

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

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

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 ПТБ С ПОМОЩЬЮ ЭЕМ**

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. Чурным В.Н., ст.инж. Муравьевой Р.Ф., ст.инж. прогн. Валеханиной 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.

I. 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: обгоревших 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 ЭЕМ 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 ПТЬ

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., ВНИИнефтемам, 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 36-1-1073-84. Уфа, ВНИИСПнефть, 1984.

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

Математическое обеспечение ЕС-ЭВМ, выпуск 14, Минск. Институт математики АН БССР, 1974.

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

Сервисные процедуры ОС ЕС Пермь, НИОСИС, 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 11 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-V.

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-0), 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 $Q_{ра}$, temperа-

туру уходящих дымовых газов $t_{\text{ух}}$. 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 ($t_{\text{стт}}$) положен закон Фурье. При превышении температуры стенок труб предельного значения снижается расход количества топлива и проводится пересчет ($t_{\text{стт}}$). 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, AVP, 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+14 Пр. (см. приложение I). В программе RASPECH для каждого m_x (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+4 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 устье камеры сгорания и ухо-

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 привязки 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 НИТУ ИО "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 ИЦ ИИИАСИТнефть и выдается по запросу пользователей.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Алгоритм расчета и оптимизации
блочных трубчатых печей ПТВ-10

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 1 И.Д.

Состав топливного газа

(заполняется одна из строк: либо т., либо г.)

| Доли | Компоненты газообразного топлива | | | | | | | | | | | |
|--------|----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----|----------------|
| | 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 |
| т. | | | | | | | | | | | | |
| % об. | | | | | | | | | | | | |
| г. | | | | | | | | | | | | |
| % мас. | | | | | | | | | | | | |

Таблица 2 И.Д.

Технологические величины

| № | Обозначение | Наименование | Размерность | Принятое значение | Примечание |
|---|------------------|--|-------------|-------------------|------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | G | Расход эмульсии | кг/ч | | |
| 2 | t _{вх} | Температура эмульсии на входе в печь | °C | | |
| 3 | t _{вых} | Температура эмульсии на выходе из печи | °C | | |
| 4 | t _н | Температура окружающего воздуха | °C | | |
| 5 | O | Обводненность эмульсии | доли ед. | | |
| 6 | δt | Изменение температуры уходящих дымовых газов | °C | | |

Таблица 3 И.Д.

Теплофизические свойства нагреваемой среды

| № п/п | Обозначение | Наименование | Размерность | Принимаемые значения | 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 | - | | |

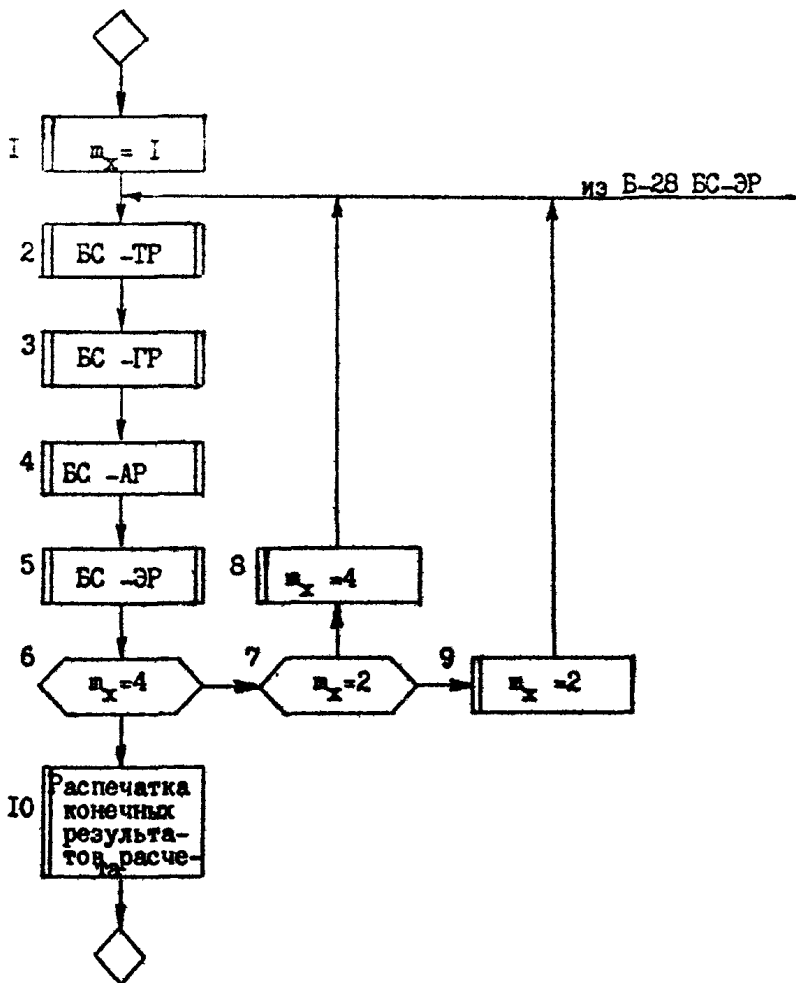
ПРОЧЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

