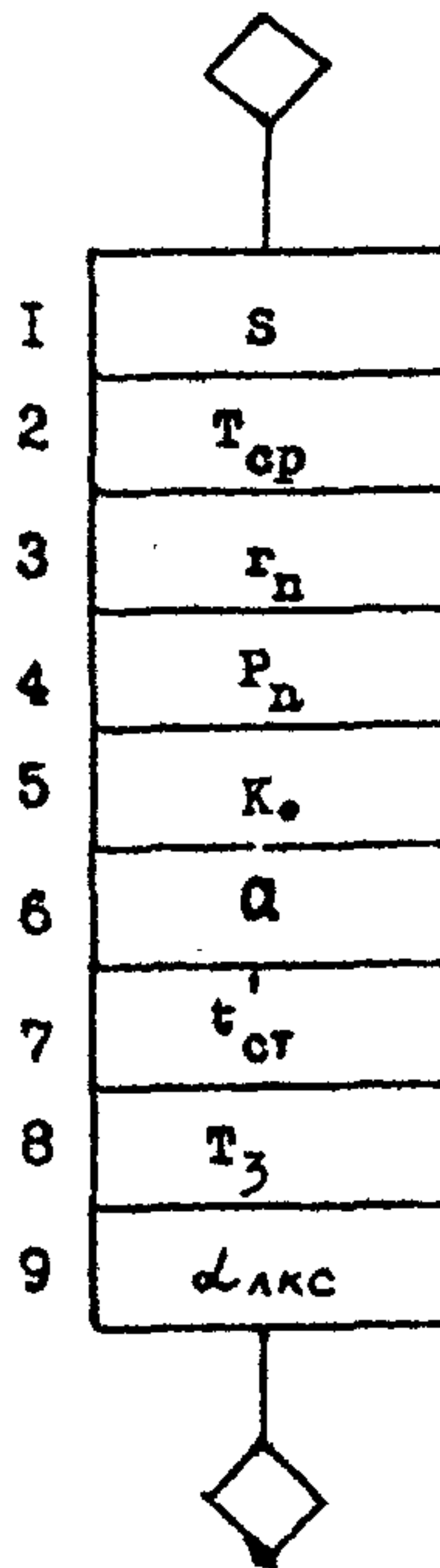
$$\alpha_{\delta} = \frac{\alpha_{вх} - \alpha_{вых}}{2,3 \lg \frac{\alpha_{вх}}{\alpha_{вых}}}$$

где $\alpha_{вх}$ из Б-4

$\alpha_{вых}$ из Б-8.

БС - ЛКС

Расчет лучистого теплообмена в камере сгорания



Приложение к БС-ЛКС

Б-1. Эквивалентная толщина излучающего слоя:

$$S_{\text{эк}} = 3,6 \frac{V_{\text{КС}}}{F_{\text{КС}}},$$

где $V_{\text{КС}}$ из Т5 Пр.

$F_{\text{КС}}$ из Т5 Пр.

Б-2. Средняя температура продуктов в камере сгорания, К:

$$T_{\text{ср}} = t_{\text{срКС}} + 273,$$

где $t_{\text{срКС}}$ из Б-3 БС-ЛКС

Б-3. Суммарная объемная доля трехатомных газов:

$$\gamma_{\text{п}} = \gamma_{\text{CO}_2} + \gamma_{\text{H}_2\text{O}},$$

где $\gamma_{\text{CO}_2} = P_{\text{CO}_2}$ из Б-34 БС-ЛКС

$\gamma_{\text{H}_2\text{O}} = P_{\text{H}_2\text{O}}$ из Б-33 БС-ЛКС

Б-4. Суммарное парциальное давление газов:

$$P_{\text{п}} = P_0 \cdot \gamma_{\text{п}},$$

где P_0 из Т7 Пр.

$\gamma_{\text{п}}$ из Б-4.

Б-5. Коэффициент ослабления лучей для трехатомных газов:

$$K_0 = \frac{0,78 + 1,6}{\sqrt{P_{\text{п}} + S_{\text{КС}}}} \cdot \left(1 - 0,37 \frac{T_{\text{ср}}}{1000}\right),$$

где $\gamma_{\text{H}_2\text{O}} = P_{\text{H}_2\text{O}}$ из Б-33 БС-ЛКС

$P_{\text{п}}$ из Б-5

$S_{\text{КС}}$ из Б-1

$T_{\text{ср}}$ из Б-3

$\gamma_{\text{п}}$ из Б-4

Б-6. Степень черноты потока газов:

$$a = 1 - e^{-K_0 P_0 S_{\text{КС}}},$$

где K_0 из Б-6

P_0 из Т7 Пр

$S_{\text{КС}}$ из Б-1

Б-7. Средняя температура стенки камеры сгорания:

$$t_{\text{ст}}' = t_{\text{ст}}'' + \frac{t_{\text{срКС}} - t_{\text{ст}}''}{1 + \frac{\alpha_{\text{КС}}}{\alpha_{\text{ст}}}}$$

где $t_{\text{ст}}''$ из Б-3 БС-ЛКС

$t_{\text{срКС}}$ из Б-3 БС-ЛКС

α_3 из Б-9 БС- α_3
 $\alpha_{\text{кгр}}$ из Б-6 БС- $\alpha_{\text{кгр}}$

Б-8. Температура стенки трубы без загрязнения:

$$T_3 = t'_{\text{ст}} + 273, \quad \text{где } t'_{\text{ст}} \text{ из Б-8.}$$

Б-9. Коэффициент теплоотдачи излучением продуктов сгорания:

$$\alpha_{\text{лкк}} = 4,9 \cdot 10^{-8} \frac{\alpha_3 + 1}{2} \cdot \alpha \cdot (T_{\text{ср}})^3 \cdot \frac{1 - \left(\frac{T_3}{T_{\text{ср}}}\right)^{3,6}}{1 - \frac{T_3}{T_{\text{ср}}},$$

где α_3 из Т7 Пр

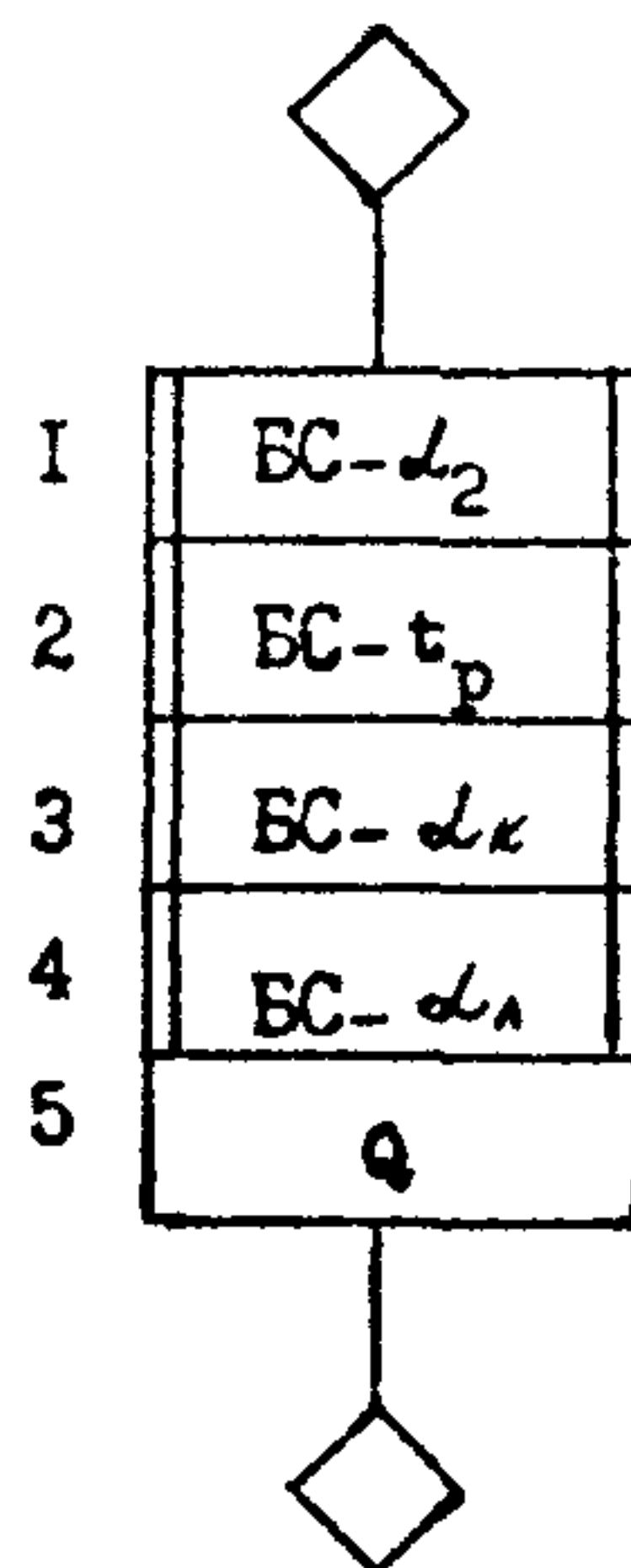
α из Б-7

$T_{\text{ср}}$ из Б-3

T_3 из Б-9

БС - Q

Расчет тепла, переданного продуктами сгорания в теплообменной камере нагреваемому продукту



Приложение к БС- Q

Б-1. Обращение к БС- α_2

Б-2. Обращение к БС- $\pm p$

Б-3. Обращение к БС- α_k

Б-4. Обращение к БС- α_λ

Б-5. Полное тепло, переданное в печи:

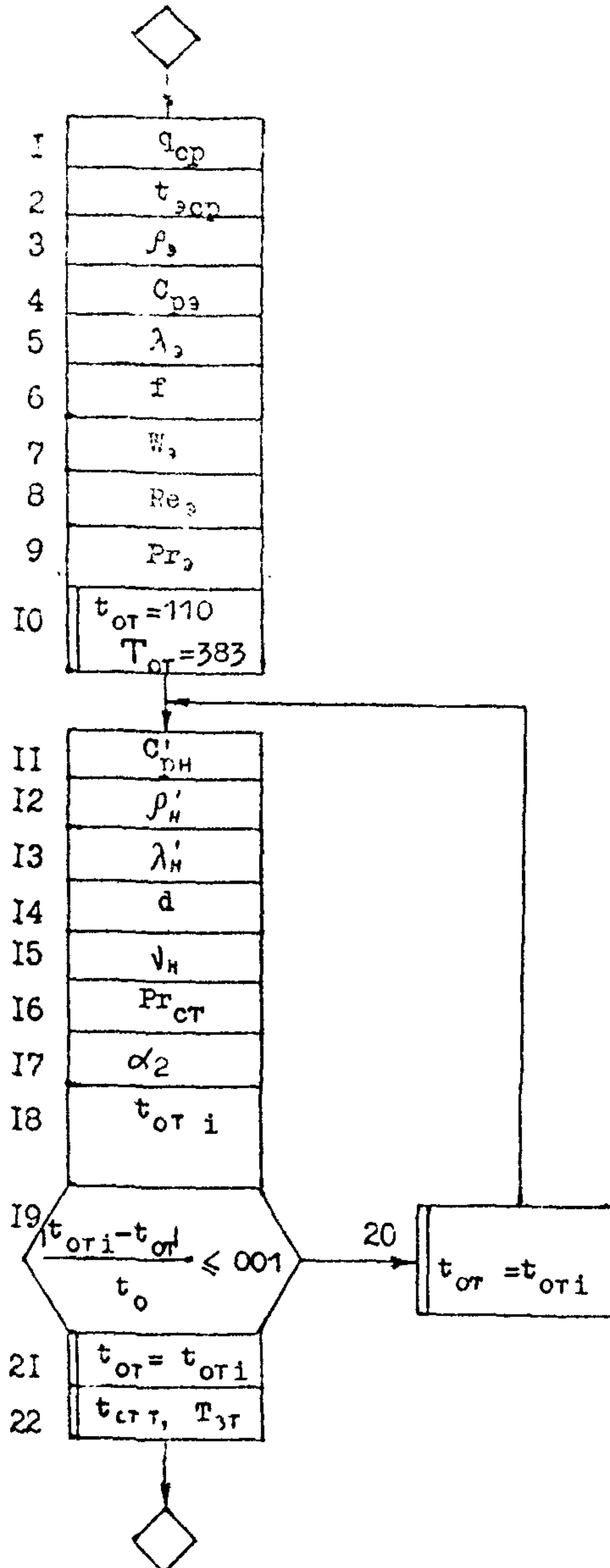
$$Q = Q_k + Q_\lambda$$

где Q_k из Б-20 БС- α_k

Q_λ из Б-II БС- α_λ

БС- α_2

Расчет коэффициента теплоотдачи от стенки
трубы к эмульсии



Вынести в таблицу результатов расчета:
 $t_{от}$ — температура стенки трубы с отложениями
 из Б-24