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_n | 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. |

ЕС- 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-3,9

Б-7. Проверка: $m_x = 2$,

где m_x из Б-1 или из Б-3,9

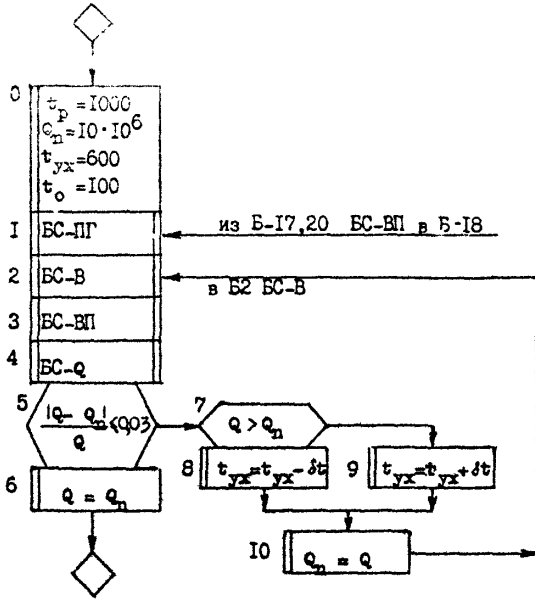
Б-8. Принять: $m_x = 4$

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

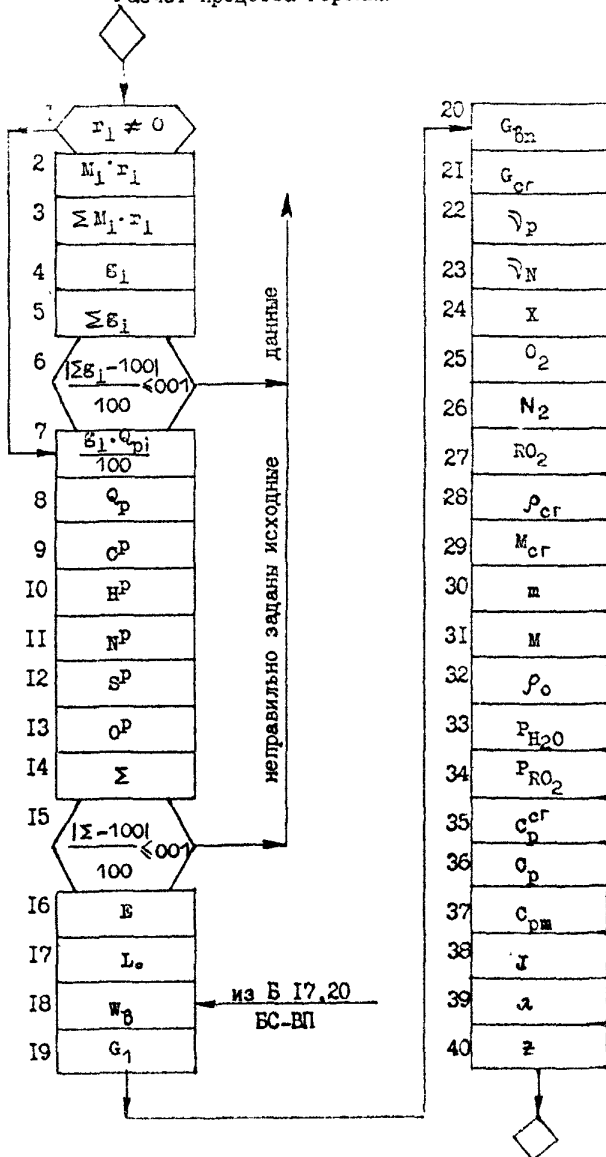
δt из ТЗИД

Б-10 Принять $Q_n = Q,$

где Q из Б-5 ЕС- Q

ЕС-ПГ

Расчет процесса горения



Приложение к ЕС-ПГ

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

где γ_i из ТИ И.Д.

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

$$M_i \cdot \gamma_i,$$

где M_i из ТИ Пр

γ_i из ТИ 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 ТИ 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 ТИ 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 ТИ И.Д.

m_i из ТИ Пр

M_i из ТИ 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,

$$L_0 = 0,1154 (1+E) \cdot (C^P + 0,375 \cdot S_A^P),$$

где E из Б-16

C^P из Б-9

S_A^P из Б-12

Б-18. Содержание водяных паров в атмосфере воздуха:

$$w_B = \varphi \cdot \delta_3 \cdot \alpha \cdot L_o ,$$

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

δ_3 - из Т6 Пр при t_n из Т2 И.Д.

α - из Т7 Пр или из Б-17, 20 БС-ВП.

L_o - Б-17.

Б-19. Количество газообразных продуктов сгорания:

$$G_1 = 1 + \alpha \cdot L_o + w_B ,$$

где α из Т7 Пр или Б-17, 20 БС-ВП.

L_o из Б-17

w_B из Б-18.

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

$$G_m = \frac{8,94 \cdot H^P + w^P}{100} + w_B ,$$

где H^P из Б-10

w^P из Т7 Пр.

w_B из Б-18.

Б-21. Количество сухих газов

$$G_{сг} = G_1 - G_m ,$$

где G_1 из Б-19

G_m из Б-20

Б-22. Характеристика рабочей массы топлива:

$$\gamma^P = \frac{G_{сг} - \alpha \cdot L_o}{L_o} ,$$

где $G_{сг}$ из Б-21

α 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:

$$x = \frac{0,209E}{I + E} - 0,79I \cdot \gamma^N,$$

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,

$$P_{H_2O} = \frac{M}{M_{вп}} \cdot \frac{G_{вп}}{G_1} \cdot P_s,$$

$$\text{где } M \text{ из Б-31} \\ M_{вп} = 18 \\ G_{вп} \text{ из Б-20} \\ G_1 \text{ из Б-19} \\ P_s \text{ из Т7 Пр}$$

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

$$P_{\text{сг}} = (P_s - P_{H_2O}) \cdot \frac{RQ_{сг}}{100} \cdot P_s,$$

$$\text{где } P_s \text{ из Т7 Пр} \\ P_{H_2O} \text{ из Б-33} \\ RQ_{сг} \text{ из Б-27}$$

Б-35. Теплоемкость сухих газов,

$$C_p^{сг} = C_p^s + \frac{\Delta C_p^{сг} \cdot 10^{-4}}{\omega + \varphi^p},$$

$$\text{где } C_p^s \text{ из Т2 Пр} \\ \Delta C_p^{сг} \text{ из Т3 Пр} \\ \omega \text{ из Т7 Пр или Б-17, 20 БС-ВП} \\ \varphi^p \text{ из Б-22}$$

Б-36. Истинная теплоемкость продуктов сгорания:

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

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

1 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,

$$\lambda = \lambda_T \cdot \xi_\lambda \cdot 10^{-4},$$

где λ_T из ТЗ Пр

ξ_λ из Т8 Пр

Б-40. Абсолютная вязкость продуктов сгорания,

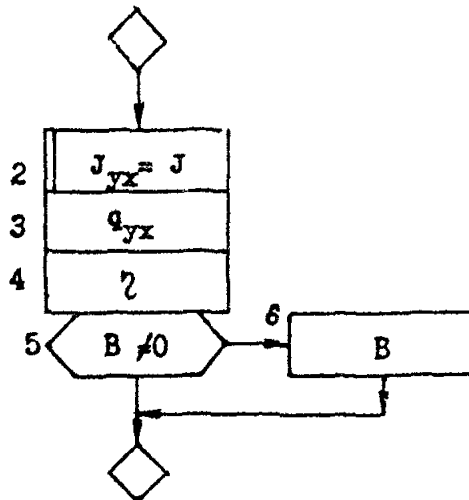
$$\mu = \mu_T \cdot \xi_\mu \cdot 10^{-6},$$

где μ_T из ТЗ Пр

ξ_μ из Т9 Пр

ЕС -В

Расчет количества топлива



БС-В

Расчет количества топлива

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

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: $B \neq 0$,

где B из Т4 И.Д.

Б-6. Расход топлива

$$B = \frac{Q_{п}}{\eta \cdot Q_p^H},$$

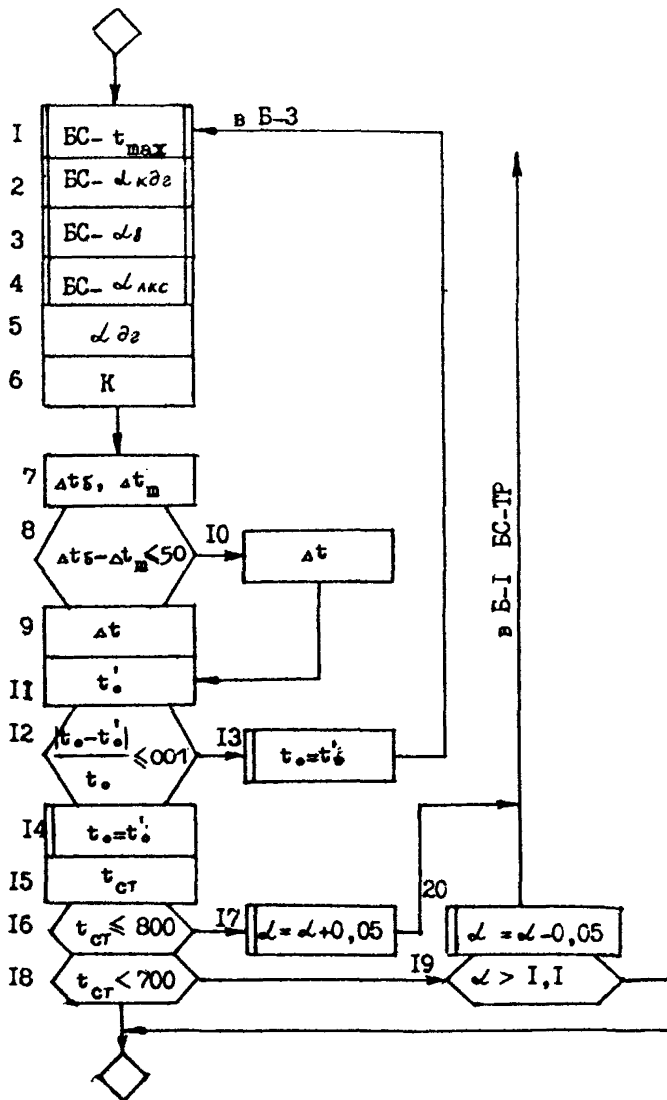
где $Q_{п}$ из Т7 Пр

η из Б-4

Q_p^H из Б-8 БС-ПГ.

ЕС-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- α_g

Б-5 Коэффициент теплоотдачи со стороны дымовых газов

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

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

Б-6 Коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{дгг}} + \frac{1}{\alpha_g} + \frac{\delta_{лс}}{\lambda_{ст}}},$$

где $\alpha_{дгг}$ из Б-4 α_g из Б-9 БС- α_g $\delta_{лс}$ из Т5 Пр $\lambda_{ст}$ из Т7 ПрБ-7 Принять $\Delta t_s = t_{max} - t_n$

$$\Delta t_m = t'_{max} - t_o$$

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

Б-9 Среднеарифметический температурный напор:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_s + \Delta t_m}{2},$$

где $\Delta t_s, \Delta t_m$ из Б-7.