Приложение к БС-22

Б-1. Средняя теплонапряженность гладких труб:

$$q_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{п}}}{H_{\text{р}}}, \quad \text{где } Q_{\text{п}} \text{ из Б-0 или Б-II БС-ТР}$$

Б-2. Средняя температура эмульсии в трубах:

$$t_{\text{эср}} = \frac{t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}}}{2}, \quad \text{где } t_{\text{вх}}, t_{\text{вых}} \text{ из Т2 И.Д.}$$

Б-3. Плотность эмульсии:

$$\rho_{\text{э}} = \rho_{\text{в}} O_{\text{э}} + \rho_{\text{н}} (1 - O_{\text{э}}), \quad \begin{array}{l} \text{где } \rho_{\text{в}}, \rho_{\text{н}} \text{ из Т3 И.Д.} \\ O_{\text{э}} \text{ из Т2 И.Д.} \end{array}$$

Б-4. Теплоемкость эмульсии:

$$C_{\text{рэ}} = C_{\text{рв}} O_{\text{э}} + C_{\text{рн}} (1 - O_{\text{э}}), \quad \begin{array}{l} \text{где } C_{\text{рв}}, C_{\text{рн}} \text{ из Т3 И.Д.} \\ O_{\text{э}} \text{ из Т2 И.Д.} \end{array}$$

Б-5. Теплопроводность эмульсии:

$$\lambda_{\text{э}} = \lambda_{\text{в}} \cdot O_{\text{э}} + \lambda_{\text{н}} (1 - O_{\text{э}}), \quad \begin{array}{l} \text{где } \lambda_{\text{в}}, \lambda_{\text{н}} \text{ из Т3 И.Д.} \\ O_{\text{э}} \text{ из Т2 И.Д.} \end{array}$$

Б-6. Площадь проходного сечения трубы:

$$f = \frac{\pi d_{\text{вн}}^2}{4}, \quad \begin{array}{l} \text{где } \pi = 3,14 \\ d_{\text{вн}} \text{ из Т4 Пр} \end{array}$$

Б-7. Средняя линейная скорость эмульсии в трубах:

$$W_{\text{э}} = \frac{G_{\text{э}}}{3600 \rho_{\text{э}} f m_{\text{ч}}}, \quad \begin{array}{l} \text{где } G_{\text{э}} \text{ из Т2 И.Д.} \\ \rho_{\text{э}} \text{ из Б-3} \\ f \text{ из Б-6} \\ m_{\text{ч}} \text{ из Б-1, 7, 8 БС-РП} \end{array}$$

Б-8. Число Рейнольдса в трубах:

$$Re_{\text{э}} = \frac{W_{\text{э}} d_{\text{вн}}}{\nu_{\text{э}}}, \quad \begin{array}{l} \text{где } W_{\text{э}} \text{ из Б-7} \\ d_{\text{вн}} \text{ из Т4 Пр} \\ \nu_{\text{э}} \text{ из Т3 И.Д.} \end{array}$$

Б-9. Число Прандтля

$$Pr_{\text{э}} = \frac{3600 C_{\text{рэ}} \nu_{\text{э}} \rho_{\text{э}}}{\lambda_{\text{э}}}, \quad \begin{array}{l} \text{где } C_{\text{рэ}} \text{ из Б-4} \\ \nu_{\text{э}} \text{ из Т3 И.Д.} \end{array}$$

ρ_θ из Б-3
 λ_θ из Б-5

Б-10. Принять $t_{от} = 110 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_{от} = 383 \text{ }^\circ\text{K}$.

Б-11. Теплоемкость нефти при температуре стенки трубы с отложениями

$$c_{pн}' = \frac{(0,403 + 0,00081 t_{от})}{\sqrt{d_n^{15}}}, \text{ где } \begin{array}{l} t_{от} \text{ из Б-10 или Б-20} \\ \rho_n^{20} \text{ из ТЗ И.Д.} \\ d_n^{15} \text{ из ТЗ И.Д.} \end{array}$$

Б-12. Плотность нефти при температуре стенки трубы с отложениями

$$\rho_n' = \rho_n^{20} - (0,1828 - 0,132 d_n^{15}) \cdot (T_{от} - 293),$$

где ρ_n^{20} из ТЗ И.Д.
 $T_{от}$ из Б-10 или Б-20
 d_n^{15} из ТЗ И.Д.

Б-13. Теплопроводность нефти:

$$\lambda_n' = \frac{0,1}{d_n^{15}} (1 - 0,00054 \cdot t_{от}), \text{ где } \begin{array}{l} d_n^{15} \text{ из ТЗ И.Д.} \\ t_{от} \text{ из Б-10 или Б-20} \end{array}$$

Б-14. Показатель степени:

$$d = 10^{\lg \lg (7, + 0,8) + \frac{[\lg \lg (7, + 0,8) - \lg \lg (7_2 + 0,8)]}{\lg T_1 - \lg T_2} \cdot (\lg T_{от} - \lg T_1)},$$

где t, ϑ из ТЗ И.Д.
 $T_{от}$ из Б-10 или Б-20

Б-15. Вязкость нефти при температуре стенки трубы с отложениями

$$\vartheta_n = (10^d - 0,8) \cdot 10^{-6}, \text{ где } d \text{ из Б-14.}$$

Б-16. Число Прандтля стенки;

$$Re_{ст} = \frac{3600 \cdot c_{pн}' \cdot \vartheta_n \cdot \rho_n'}{\lambda_n'}, \text{ где } \begin{array}{l} c_{pн}' \text{ из Б-11} \\ \vartheta_n \text{ из Б-15} \\ \rho_n' \text{ из Б-12} \\ \lambda_n' \text{ из Б-13} \end{array}$$

Б-17. Коэффициент теплоотдачи от стенки трубы к эмульсии:

$$\alpha_2 = 0,023 \frac{Re_2^{0,8}}{d_{вн}} Re_2^{0,43} \left(\frac{Pr_2}{Pr_{ст}} \right)^{0,25} C_t C_e,$$

где λ_2 из Б-5
 $d_{вн}$ из Т4 Пр
 Re_2 из Б-8
 Pr_2 из Б-9
 C_t, C_e из Т7 Пр.

Б-18. Уточненная температура стенки трубы с отложениями

$$t_{отi} = t_{эср} + \frac{q_{ср}}{\alpha_2}$$

где $t_{эср}$ из Б-2

α_2 из Б-17

$q_{ср}$ из Б-1

Б-19. Проверка

$$\frac{|t_{от} - t_{отi}|}{t_{от}} \leq 0,01, \quad \text{где } t_{от} \text{ из Б-10 или Б-20}$$

$t_{отi}$ из Б-18

Б-20,21. Принять $t_{от} = t_{отi}$
 $T_{от} = T_{отi}$

где $t_{от}; T_{отi}$ из Б-18

Б-22. Температура стенки трубы со стороны ребер:

$$t_{сгг} = t_{от} + q_{ср} \left(\frac{\delta_r}{\lambda_m} + \frac{\delta_{сг}}{\lambda_{от}} \right),$$

где $t_{от}$ из Б-20,

$q_{ср}$ из Б-1

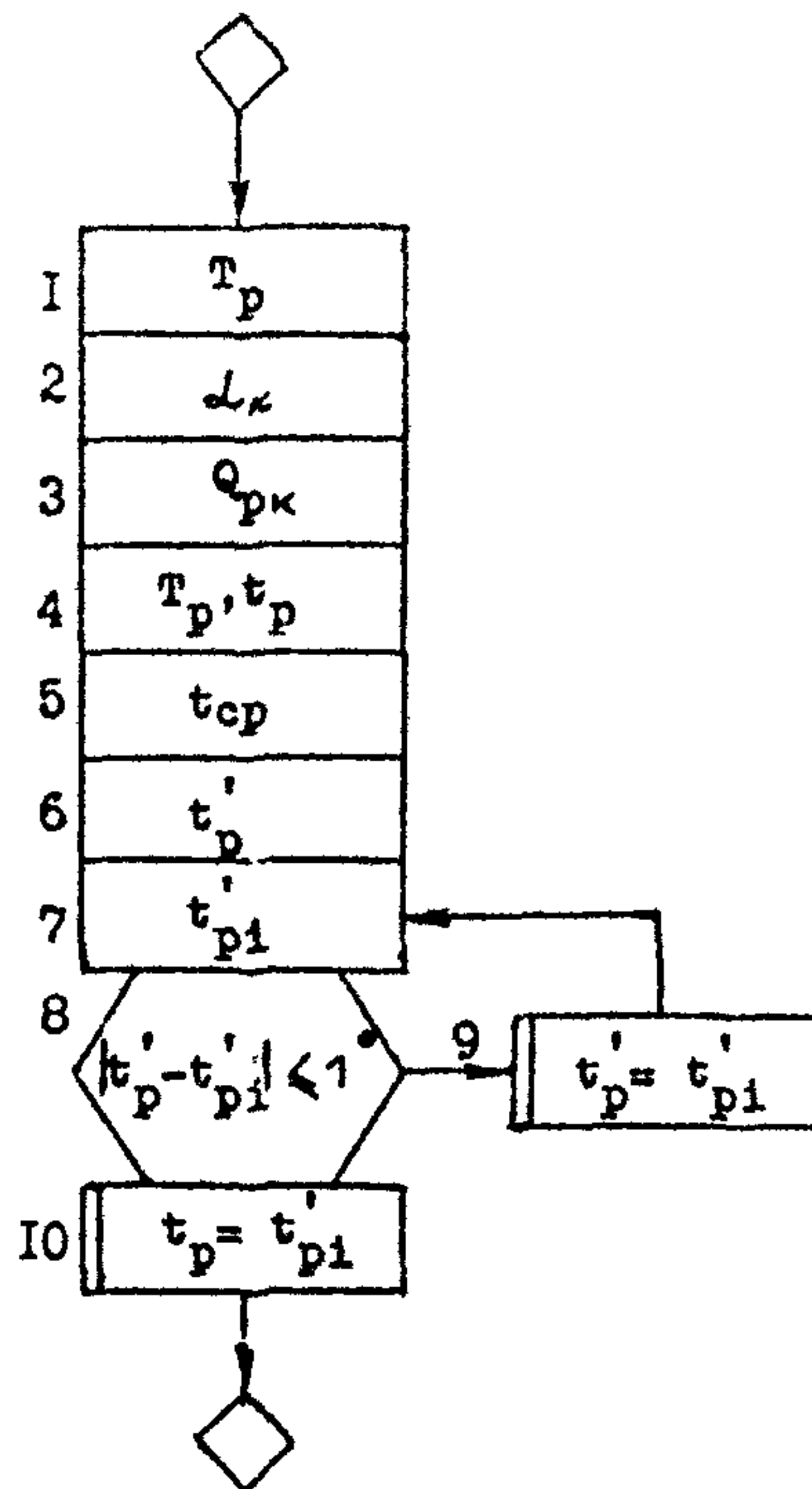
δ_r из Т4 Пр

λ_m из Т7 Пр

$\delta_{от}, \lambda_{от}$ из Т4 И.Д.

BC - t_p

Расчет температуры дымовых газов на перевале



Приложение к БС-тр

Б-1 $T_p = t_p + 273$, где t_p из Б-0 БС-ТР или Б-14

Б-2 Средняя теплонпряженность гладких труб:

$$q_{ep} = \frac{Q_n}{F_{2\lambda}}, \quad \text{где } Q_n \text{ из Б-0 или Б-10 БС-ТР}$$

$F_{2\lambda}$ из Т4 Пр.

Б-3 Коэффициент теплоотдачи от стенки труб к эмульсии конвекцией:

$$\alpha_k = 1,8 \sqrt[4]{T_p - T_{3T}}, \quad \text{где } T_p \text{ из Б-2}$$

T_{3T} из Б-21 БС- α_2

Б-4. Тепло, переданное конвекцией от газов к экрану:

$$Q_{pk} = \alpha_k \cdot F_{2\lambda} (\varphi_k \cdot T_p - T_{3T}),$$

где α_k из Б-6
 $F_{2\lambda}$ из Т4 Пр
 φ_k из Т7 Пр
 T_p из Б-2
 T_{3T} из Б-21 БС- α_2

Б-5. Температура на перевале без учета рециркуляции:

$$T_p = \sqrt{\frac{1}{\psi} \left[\frac{100^4}{c_s H_s} (Q_n - Q_{pk}) + T_{3T}^4 \right]},$$

где c_s, ψ из Т7 Пр
 H_s из Т4 Пр
 Q_n из Б-0 или Б-10, БС-ТР
 Q_{pk} из Б-7, T_{3T} из Б-21, БС- α_2
 $t_p = T_p - 273$.

Б-6. Средняя температура дымовых газов между перевалом и выходом из печи:

$$t_{ep} = \frac{t_p + t_{yx}}{2},$$

где t_p из Б-8
 t_{yx} из Б-0 БС-ТР или из Б-9, 10, БС-ТР

Б-7. Температура газов на перевале с учетом рециркуляции дымовых газов:

$$t_{pi} = \frac{C_{mp} \cdot t_p + 1,5 C_{mep} \cdot t_{ep}}{2,5 C'_{mep}},$$

где $C_{ртр}$ из Б-37 БС-ПГ при t_p из Б-8
 $C_{ртср}$ из Б-37 БС-ПГ при $t_{ср}$ из Б-9
 $C'_{ртр}$ из Б-37 БС-ПГ при $t'_p = t_p - 50$, t_p из Б-8.

Б-8 Уточнение температуры дымовых газов на перевале с учетом рециркуляции:

$$t'_{pi} = \frac{C_{ртр} t_p + 1,5 C_{ртср} t_{ср}}{2,5 C'_{ртср}},$$

где $C_{ртр}$, $C_{ртср}$ как и в Б-10

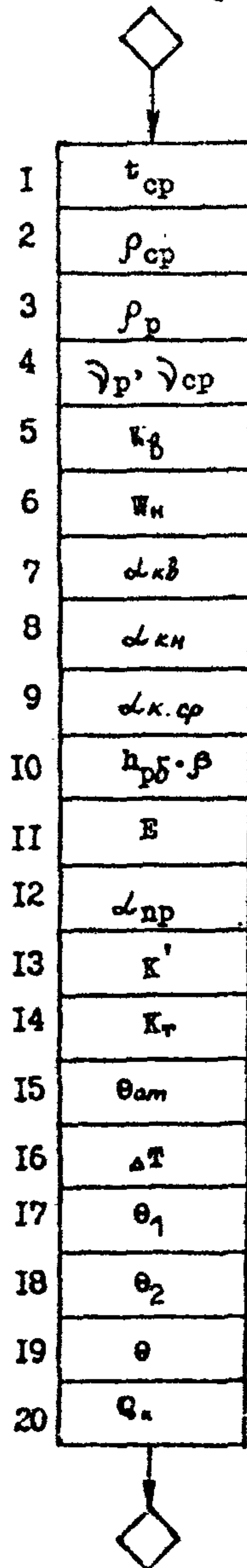
$C'_{ртр}$ из Б-43 БС-ПГ при t'_p из Б-10 или 13

Б-9 Проверка $|t'_p - t'_{pi}| \leq 1^\circ$

где t'_p из Б-10, 13; t'_{pi} из Б-11.

БС-ЛК

Расчет количества тепла, переданного конвекцией
в теплообменной камере



Приложение к БС-Лк

Б-1. Средняя температура дымовых газов

$$t_{cp} = \frac{t_p + t_{yx}}{2}, \quad \text{где } t_p \text{ из Б-14 БС-} t_p \\ t_{yx} \text{ из Б-0 БС-ТР или} \\ \text{Б-8,9 БС-ТР}$$

Б-2. Плотность дымовых газов при средней температуре

$$\rho_{cp} = \frac{\rho_0 \cdot 273}{273 + t_{cp}}, \quad \text{где } t_{cp} \text{ из Б-1} \\ \rho_0 \text{ из Б-32 БС-ПГ}$$

Б-3. Плотность дымовых газов при температуре перевала

$$\rho_p = \frac{\rho_0 \cdot 273}{273 + t_p}, \quad \text{где } \rho_0 \text{ из Б-32 БС-ПГ} \\ t_p \text{ из Б-14 БС-} t_p$$

Б-4. Коэффициент кинематической вязкости дымовых газов при средней температуре дымовых газов и температуре перевала

$$\gamma_{cp} = \frac{z_{cp}}{\rho_{cp}}; \quad \gamma_p = \frac{z_p}{\rho_p},$$

где $z_{cp} = z$ из Б-40 БС-ПГ при t_{cp} из Б-1

$z_p = z$ из Б-40 БС-ПГ при t_p из Б-14 БС- t_p

ρ_{cp} из Б-2

ρ_p из Б-3

Б-5. Скорость омывания экрана в верхних 3-х рядах

$$w_{\text{в}} = \frac{n \cdot B \cdot G_1}{3600 \cdot 2 \cdot F_{\text{в}} \cdot \rho_p}, \quad \text{где } n \text{ из Т7 Пр} \\ B \text{ из Б-5 БС-В} \\ G_1 \text{ из Б-19 БС-ПГ} \\ F_{\text{в}} \text{ из Т4 Пр} \\ \rho_p \text{ из Б-3}$$

Б-6. Скорость омывания экрана в нижних 5-ти рядах.

$$w_{\text{н}} = \frac{(n-1) \cdot B \cdot G_1}{3600 \cdot 2 \cdot F_{\text{н}} \cdot \rho_{cp}}, \quad \text{где } n \text{ из Т7 Пр} \\ B \text{ из Б-5 БС-В} \\ G_1 \text{ из Б-19 БС-ПГ} \\ F_{\text{н}} \text{ из Т4 Пр} \\ \rho_{cp} \text{ из Б-2}$$

Б-7. Коэффициент теплоотдачи конвекцией в верхней части теплообменной камеры

$$\alpha_{кв} = 0,23 C_2 \varphi_2^{0,2} \frac{\lambda_p}{Sp\delta} \left(\frac{d}{Sp\delta}\right)^{-0,54} \left(\frac{h_{p\delta}}{Sp\delta}\right)^{-0,14} \left(\frac{W_8 Sp\delta}{\gamma_p}\right)^{0,65},$$

где C_2 из Т7 Пр
 φ_2 из Т7 Пр
 $\lambda_p = \lambda$ из Б-39 БС-ПГ при t_p из Б-14 БС- t_p
 $Sp\delta$ из Т4 Пр
 d из Т4 Пр
 $h_{p\delta}$ из Т4 Пр
 W_8 из Б-5
 γ_p из Б-4

Б-8. Коэффициент теплоотдачи конвекцией в нижней части теплообменной камеры

$$\alpha_{кн} = 0,23 C_2 \varphi_3^{0,2} \frac{\lambda_{cp}}{Sp\delta} \left(\frac{d}{Sp\delta}\right)^{-0,54} \left(\frac{h_{p\delta}}{Sp\delta}\right)^{-0,14} \left(\frac{W_H Sp\delta}{\gamma_{cp}}\right)^{0,65},$$

где $\lambda_{cp} = \lambda$ из Б-39 БС-ПГ при t_{cp} из Б-1
 W_H из Б-6
 γ_{cp} из Б-4

Б-9. Средний коэффициент теплоотдачи конвекцией

$$\alpha_{кcp} = \frac{\alpha_{кв} N_8 + \alpha_{кн} N_H}{N_8 + N_H},$$

где $\alpha_{кв}$ из Б-7
 $\alpha_{кн}$ из Б-8
 N_8, N_H из Т4 Пр

Б-10.

$$h_{p\delta} \cdot \beta = h_{p\delta} \sqrt{\frac{2 \psi_{p\delta} \alpha_{кcp}}{Sp\delta 2m(1 + \beta \psi_{p\delta} \alpha_{кcp})}},$$

где $\psi_{p\delta}$ из Т7 Пр
 $\alpha_{кcp}$ из Б-9
 $h_{p\delta}, Sp\delta$ из Т4 Пр
 β из Т7 Пр λ_m из Т7 Пр

Б-II. Коэффициент эффективности ребер

$$\varepsilon = f(\lambda, h, \delta, \beta) \quad , \quad \text{где } \varepsilon \text{ из Т10 Пр при } h, \delta, \beta \text{ из Б-10.}$$

Б-12. Приведенный коэффициент теплоотдачи, отнесенный к полной поверхности с газовой стороны,

$$\alpha_{np} = \left[\frac{F_p}{F_n} \varepsilon \mu + \frac{F_{гр}}{F_n} \right] \frac{\psi_{р\delta} \cdot \alpha_{ксп}}{1 + \varepsilon \psi_{р\delta} \alpha_{ксп}} \quad ,$$

где $F_p, F_n, F_{гр}$ из Т4 Пр

$\varepsilon, \mu, \psi_{р\delta}$ из Т7 Пр

ε из Б-II

$\alpha_{ксп}$ из Б-9

Б-13. Коэффициент теплопередачи, отнесенный к полной поверхности (чистые трубы),

$$K' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{np}} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{F_n}{F_{вн}}} \quad ,$$

где α_{np} из Б-12

α_2 из Б-9 БС- α_2

$F_n, F_{вн}$ из Т4 Пр

Б-14. Коэффициент теплопередачи, отнесенный к гладкой поверхности труб,

$$K_T = K' \frac{F_n}{F_{г\lambda}} \quad ,$$

где K' из Б-13

$F_n, F_{г\lambda}$ из Т4 Пр

Б-15. Средняя арифметическая разность температур потоков:

$$\theta_{aT} = \frac{t_p + t_{yx}}{2} - \frac{t_{внх} + t_{вк}}{2} \quad ,$$

где t_p из Б-14 БС- t_p

t_{yx} из Б-0 БС-ТР или Б-8,9 БС-ТР

$t_{внх}, t_{вк}$ Т2 И.Д.

Б-16. Характеристическая разность температур потоков:

$$\Delta T = \sqrt{[(t_p - t_{yx}) + (t_{внх} - t_{вк})]^2 - 4P(t_p - t_{yx})(t_{внх} - t_{вк})} \quad ,$$

где $t_p, t_{внх}, t_{вк}, t_{yx}$ - см. Б-15

P из Т7 Пр.

Б-17. Наибольшая разность температур

$$\theta_1 = \theta_{от} + \frac{1}{2} \Delta T,$$

где $\theta_{от}$ из Б-15

ΔT из Б-16

Б-18. Наименьшая разность температур

$$\theta_2 = \theta_{от} - \frac{1}{2} \Delta T.$$

Б-19. Средняя разность температур между нагревающим и нагреваемым потоками:

$$\theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{2,3 \lg \frac{\theta_1}{\theta_2}},$$

где θ_1 из Б-17

θ_2 из Б-18

Б-20. Тепло, переданное нагреваемому продукту конвекцией,

$$Q_k = \theta_m K_T F_{21},$$

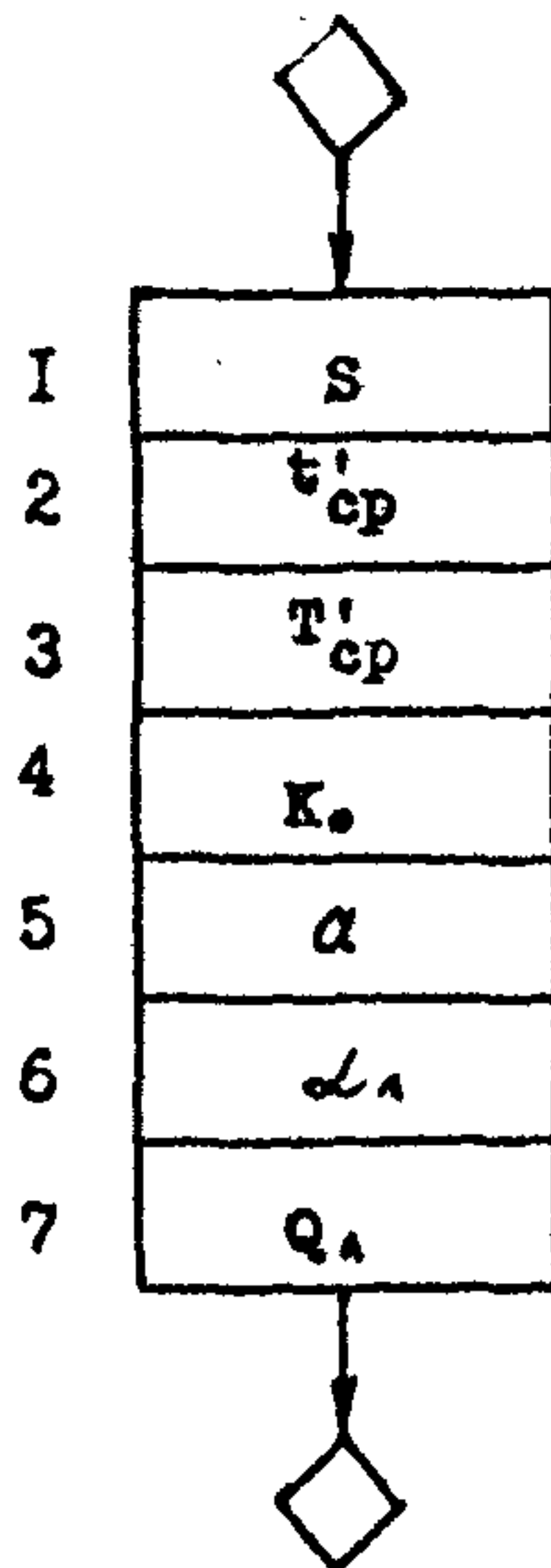
где θ_m из Б-19

K_T из Б-14

F_{21} из Т4 Пр.