Б-10 Среднегеометрический температурный напор:

$$\Delta t = \frac{at_s - at_m}{2.3 \lg \frac{at_s}{at_m}},$$

где at_s, at_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} из Б-3 БС- t_{max}

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

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:

$$t_{cr} = t_{cr \kappa c} - \frac{\kappa (t_{cr \kappa c} - t'_{cp})}{\alpha_{gr}}$$

где $t_{cr \kappa c}$ из Б-3 БС- α_{gr}

κc из Б-6

t'_{cp} из Б-3 БС- t_{max}

α_{gr} из Б-5

Б-16. Проверка $t_{cr} < 800$,

где t_{cr} из Б-15.

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

где α из Т7 Пр или Б-17, 20

Б-18. Проверка $t_{cr} < 700$

где t_{cr} из Б-15.

Б-19. Проверка $\alpha > 1,1$

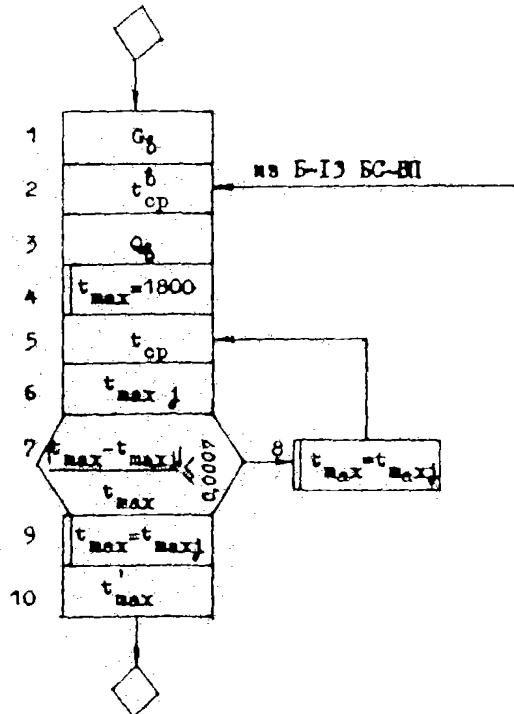
где α из Т7 Пр или из Б-17, 20.

Б-20 Принять $\alpha = \alpha - 0,05$

где α из Т7 Пр или из Б-17, 20.

$$\text{BC} - t_{\text{max}}$$

Расчет максимальной температуры горения
топлива



Приложение к БС-т-мк

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

где α из Т7 Пр или из Б-17,20, БС-ВН.

L_0 из Б-17 БС-III

B из Б-5 БС-В.

Б-3. Средняя температура воздуха:

$$t_{\text{ср}}^{\text{в}} = \frac{t_{\text{н}} + t_{\text{о}}}{2},$$

где $t_{\text{н}}$ из Т2 И.Д.

$t_{\text{о}}$ из Б-0 БС-ТР или из Б-13,14, БС-ВН.

Б-4. Количество тепла, получаемого воздухом:

$$Q_{\text{в}} = 1,02 \text{ В} \cdot L_0 \cdot C_{\text{рв}}^{\text{в}} (t_{\text{о}} - t_{\text{н}}),$$

где B из Б-5 БС-В

L_0 из Т7 Пр или из Б-17,20, БС-ВН

L_0 из Б-17 БС-III

$C_{\text{рв}}^{\text{в}}$ из Т2 Пр при $t_{\text{ср}}^{\text{в}}$ из Б-3

$t_{\text{н}}$ из Б-0 БС-ТР или Б-13,14, БС-ВН

Б-5. Принять $t_{\text{max}} = 1800$ °С.

Б-6. Средняя температура горения топлива:

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{о}} + t_{\text{max}}}{2}.$$

где $t_{\text{о}}$ 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:

$$t_{\text{max}} = t_{\text{о}} + \frac{\gamma_{\text{г}} Q_{\text{г}}^{\text{г}}}{G_{\text{г}} \cdot C_{\text{рв}}^{\text{г}}},$$

где $t_{\text{о}}$ из Б-0 БС-ТР или Б-13,14, БС-ВН.