БС - α_1

Расчет количества тепла, переданного
излучением дымовых газов в теплооб-
менной камере



Приложение к БС- α_A

Б-1. Эффективная толщина излучающего слоя, м :

$$S = 3,6 \frac{V_T}{F_{ог}}, \text{ где } V_T \text{ из Т4 Пр}$$

$$F_{ог} \text{ из Т4 Пр}$$

Б-2. Средняя температура дымовых газов до перевала, °С:

$$t'_{cp} = \frac{t'_{max} + t_p}{2}, \quad t'_{max} \text{ из Б-II БС- } t_{max}$$

$$t_p \text{ из Б-14 БС- } t_p$$

Б-3. $T'_{cp} = t'_{cp} + 273,$

где t'_{cp} из Б-2.

Б-4. Коэффициент ослабления лучей для трехатомных газов:

$$K_0 = \left(\frac{0,78 + 1,6 \tau_{H_2O}}{\sqrt{P_n \cdot S}} \right) \left(1 - 0,37 \frac{T'_{cp}}{1000} \right) \cdot \tau_n,$$

где $\tau_{H_2O} = \tau_{CO_2}$ из Б-33 БС-III
 P_n из Б-5 БС- $\alpha_{лкс}$
 S из Б-1
 T'_{cp} из Б-3
 τ_n из Б-4 БС- $\alpha_{лкс}$

Б-5. Степень черноты потока газов:

$$a = 1 - e^{-K_0 P_0 S},$$

где K_0 из Б-4

P_0 из Т7 Пр

S из Б-1.

Б-6. Коэффициент теплоотдачи излучением продуктов сгорания:

$$\alpha_A = 4,9 \cdot 10^{-8} \frac{Q_3 + I}{2} \cdot a (T'_{cp})^3 \frac{1 - \left(\frac{T_{зг}}{T'_{cp}}\right)^{2,6}}{1 - \frac{T_{зг}}{T'_{cp}}},$$

где Q_3 из Т7 Пр

a из Б-7

T'_{cp} из Б-3

$T_{зг}$ из Б-2I БС- α_2

Б-7. Тепло, переданное излучением продуктов сгорания:

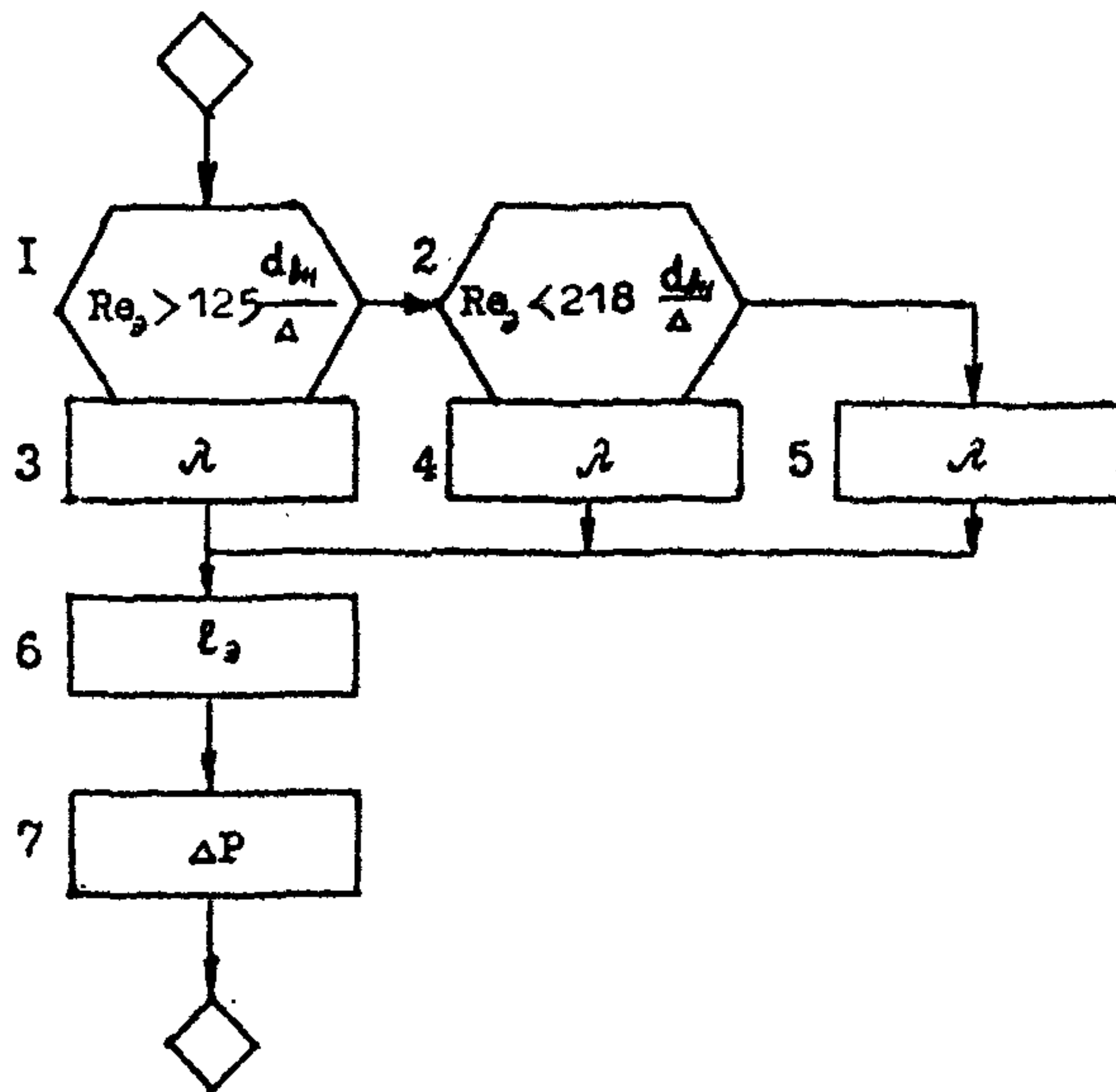
$$Q_A = \alpha_A (T'_{cp} - T_{зг}) N_A, \quad \text{где } \alpha_A \text{ из Б-10}$$

$$T_{зг} \text{ из Б-2I БС- } \alpha_2 \quad T'_{cp} \text{ из Б-3}$$

$$N_A \text{ из Т4 Пр}$$

БС -ГР

Гидравлический расчет печи



Приложение к БС-ГР

Б-1. Проверка

$$Re > 125 \frac{d_{\text{вн}}}{\Delta},$$

где Re из Б-7 БС-Л₂ $d_{\text{вн}}$ из Т4 Пр Δ из Т4 И.Д.Б-2. Проверка $2300 < Re < 218 \frac{d_{\text{вн}}}{\Delta}$.

Б-3. Коэффициент гидравлического сопротивления:

$$\lambda = 0,11 \sqrt[4]{\frac{\Delta}{d_{\text{вн}}}},$$

$$\text{Б-4. } \lambda = 0,1 \left(\frac{\Delta}{d_{\text{вн}}} + \frac{100}{Re} \right)^{0,25},$$

$$\text{Б-5. } \lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d_{\text{вн}}} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25},$$

Б-6. Эквивалентная длина труб одного потока:

$$l_{\text{э}} = n_n \cdot l + (n_n - 1) \psi_e d_{\text{вн}},$$

n_n	1	2	4
n_n	32	16	8

где $l, d_{\text{вн}}$ из Т4 Пр ψ_e из Т7 Пр

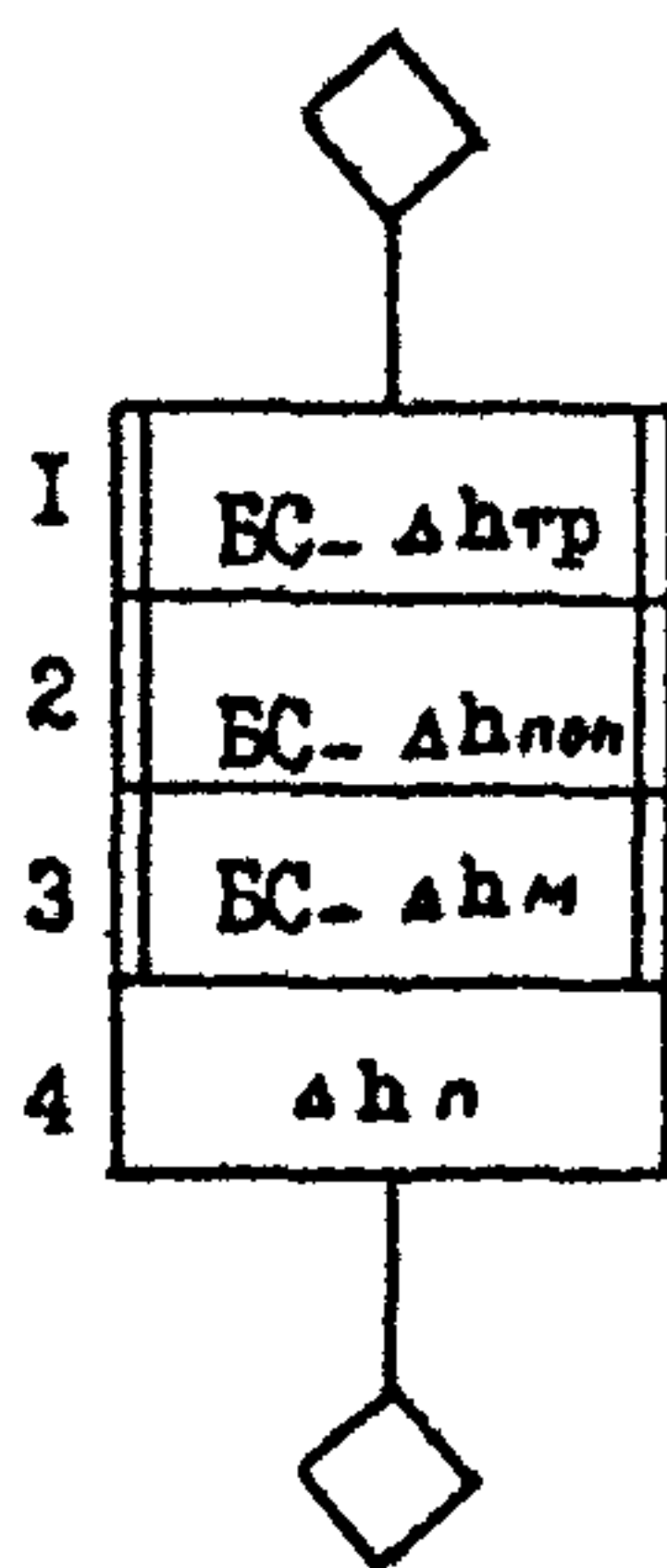
Б-7. Потери напора в трубах:

$$\Delta P = \lambda \frac{l_{\text{э}}}{d_{\text{вн}}} \frac{W_2^2}{2g} \rho_2,$$

где λ из Б-3,4,5, $l_{\text{э}}$ из Б-6, W_2 из Б-6, БС-Л₂ $d_{\text{вн}}$ из Т4 Пр, g из Т7 Пр ρ_2 из Б-2 БС-Л₂

БС - АР

Аэродинамический расчет печи



Приложение к БС-АР

Б-1 Обращение к БС- $\Delta h_{тр}$

Б-2 Обращение к БС- $\Delta h_{поп}$

Б-3 Обращение к БС - Δh_m

Б-4 Аэродинамическое сопротивление печи:

$$\Delta h_n = \Delta h_{тр} + \Delta h_{поп} + \Delta h_m,$$

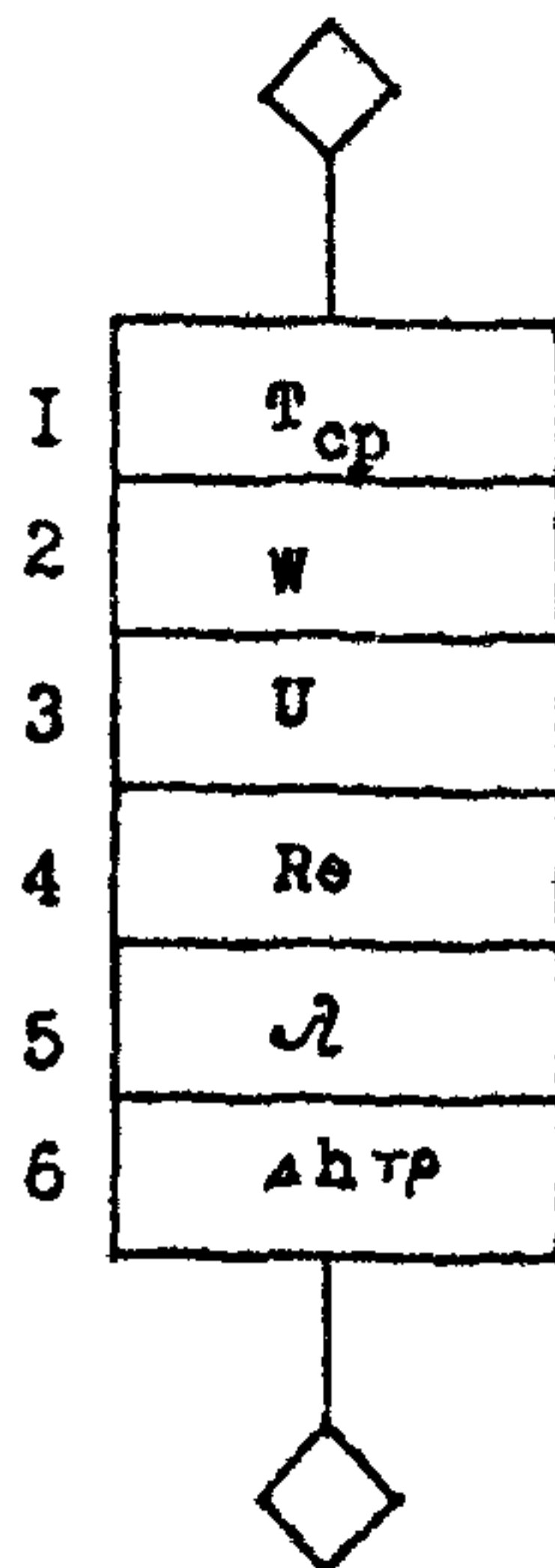
где $\Delta h_{тр}$ из Б-6 БС- $\Delta h_{тр}$

$\Delta h_{поп}$ из Б-12 БС- $\Delta h_{поп}$

Δh_m из Б-7 БС- Δh_m

БС - $\Delta h_{тр}$

Расчет сопротивления трения



Приложение к БС- $\Delta h_{тр}$

Б-1. Средняя температура дымовых газов, К :

$$T_{ср} = t_{ср} + 273,$$

где $t_{ср}$ из Б-1 БС- α_k .

Б-2. Скорость дымовых газов в теплообменной камере:

$$W = \frac{n \cdot B \cdot G_1}{3600 \cdot 2 \cdot F \cdot \rho_{ср}},$$

где n из Т.7 Пр; B из Б-5 БС-В;
 G_1 из Б-19 БС-ПГ; F из Т.4 Пр

$$\rho_{ср} = \rho_0 \frac{273}{273 + t_{ср}}, \text{ где } \rho_0 \text{ из Б-32 БС-ПГ}$$

$t_{ср}$ из Б-1 БС- α_k

Б-3. Массовая скорость дымовых газов в теплообменной камере:

$$U = W \rho_{ср},$$

где $W, \rho_{ср}$ из Б-2.

Б-4. Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{U \cdot d_э}{z_{ср}},$$

где U из Б-3; $d_э$ из Т.4. Пр.

$z_{ср} = z$ из Б-10 БС-ПГ при $t_{ср}$ из Б-1 БС- α_k

Б-5. Коэффициент сопротивления трения:

$$\lambda = 0,1 \left(1,46 \frac{K}{d_э} + \frac{100}{Re} \right)^{0,25},$$

где K из Т.7 Пр; $d_э$ из Т.4 Пр.

Re из Б-4.

Б-6. Сопротивление трения:

$$\Delta h_{тр} = \lambda \frac{\ell_x}{d_э} \frac{W^2}{2g} \rho_{ср},$$

где λ из Б-5, ℓ_x из Т.4 Пр

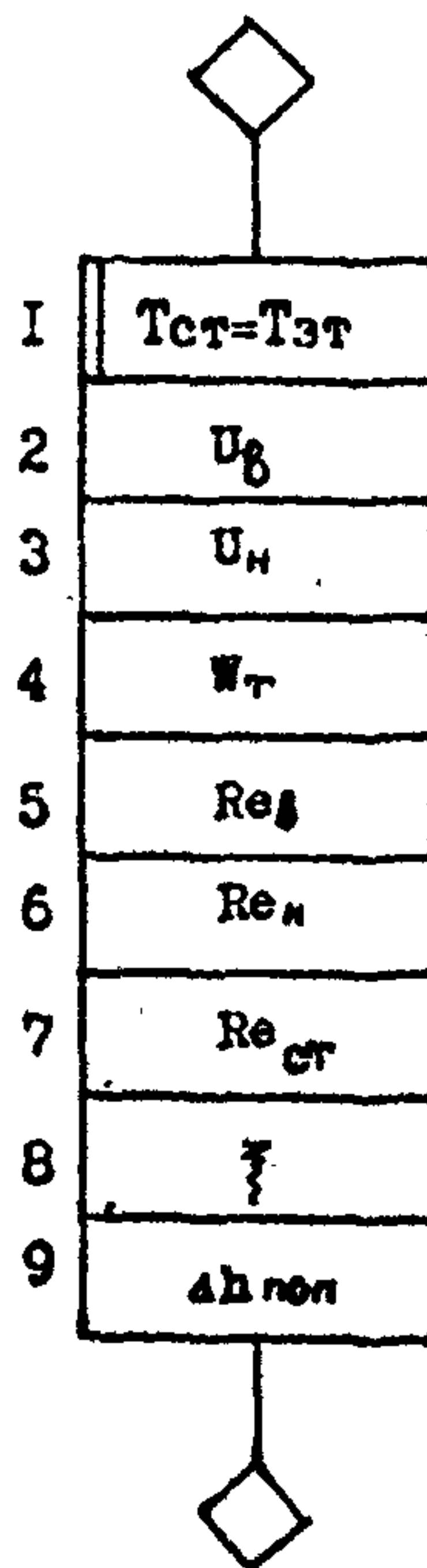
$d_э$ из Т.4Пр W из Б-2

g из Т.7 Пр.

$\rho_{ср}$ из Б-2.

ЕС - $\Delta h_{\text{пол}}$

Расчет сопротивлений поперечно
омываемых труб



Приложение к БС- $\Delta h_{\text{пол}}$

Б-1. Принять $T_{\text{ср}} = t_{\text{ср}} + 273$, где $t_{\text{ср}}$ из Б-21 БС- α_k .

Б-2. Массовая скорость дымовых газов в верхних 3-х рядах труб:

$$W = \frac{\pi B E}{3600 \cdot 2 \cdot F \cdot \rho_{\text{ср}}}, \text{ где } B \text{ из Б-5}$$

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{273 \cdot \rho_0}{273 + t_{\text{ср}}}, \quad \rho_0 \text{ из Б-32 БС-III; БС-}\alpha_k$$

$t_{\text{ср}}$ из Б-8 Б-21 БС- α_2

Б-3. Массовая скорость дымовых газов в нижних 5-ти рядах труб:

$$W_n = W_n' \rho_{\text{ср}}, \quad \text{где } W_n \text{ из Б-6 БС-}\alpha.$$

Б-4. Средняя скорость дымовых газов, омывающих трубный экран:

$$W_T = \frac{W_B N_B + W_N N_N}{N_B + N_N},$$

где W_B, W_N из Б-5, 6 БС- α_k

N_B, N_N из Т4 Пр.

Б-5. Число Рейнольдса в верхних 3-х рядах труб:

$$Re_B = \frac{W_B N_B}{z_{\text{ср}}},$$

где W_B из Б-2; N_B из Т4 Пр.

$z_{\text{ср}}$ из Б-40 БС-III при $t_{\text{ср}}$ из Б-21 БС- α_2 .

Б-6. Число Рейнольдса в нижних 5-ти рядах труб:

$$Re_N = \frac{W_N N_N}{z_{\text{ср}}}, \text{ где } W_N \text{ из Б-3}$$

N_N из Т4 Пр.

Б-7. Среднее число Рейнольдса в теплообменной камере:

$$Re_{\text{ср}} = \frac{Re_B N_B + Re_N N_N}{N_B + N_N},$$

где Re_B, Re_N из Б-5, 6 N_B, N_N из Т4 Пр.

Б-8. Коэффициент сопротивления выходящего пучка оребренных труб:

$$\xi = 4,7 z_2 \left(\frac{h_{\text{ср}}}{d}\right)^{0,45} \left(\frac{\delta_{\text{ср}}}{d}\right)^{-0,72} Re_{\text{ср}}^{-0,25},$$

где $z_2, h_{\text{ср}}, d, \delta_{\text{ср}}$ из Т4 Пр $Re_{\text{ср}}$ из Б-7.

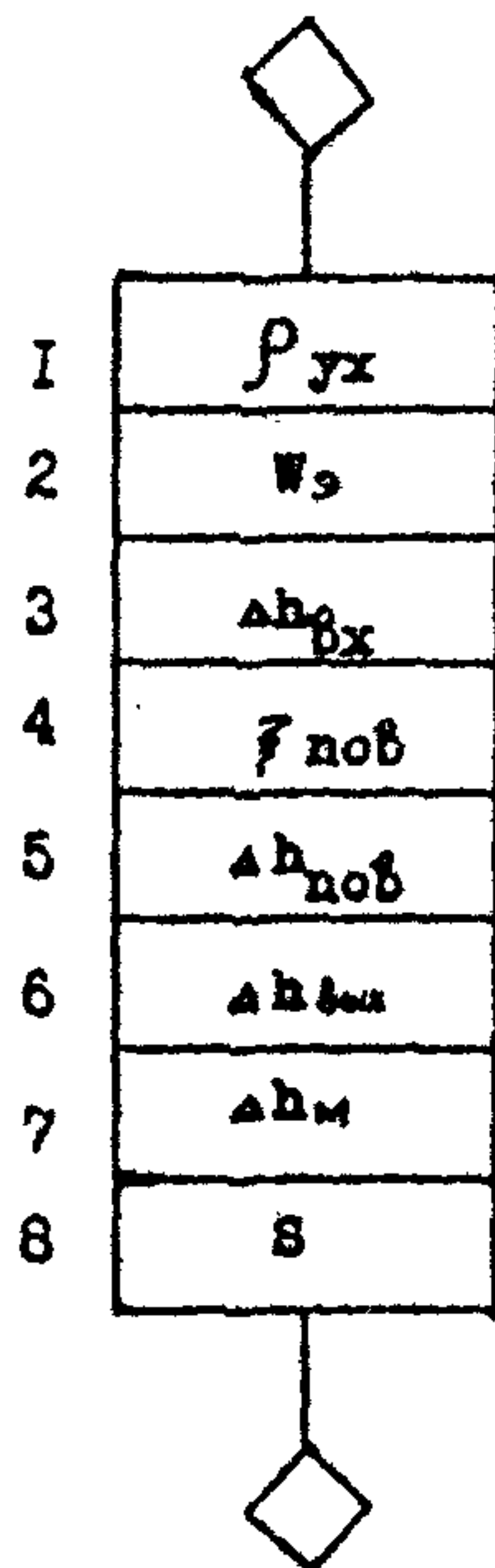
Б-9. Сопротивление поперечно омываемых труб:

$$\Delta h_{\text{пол}} = \xi \frac{W_T^2}{2g} \rho_{\text{ср}}, \quad \text{где } \xi \text{ из Б-8}$$

W_T из Б-4 g из Т7 Пр
 $\rho_{\text{ср}}$ из Б-2 БС- α_k

БС - дм

Расчет местных сопротивлений



Приложение к БС- Δh_m

Б-1. Плотность дымовых газов при температуре t_{yx} :

$$\rho_{yx} = \rho_0 \frac{273}{273 + t_{yx}},$$

где ρ_0 из Б-32 БС-ПГ
 t_{yx} из Б-0 БС-ТР или Б-8,9 БС-ТР .

Б-2. Скорость дымовых газов в дымовой трубе:

$$w_g = \frac{B G_1}{3600 \cdot 4 \cdot f_{gt} \rho_{yx}},$$

где B из Б-5 БС-В
 G_1 из Б-19 БС-ПГ
 f_{gt} из Т4 Пр
 ρ_{yx} из Б-1 .

Б-3. Сопротивление входа в газоотводящий канал:

$$\Delta h_{bx} = \zeta_{bx} \frac{w_g^2}{2g} \rho_{yx},$$

где ζ_{bx} из Т7 Пр
 w_g из Б-2
 g из Т7 Пр
 ρ_{yx} из Б-1

Б-4. Коэффициент сопротивления для поворотов:

$$\zeta_{пов} = K_{\Delta} \zeta_0 B C, \text{ где } K_{\Delta}, \zeta_0, B, C \text{ из Т7 Пр .}$$

Б-5. Сопротивление поворотов газохода:

$$\Delta h_{пов} = \zeta_{пов} \frac{w_g^2}{2g} \rho_{yx},$$

где $\zeta_{пов}$ из Б-4, g из Т7 Пр
 w_g из Б-2
 ρ_{yx} из Б-1 .

Б-6. Сопротивление выхода из дымовой трубы:

$$\Delta h_{вых} = \zeta_{вых} \frac{w_g^2}{2g} \rho_{yx},$$

где $\zeta_{вых}$ из Т7 Пр
 w_g из Б-2
 ρ_{yx} из Б-1 .

Б-7. Местные сопротивления:

$$\Delta h_{\text{м}} = \Delta h_{\text{вх}} + \Delta h_{\text{пов}} + \Delta h_{\text{вых}},$$

где $\Delta h_{\text{вх}}$ из Б-3

$\Delta h_{\text{пов}}$ из Б-5

$\Delta h_{\text{вых}}$ из Б-6.

Б-8. Разрежение, создаваемое дымовым каналом:

$$S = \frac{H \left(\frac{1}{273 + t_{\text{н}}} - \frac{1}{273 + t_{\text{ух}}} \right) \delta}{2,15},$$

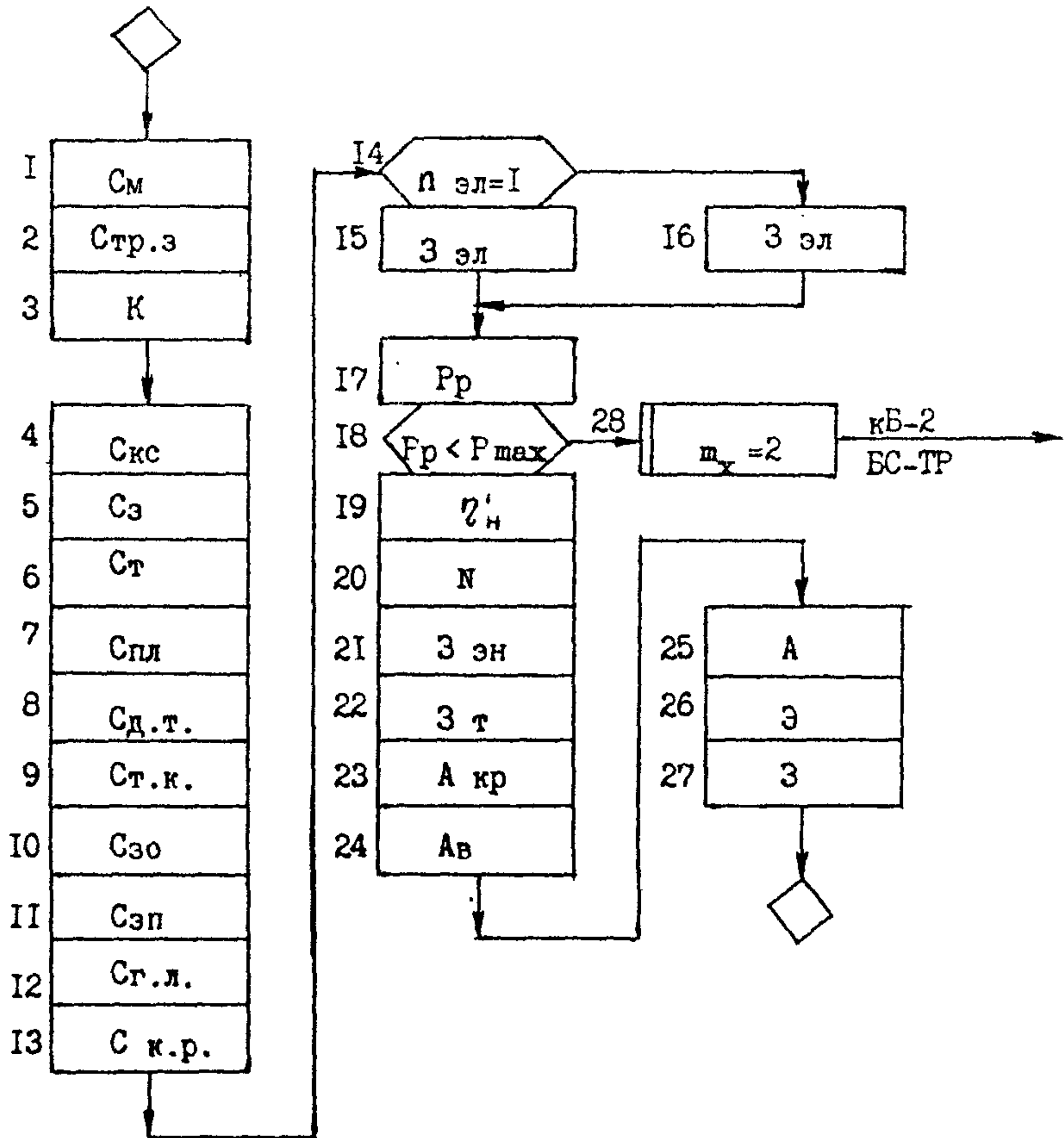
где H из Т4 Пр

$t_{\text{н}}$ из Т2 Пр

$t_{\text{ух}}$ из Б-0 БС-ТР или Б-8,9 БС-ТР

δ из Т7 Пр.

БС -ЭР
ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПЕЧИ



Приложение к БС-ЭР

Б-1. Стоимость строительно-монтажных работ:

$$C_m = C_{o.p.} \cdot K_{c.m.},$$

где $C_{o.p.}$, $K_{c.m.}$ из ТII Пр.

Б-2. Стоимость транспортно-заготовительных работ:

$$C_{тр.з.} = C_{o.p.} \cdot K_{тр.з.},$$

где $C_{o.p.}$, $K_{тр.з.}$ из ТII Пр.

Б-3. Стоимость капитальных затрат:

$$K = C_{o.p.} + C_m + C_{тр.з.},$$

где $C_{o.p.}$ из ТII Пр.

C_m из Б-1

$C_{тр.з.}$ из Б-2

Б-4. Стоимость ремонта камеры сгорания:

$$C_{к.с.} = C'_d + C'_m + C_{к.с.},$$

где C'_d , C'_m , $C_{к.с.}$ из ТII Пр.

Б-5. Стоимость ремонта задвижек:

$$C_z = C_d^2 + C_m^2 + C_z.$$

где C_d^2 , C_m^2 , C_z из ТII Пр.

Б-6. Стоимость ремонта трубопроводов:

$$C_t = C_d^3 + C_m^3 + C_t.$$

где C_d^3 , C_m^3 , C_t из ТII Пр.

Б-7. Стоимость ремонта площадки обслуживания:

$$C_{пл.} = C_d^4 + C_m^4 + C_{пл.}$$

где C_d^4 , C_m^4 , $C_{пл.}$ из ТII Пр.

Б-8. Стоимость ремонта дымогарных труб:

$$C_{д.т.} = C_{д}^5 + C_{м}^5 + Ц_{д.т.},$$

где $C_{д}^5, C_{м}^5, Ц_{д.т.}$ из Т II Пр.

Б-9. Стоимость ремонта теплообменной камеры:

$$C_{т.к.} = C_{д}^6 + C_{м}^6 + Ц_{т.к.},$$

где $C_{д}^6, C_{м}^6, Ц_{т.к.}$ из Т II Пр.

Б-10. Стоимость ремонта змеевиков отопления:

$$C_{з.о.} = C_{д}^7 + C_{м}^7 + Ц_{з.о.},$$

где $C_{д}^7, C_{м}^7, Ц_{з.о.}$ из Т II Пр.

Б-11. Стоимость ремонта змеевиков паротушения:

$$C_{з.п.} = C_{д}^8 + C_{м}^8 + Ц_{з.п.},$$

где $C_{д}^8, C_{м}^8, Ц_{з.п.}$ из Т II Пр.

Б-12. Стоимость ремонта газовой линии:

$$C_{г.л.} = C_{д}^9 + C_{м}^9 + Ц_{г.л.},$$

где $C_{д}^9, C_{м}^9, Ц_{г.л.}$ из Т II Пр.

Б-13. Стоимость капитального ремонта печи:

$$C_{к.р.} = C_{об.} + C_{об.} K_{н} + C_{об.} K_{пл.},$$

где $C_{об.} = C_{к.с.} + C_{з.} + C_{т.} + C_{пл.} + C_{д.т.} + C_{т.к.} + C_{з.о.} + C_{з.п.} + C_{г.л.},$

где $C_{к.с.}$ из Б-4

$C_{з.}$ из Б-5

$C_{т.}$ из Б-6

$C_{з.о.}$ из Б-10

$C_{г.л.}$ из Б-12

$C_{пл.}$ из Б-7

$C_{д.т.}$ из Б-8

$C_{т.к.}$ из Б-9

$K_{н}, K_{пл.}$ из Т II Пр.

Б-14. Проверка $\eta_{\text{эл.}} = I$

где $\eta_{\text{эл.}}$ из Т4 И.Д.

Б-15. Затраты на электроэнергию для компрессоров (по схеме ГДР):

$$Z_{\text{эл.}} = P_{\text{э.д.}}^2 \cdot C_{\text{эл.}} \cdot T,$$

где $P_{\text{э.д.}}^2$ из Т 12 Пр

$C_{\text{эл.}}$ из Т 11 Пр

T из Т 4 И.Д.

Б-16. Затраты на электроэнергию для компрессоров (по схеме СССР):

$$Z_{\text{эл.}} = 2 \cdot P_{\text{э.д.}}' \cdot C_{\text{эл.}} \cdot T \cdot K_{\text{эл.}}$$

где $P_{\text{э.д.}}'$ из Т 12 Пр

$C_{\text{эл.}}$ из Т 11 Пр

T, K из Т 4 И.Д.

Б-17. Расчетное давление, необходимое для прокачки эмульсии:

$$P_p = P_0 + \Delta P,$$

где P_0 из Т 4 И.Д.

ΔP из Б-8 БС-ГР

Б-18. Проверка $P_p < P_{\text{мах}}$,

где P_p из Б-17

$P_{\text{мах}}$ из Т 4 И.Д.

Б-19. Коэффициент полезного действия насоса при перекачке эмульсии:

$$\eta'_n = \frac{\eta_n}{1 + 0,4 (\gamma_{\text{э}} - 1,006 \cdot 10^{-6}) \cdot 10^4},$$

(формула Шищенко)

где η_n из Т 12 Пр

$\gamma_{\text{э}}$ из Т 3 И.Д.

Б-20. Мощность насоса:

$$\eta'_H = \frac{\eta_H}{1 + 0,4 (\eta_g - 1,006 \cdot 10^{-6}) \cdot 10^4}$$

где η_g из Т 2 И.Д.

ρ_p из Б-17

η'_H из Б-19

Б-21. Затраты на электроэнергию для насосов:

$$Z_{\text{эн.}} = N \cdot C_{\text{эл.}} \cdot T \cdot \eta_n,$$

где N из Б-20

$C_{\text{эл.}}$ из Т II Пр

T, η_n из Т 4 И.Д.

Б-22. Затраты на топливо:

$$Z_T = V \cdot C_T \cdot T / \rho_o,$$

где V из Б-5 БС-В

C_T из Т II Пр

T из Т 4 И.Д.

ρ_o из Б-32 БС-III

Б-23. Амортизационные отчисления на капитальный ремонт печи:

$$A_{\text{к.р.}} = K \cdot Q_{\text{к.р.}}$$

где K из Б-3

$Q_{\text{к.р.}}$ из Т II Пр

Б-24. Амортизационные отчисления на полное восстановление печи:

$$A_B = K \cdot Q_B,$$

где K из Б-3

Q_B из Т II Пр

Б-25. Годовые затраты на капитальный ремонт с учетом межремонтного пробега печи:

$$\lambda = \frac{C_{\text{к.р.}}}{m_{\text{мп}}}$$

где $C_{\text{к.р.}}$ из Б-13

$m_{\text{мп}}$ из Т I3 Пр

Б-26. Годовые эксплуатационные затраты:

$$\mathcal{E} = \mathcal{Z}_{\text{эл.}} + \mathcal{Z}_{\text{э.н.}} + \mathcal{Z}_{\text{т}} + A_{\text{к.р.}} + A_{\text{в}} + A,$$

где $\mathcal{Z}_{\text{эл}}$ из Б-14

$\mathcal{Z}_{\text{э.н.}}$ из Б-21

$\mathcal{Z}_{\text{т}}$ из Б-22

$A_{\text{к.р.}}$ из Б-23

$A_{\text{в}}$ из Б-24

A из Б-25

Б-27. Годовые приведенные затраты:

$$\mathcal{Z} = \mathcal{E} + 0,15 \cdot K,$$

где \mathcal{E} из Б-26

0,15 из Т II Пр

K из Б-3

Б-28. Принять $m_x = 2$ и в Б-2 БС-ТР.

Таблица I Пр

Физические параметры индивидуальных компонентов
газообразного топлива

Компоненты	M_i	$Q_{p_i}^H$	m_i	n_i	S_i	P_i	g_i
CH_4	16,04	11953	1	4	-	-	-
C_2H_6	30,07	11349	2	6	-	-	-
C_3H_8	44,10	11079	3	8	-	-	-
C_4H_{10}	58,12	10929	4	10	-	-	-
ΣC_5H_{12}	72,15	10840	5	12	-	-	-
C_6H_{14}	86,17	10790	6	14	-	-	-
N_2	28,02	-	-	-	2	-	-
CO_2	44,01	-	1	-	-	-	2
H_2S	34,08	3577	-	2	-	1	-
O_2	32,00	-	-	-	-	-	2
CO	28,01	2415	1	-	-	-	1
H_2	2,02	28667	-	2	-	-	-

Таблица 2 Пр

Теплофизические свойства воздуха
и водяных паров

Температура, t	Истинная теплоем- кость воздуха, C_p^b	Истинная теплоем- кость во- дяных па- ров, C_p^{bn}	Кoeffици- ент тепло- проводнос- ти, $\lambda \cdot 10^4$	Средняя теп- лоемкость воз- духа, C_{pm}^b	Кинематическая вязкость возду- ха, $\nu \cdot 10^6$
$^{\circ}C$	$\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{гр}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{гр}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{гр}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{гр}}$	$\text{м}^2/\text{с}$
0	0,2397	0,4441	214	0,2397	13,2
100	0,2413	0,4515	274	0,2405	23,2
200	0,2447	0,4635	329	0,2413	34,8
300	0,2495	0,4778	383		48,2
400	0,2552	0,4931	434	0,2447	62,9
500	0,2609	0,5092	484		79,3
600	0,2663	0,5258	532	0,2495	96,7
700	0,2712	0,5429	578		115
800	0,2756	0,5601	622	0,2552	135
900	0,2795	0,5769	664		155
1000	0,2829	0,5929	705	0,2609	177
1200	0,2886	0,6220	781	0,2663	223
1400	0,2930	0,6470		0,2712	273
1600	0,2966	0,6683		0,2756	327
1800	0,2996	0,6865		0,2795	384
2000	0,3022	0,7017		0,2829	448

Таблица 3 Пр

Теплофизические свойства дымовых газов

Температура, t	$\Delta C_p^{сг} \cdot 10^4$	Коэффициент теплопроводности дымовых газов, $\lambda_T \cdot 10^4$	Коэффициент абсолютной вязкости дымовых газов, $Z_T \cdot 10^6$
$^{\circ}\text{C}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{гр}}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{гр}}$	$\frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$
0	0		
100	3		20,33
200	21	345	24,48
300	32	416	23,22
400	43	490	31,67
500	50	564	34,84
600	56	638	37,65
700	64	701	40,67
800	70	787	43,36
900	74	861	45,88
1000	78	937	48,33
1200	84	1085	52,96
1400	96	1235	57,46
1600	87	1385	61,86
1800	86	1535	66,06
2000	83	1685	70,02

Конструктивные параметры теплообменной камеры
печи

№ п/п	Буквенное обозначение	Размерность	Принимаемое значение	Наименование
1.	d	м	0,159	наружный диаметр теплообменных труб
2.	$d_{вн}$	м	0,143	внутренний диаметр теплообменных труб
3.	φ	м	0,197	диаметр теплообменных труб с оребрением
4.	$\delta_{т}$	м	0,008	толщина стенки трубы
5.	$h_{рб}$	м	0,019	высота ребра
6.	$S_{рб}$	м	0,006	шаг оребрения
7.	$\delta_{рб}$	м	0,0015	толщина ребра
8.	$F_{гп}$	м ²	148,6	поверхность гладких труб
9.	$F_{тп}$	м ²	112,	поверхность труб свободная от ребер
10.	$F_{вн}$	м ²	137,4	внутренняя поверхность труб
11.	$F_{р}$	м ²	1254	суммарная поверхность ребер
12.	$F_{п}$	м ²	1366	полная поверхность оребренных труб
13.	$\bar{F}_{в}$	м ²	3,97	свободное сечение верхних 3-х рядов трубного экрана
14.	$\bar{F}_{н}$	м ²	11,36	свободное сечение нижних 5-ти рядов трубного экрана
15.	$H_{в}$	м ²	13,9	поверхность теплообмена верхних 5-ти рядов труб
16.	$H_{н}$	м ²	23,2	поверхность теплообмена нижних 5-ти рядов труб
17.	$F_{сг}$	м ²	100,4	поверхность воспринимающего экрана
18.	$V_{г}$	м ³	29,5	объем теплообменной камеры
19.	$H_{л}$	м ²	42	лучевоспринимающая поверхность экрана теплообменных труб

I	1	2	3	4	5	6
20.	H_s	m^2	44		эквивалентная абсолютно- черная поверхность	
21.	l	m	9,0		длина теплообменной трубы без калача	
22.	Z_2	-	2		число рядов труб в одном пучке	
23.	l_x	m	I		длина прохождения дымовыми газами трубного экрана	
24.	F	m^2	I, I		проходное сечение для дымо- вых газов между экраном теп- лообменных труб и обечайкой	
25.	$d_э$	m^2	0,814		эквивалентный диаметр	
26.	$f_{э.т.}$	m^2	0,502		площадь живого сечения дымового канала	
27.	H	m	6		высота дымовой трубы	

Таблица 5 Пр

Конструктивные параметры камеры сгорания
печи

№ п/п	Обозначение	Размерность	Значение	Наименование	Примечание
1	Φ_{δ}	м	0,54	внутренний диаметр камеры сгорания по среднему сечению	
2	$\delta_{к.с.}$	м	0,005	толщина стенки камеры сгорания	
3	$F_{к.с.}$	м ²	2,3	поверхность стен камеры сгорания	
4	$V_{к.с.}$	м ³	0,237	объем камеры сгорания	
5	F	м ²	1,836	теплопередающая поверхность камеры сгорания	
6.	$f_{вх}$	м ²	0,03	входное сечение воздуховода	
7.	$f_{вых}$	м ²	0,0832	выходное сечение воздуховода	
8.	$d_{эвх}$	м	0,15	эквивалентный диаметр входного сечения воздуховода	
9.	$d_{эвых}$	м	0,1	эквивалентный диаметр выходного сечения воздуховода	
10.	n_k	шт.	4.	число камер сгорания в печи	

Таблица 6 Пр

Абсолютное влагосодержание 1 кг атмосферного воздуха
в зависимости от температуры окружающей среды

t_n	-20	-10	0	10	20	30	40
δ_s	0,00063	0,00159	0,0038	0,0077	0,0147	0,0272	0,049

Коэффициенты, поправки и прочие величины

№ п/п	Обозначение	Размерность	Значение	Наименование	Примечание
1	2	3	4	5	6
I	$\psi_{p\delta}$	-	0,85	коэффициент, учитывающий неравномерную теплоотдачу по поверхности ребра, для ребер с цилиндрическим основанием	
2	ψ_{κ}	-	0,9	коэффициент, учитывающий полноту участия экрана в конвективном теплообмене	
3	α_3	-	0,8	степень черноты загрязненных стенок лучевоспринимающих поверхностей	
4	ψ_3	-	I	коэффициент, учитывающий геометрическое расположение труб	
5	ψ	-	1,2	коэффициент, зависящий от отношения $\frac{H_{sp}}{H_s}$, при $\frac{H_{sp}}{H_s} = 0$ $\psi = 1,2$	
6	μ	-	I	коэффициент, зависящий от формы ребер (влияние уширения ребер к основанию)	
7	$\epsilon \frac{M^2 \cdot \tau \cdot \text{гр.}}{\text{ккал}}$	-	0,005	коэффициент загрязнения ребер для газового топлива	
8	C_t	-	I	поправка на температуру нагреваемой среды	
9.	C_e	-	I	поправка на относительную длину труб. При $\frac{l}{d} = \frac{9}{0,159} = 57$ $C_e = I$	
10	C_s	-	4,96	коэффициент лучеиспускания абсолютно черной поверхности	
11	C_z	-	0,88	поправка на число рядов, поперечное направлению газов при $C_z = 2$	

1	2	3	4	5	6
12.	ρ	без разм.	0,54		индекс противоточности
13.	P_0	кг/см ²	1,05		давление в печи
14.	$\lambda_{ст}$	$\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{гр}}$	30		теплопроводность стенки камеры сгорания
15.	λ_M	-"-	40		теплопроводность стенки теплообменной трубы
16.	α	-	1,3		коэффициент избытка воздуха
17.	$q_{пот}$	-	0,05		потери тепла в окружающую среду
18.	η_T	-	0,96		коэффициент полезного действия топки
19.	n	-	2,5		коэффициент рециркуляции дымовых газов
20.	w^P	%	0		влажность топлива
21.	ψ_e	-	60		коэффициент, зависящий от вида соединения труб
22.	g	м/сек ²	9,81		ускорение свободного падения
23.	K	м	$0,2 \cdot 10^{-3}$		абсолютная шероховатость стенки
24.	$\xi_{\partial x}$	-	0,5		к-т местного сопротивления
25.	K_{Δ}	-	1		к-т, учитывающий шероховатость стенок
26.	ξ_0	-	1,2		к-т сопротивления поворотов
27.	B	-	1		к-т
28.	C	-	1		к-т
29.	$\xi_{вых}$	-	1,1		к-т сопротив. выхода
30.	\bar{b} мм рт. ст.		760		барометрическое давление

Таблица 8 П₂Поправочный коэффициент ξ_2 $P_{H_2O} = 0,05$, где P_{H_2O} из Б-33 БС-ПГ

t °C	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1400	1600	1800	2000	
ξ_2	0,95	0,944	0,938	0,935	0,926	0,92	0,914	0,908	0,902	0,896	0,89	0,884	0,878	0,872	0,866	
I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

 $P_{H_2O} = 0,07$

ξ_2	0,966	0,962	0,958	0,954	0,95	0,946	0,943	0,939	0,935	0,93	0,926	0,922	0,918	0,914	0,91
---------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	------

 $P_{H_2O} = 0,09$

ξ_2	0,982	0,98	0,979	0,977	0,975	0,973	0,971	0,969	0,967	0,965	0,963	0,961	0,959	0,957	0,955	88
---------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	----

 $P_{H_2O} = 0,11$

ξ_2	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I	I
---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

 $P_{H_2O} = 0,13$

ξ_2	1,013	1,014	1,016	1,017	1,019	1,021	1,023	1,025	1,026	1,027	1,028	1,029	1,03	1,031	1,032
---------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------

 $P_{H_2O} = 0,15$

ξ_2	1,018	1,022	1,026	1,03	1,034	1,038	1,042	1,046	1,05	1,054	1,058	1,062	1,066	1,07	1,074
---------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	------	-------

 $P_{H_2O} = 0,17$

ξ_2	1,025	1,031	1,037	1,043	1,049	1,055	1,061	1,067	1,073	1,079	1,085	1,091	1,097	1,103	1,109
---------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

I	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	1,031			$P_{H_2O} = 0,19$												
\bar{x}_2		1,04	1,048	1,056	1,064	1,073	1,081	1,089	1,098	1,106	1,115	1,123	1,131	1,139	1,147	
				$P_{H_2O} = 0,21$												
\bar{x}_2	1,037	1,048	1,059	1,07	1,08	1,091	1,102	1,112	1,123	1,113	1,114	1,125	1,136	1,147	1,158	
				$P_{H_2O} = 0,23$												
\bar{x}_2	1,044	1,056	1,069	1,082	1,095	1,108	1,121	1,133	1,146	1,158	1,172	1,185	1,198	1,211	1,224	
				$P_{H_2O} = 0,25$												
\bar{x}_2	1,05	1,065	1,08	1,095	1,11	1,125	1,14	1,155	1,17	1,185	1,20	1,215	1,23	1,245	1,250	

Таблица 9 Пр

Поправочный коэффициент ζ_z
 $P_{H_2O} = 0,05$, где P_{H_2O} из Б-33 БС-ПГ

t °C	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1400	1600	1800	2000	
ζ_z	1,04	1,033	1,028	1,025	1,022	1,02	1,018	1,017	1,016	1,06	1,016	1,016	1,016	1,016	1,016	1,016	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

$P_{H_2O} = 0,07$

ζ_z 1,026 1,021 1,018 1,015 1,013 1,012 1,011 1,010 1,01 1,01 1,01 1,01 1,01 1,01 1,01 1,01 1,01

$P_{H_2O} = 0,09$

ζ_z 1,014 1,011 1,009 1,008 1,007 1,006 1,005 1,005 1,005 1,005 1,005 1,005 1,005 1,005 1,005 1,005 1,005

$P_{H_2O} = 0,11$

ζ_z 1,0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

$P_{H_2O} = 0,13$

ζ_z 0,991 0,994 0,995 0,996 0,997 0,997 0,997 0,997 0,997 0,997 0,997 0,997 0,997 0,997 0,997 0,997 0,997

$P_{H_2O} = 0,15$

ζ_z 0,982 0,987 0,99 0,992 0,993 0,994 0,994 0,994 0,994 0,994 0,994 0,994 0,994 0,994 0,994 0,994 0,994

$P_{H_2O} = 0,17$

ζ_z 0,974 0,981 0,986 0,988 0,99 0,991 0,991 0,991 0,991 0,991 0,991 0,991 0,991 0,991 0,991 0,991 0,991

$P_{H_2O} = 0,19$

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	%	11	12	13	14	15	16	17
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	---	----	----	----	----	----	----	----

$$P_{H_2O} = 0,19$$

$\bar{\xi}_z$	0,965	0,974	0,981	0,985	0,987	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988	0,988
---------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

$$P_{H_2O} = 0,21$$

$\bar{\xi}_z$	0,956	0,967	0,967	0,982	0,985	0,986	0,986	0,986	0,986	0,986	0,986	0,986	0,986	0,986	0,986	0,986	0,986
---------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

$$P_{H_2O} = 0,23$$

$\bar{\xi}_z$	0,946	0,96	0,971	0,977	0,982	0,983	0,984	0,984	0,984	0,984	0,984	0,984	0,984	0,984	0,984	0,984	0,984
---------------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

$$P_{H_2O} = 0,25$$

$\bar{\xi}_z$	0,936	0,952	0,965	0,972	0,977	0,987	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981
---------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

8

Таблица 10 Пр

$h_{рс} \cdot \rho$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
$\bar{\xi}$	1	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,88	0,84	0,79	0,75	0,7	0,68	0,63	0,6	0,58	0,55	0,53

Таблица II

Стоимостные величины по печи ПТБ-10

№ п/п	Обозначение	Размерность	Значение	Наименование	Примечание
I	2	3	4	5	6
1.	$C_{оп}$	руб.	50000	Оптовая цена печи	
2.	$C_{д}^1$	руб.	48,8	Стоимость демонтажа камеры сгорания	
3.	$C_{м}^1$	руб.	97,6	Стоимость монтажа камеры сгорания	
4.	$C_{к.с.}$	руб.	562,0	Стоимость камеры сгорания	
5.	$C_{д}^2$	руб.	22,8	Стоимость демонтажа задвижек	
6.	$C_{м}^2$	руб.	45,6	Стоимость монтажа задвижек	
7.	$C_{з}$	руб.	725,0	Стоимость задвижек	
8.	$C_{д}^3$	руб.	36,2	Стоимость демонтажа трубопроводов	
9.	$C_{м}^3$	руб.	72,3	Стоимость монтажа трубопроводов	
10.	$C_{т}$	руб.	147,0	Стоимость трубопроводов	
11.	$C_{д}^4$	руб.	155,5	Стоимость демонтажа площадки обслуживания.	
12.	$C_{м}^4$	руб.	130,5	Стоимость монтажа площадки обслуживания.	
13.	$C_{пл.}$	руб.	1150,0	Стоимость площадки обслуживания	
14.	$C_{д}^5$	руб.	87,6	Стоимость демонтажа дымогарных труб	
15.	$C_{м}^5$	руб.	175,2	Стоимость монтажа дымогарных труб	
16.	$C_{д.т.}$	руб.	415,5	Стоимость дымогарных труб	
17.	$C_{д}^6$	руб.	214,2	Стоимость демонтажа теплообменной камеры	
18.	$C_{м}^6$	руб.	428,4	Стоимость монтажа теплообменной камеры	
19.	$C_{т.к.}$	руб.	28000	Стоимость теплообменной камеры	

1	2	3	4	5	6
20.	$C_{д}^7$	руб.	15,2	Стоимость демонтажа змеевиков отопления	
21.	$C_{м}^7$	руб.	30,4	Стоимость монтажа змеевиков отопления	
22.	$Ц_{з.о.}$	руб.	64,2	Стоимость змеевиков отопления	
23.	$C_{д}^8$	руб.	21,6	Стоимость демонтажа змеевиков паротушения	
24.	$C_{м}^8$	руб.	43,2	Стоимость монтажа змеевиков паротушения	
25.	$Ц_{з.п.}$	руб.	63,2	Стоимость змеевиков паротушения	
26.	$C_{д}^9$	руб.	15,2	Стоимость демонтажа газовой линии	
27.	$C_{м}^9$	руб.	30,4	Стоимость монтажа газовой линии	
28.	$Ц_{г.л.}$	руб.	64,8	Стоимость газовой линии	
29.	$Ц_{эл.}$	руб.	0,01	Стоимость 1 кВт.ч эл.энергии	
30.	$Ц_{г}$	руб.	0,026	Стоимость 1 м ³ топлива (газа)	
31.	$Q_{к.р.}$	-	0,068	Норма амортизации на кап.ремонт	
32.	$Q_{в}$	-	0,12	Норма амортизации на полное восстановление	
33.	$K_{с.м.}$	-	0,49	Процент строймонтажных работ	
34.	$K_{рт.з.}$	-	0,07	Процент транспортно-заготовительных работ	
35.	$K_{н}$	-	0,17	Процент накладных расходов	
36.	$K_{пл.}$	-	0,06	Процент плановых накоплений	
37.	$T_{в}$	лет	10	Нормативный срок службы печи	
38.	$Ен$	-	0,15	Нормативный коэффициент	

Таблица 12

Показатели по мощности

№ п/п	Обозначение	Размерность	Значение	Наименование	Примечание
1.	$P_{\text{э.д.}}^I$	кВт	55	Мощность электродвигателя для компрессора (по схеме СССР)	
2.	$P_{\text{э.д.}}^2$	кВт	110	Мощность электродвигателя для компрессора (по схеме ГДР)	
3.	η_n	кВт	0,8	К.П.Д. насоса при перекачке воды	

Таблица 13

Зависимость межремонтного пробега печи от
склонности пластовых вод в эмульсии к
отложению осадков

Тип пластовых вод	Число потоков m_x			
	1	1	2	1 4
Воды не склонные к образованию отложений $P_{\text{от}} = 0$	8		4	2
склонные $P_{\text{от}} = 1$	2		1	0,5 и меньше

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Контрольный пример

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица № 1 И.Д.

доли	КОМПОН.	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄	N ₂	CO ₂	H ₂	O ₂	CO	H ₂
		58,5	14,3	12,6	7,5	4,7	0,6	1,3	0,5	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица № 2 И.Д.

№ п/п	Обозначение	Наименование	размерность	Принимаемые значения			
				ВАРИАНТЫ			
				1	2	3	4
1	G _э	Расход эмульсии	кг/ч	375000			
2	t _{вх}	Температура эмульсии на входе в печь	°C	24			
3	t _{вых}	Температура эмульсии на выходе из печи	°C	47			
4	t _н	Температура окружающего воздуха	°C	12			
5	O _э	Обводненность эмульсии	доли ед.	0,55			
6	Δt	Изменение температуры уходящих дымовых газов	°C	10			

Таблица № 3 И.Д.

№ п/п	обозначение	Наименование	размерность	Принимаемые значения			
				ВАРИАНТЫ			
				1	2	3	4
1	ρ _в	плотность пластовой воды	кг/м ³	5	6	7	8
1	ρ _в	плотность пластовой воды	кг/м ³	1048			
2	ρ _н	плотность нефти	"	858			
3	C _{рв}	теплоемкость пластовой воды	ккал/кг·гр	0,95			
4	C _{рн}	теплоемкость нефти	"	0,47			
5	λ _в	теплопроводность пластовой воды	ккал/м·с·гр	0,48			
6	λ _н	теплопроводность нефти	"	0,132			
7	ν _э	вязкость кинематическая эмульсии	м ² /с	291,8·10 ⁻⁶			

Продолжение табл. № 3 И.Д.

1	2	3	4	5	6	7	8
8.	ρ_n^{20}	плотность нефти при $t = 20^\circ\text{C}$	кг/м ³	864			
9.	t_1	температура	°C	20			
10.	t_2	температура	°C	50			
11.	ν_1	вязкость нефти при t_1	сст	34,7			
12.	ν_2	вязкость нефти при t_2	сст	31,5			
13.	d_n^{15}	относит. плотность нефти при 15°C	-	0,868			

Таблица № 4 И.Д.

№ п/п	обозначение	Наименование	размерность	Принимаемые значения			
				1	2	3	4
1.	Δ	Абсолютная шероховатость теплообменных труб	м	0,0002			
2.	φ	Относительная влажность воздуха	-	0,7			
3.	T	Фактическое время работы печи в году	час	8000			
4.	P	Максимально-развиваемое давление насосов	кг/м ²	$17,1 \cdot 10^4$			
5.	P_0	Давление после печи	"	$6,8 \cdot 10^4$			
6.	n_n	Количество нагнетательных насосов перед печью	шт.	1			
7.	$n_{эл}$	Количество электродвигателей (компрессоров)	шт.	2			
8.	$K_{эл}$	Коэффициент использования компрессоров в году		0,7			
9.	$P_{от}$	Признак склонности пластовых вод к отложению осадков на поверхностях нагрева. Принимаемые значения: не склонные - 0 склонные - 1		0			
10.	$\delta_{от}$	Толщина отложений на поверхностях нагрева, м	м	0,001			
11.	$\lambda_{от}$	Коэффициент теплопроводности отложений	ккал/м·с·гр.	0,5			
12.	B	Количество газообразного топлива, кг/ч	кг/ч	1600			

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
ПЕЧИ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ЧИСТОТЕ ГОТОВОГО ПРОДУКТА

№	НАИМЕНОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА	ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ	РАЗМЕР- НОСТЬ	ЧИСЛО КОЭФ. ПО ТУБКАМ	1	2	3
1	РАСХОД НАГРЕВАЕМОЙ ВЕЩЕСТВИ	СЗ	Т/Ч		375000	375000	375000
2	РАСХОД ТОПЛИВА НА ГОРЕНИЕ	В	Т/Ч		1.528374E+03	1.514237E+03	1.447422E+03
3	МАКСИМАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ГОРЕ- НИЯ ТОПЛИВА	ТН1	°С		1.664955E+03	1.654955E+03	1.664952E+03
4	ТЕМПЕРАТУРА НАГРЕВА СТЕНКИ КА- МЕРЫ СГОРАНИЯ	ТСТ	°С		6.691389E+02	6.788867E+02	6.793794E+02
5	ТЕМПЕРАТУРА НАГРЕВА ВОЗДУХА В УЛИКЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ	ТВ	°С		8.273938E+01	8.318521E+01	8.407828E+01
6	КОЭФФИЦИЕНТ УЗВЯТКА ВОЗДУХА	ALFA	°С		1.349996E+00	1.349996E+00	1.349996E+00
7	ЛИНЕЙНАЯ СКОРОСТЬ ВЯКОСТИ В ТРУБАХ	W3	М/С		7.444742E+00	3.722371E+00	1.861165E+00
8	КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОТРАЧУ ОТ СТЕНКИ ТРУБ К ЖУЛЬСКИМ	ALF2	°С		4.371352E+03	2.875838E+03	1.526841E+03
9	ТЕМПЕРАТУРА СТЕНКИ ТРУБ	ТСТ	°С		6.815688E+01	7.708717E+01	9.128916E+01
10	КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛА, ПЕРЕДАННОЕ В ПЕЧИ	QP	ККАЛ/Ч		9.412007E+06	9.323889E+06	8.836556E+06
11	ТЕМПЕРАТУРА УХОДЯЩИХ ВНЕШЬ ГАЗОВ	ТУК	°С		5.182228E+02	5.170821E+02	5.280002E+02
12	ПОТЕРИ ДАВЛЕНИЯ В ТРУБАХ	DELTA P	КГ/СМ ²		2.028112E+05	2.495717E+04	3.478378E+03
13	РАЗРЖЕНИЕ, СОЗДАВАЕМОЕ ВНЕШЬ КАНАЛОМ	S	КГ/СМ ²		5.662251E+00	5.882251E+00	5.294409E+00
14	ВОРЖАНИКОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЕЧИ	НВ	КГ/СМ ²		6.658582E+00	5.947999E+00	5.584798E+00
15	РАСХОДЫ ПРИВЕДЕННЫЕ ЗАТРАТЫ	ZAT	°С	ИЗМЕНЧИВОСТЬ ДАВ.	2.546521E+05	2.713867E+05	

СОДЕРЖАНИЕ

I. Основная цель разработки руководящего документа	<u>3</u>
2. Методика расчета и оптимизации блочных трубчатых печей типа ПТБ	<u>5</u>
Приложение I. Алгоритм расчета и оптимизации блочных трубчатых печей ПТБ-10	<u>II</u>
Приложение 2. Контрольный пример	<u>90</u>

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ
М Е Т О Д И К А
РАСЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИИ БЛОЧНЫХ ТРУБЧАТЫХ
ПЕЧЕЙ ТИПА ПТБ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ
РД 39-0147103-317-86

450055, Уфа, просп. Октября, 144/3

Подписано в печать 15.02.86 г. ПО 1223

Формат 60x90 1/16. Уч.-изд.л. 4,8. Тираж 160 экз.

Заказ **152**

Ротапринт ВНИИСПТнефти