$\gamma_{\text{г}}$ из Т7 Пр.

$Q_{\text{г}}^{\text{г}}$ из Б-9 БС-III

$G_{\text{г}}$ из Б-19 БС-III

$C_{\text{рв}}^{\text{г}}$ из Б-37 БС-III при $t_{\text{ср}}^{\text{г}}$ 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

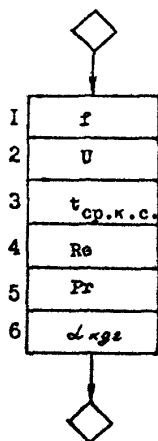
β из Б-5 БС-В

G_1 из Б-19 БС-II

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

БС - ЛК 22

Расчет коэффициента теплоотдачи конвекцией
со стороны дымовых газов в камере сгорания



Приложение к БС- д к д г

Б-1. Живое сечение камеры сгорания:

$$f = \frac{\pi D_s^2}{4},$$

где D_s из Т5 Пр.

Б-2. Весовая скорость продуктов сгорания:

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

где G_1 из Б-5 БС-В

G_1 из Б-19 БС-ПГ

f из Б-1

n_k из Т5 Пр.

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

$$t_{аркс} = \frac{t_{max} + t'_{max}}{2},$$

где t_{max} из Б-10 БС- t_{max}

t'_{max} из Б-11 -"

Б-4 Число Рейнольдса

$$Re = \frac{u \cdot D_s}{z},$$

где u из Б-2

D_s из Т5 Пр.

z из Б-40 при $t_{аркс}$ 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 $t_{аркс}$ из Б-3

λ из Б-39

Б-6. Коэффициент теплоотдачи конвекцией в камере сгорания:

$$\alpha_{кгг} = 0,021 \frac{\lambda}{D_s} \cdot C_e \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43},$$

где λ из Б-39 БС-ПГ при $t_{аркс}$ из Б-3

$D_s = D_s$ из Т5 Пр

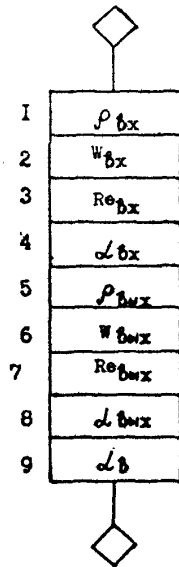
C_e из Т7 Пр

Re из Б-4

Pr из Б-5

БС - 21

Расчет коэффициента теплоотдачи
со стороны воздуха



Приложение к ЕС- 28

Б-1. Плотность воздуха при t_n :

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

где t_n из Т2 И.Д.

Б-2. Скорость воздуха во входном сечении:

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

где G_1 из Б-1 ЕС- t_{max}

ρ_{θ_k} из Б-1

f_{θ_k} из Т5 Пр.

η_k из Т5 Пр.

Б-3. Число Рейнольдса во входном сечении

$$Re_{\theta_k} = \frac{w_{\theta_k} d_{\theta_k}}{\gamma_8},$$

где w_{θ_k} из Б-2

d_{θ_k} из Т5 Пр.

γ_8 из Т2 Пр при t_n из Т2 И.Д.

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

$$\alpha_{\theta_k} = 0,023 \cdot Re_{\theta_k}^{0,82} \frac{\lambda_8}{d_{\theta_k}},$$

где Re_{θ_k} из Б-3

λ_8 из Т2 Пр при t_n из Т2 И.Д.

d_{θ_k} из Т5 Пр.

Б-5. Плотность воздуха при t_o :

$$\rho_{\theta_k} = 1,293 \frac{273}{273 + t_o},$$

где t_o из Б-0 ЕС- ТР или из Б-13,14 ЕС-ВП.

Б-6. Скорость воздуха в выходном сечении:

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

где G_1 из Б-1 ЕС- t_{max} f_{θ_k} из Т5 Пр

ρ_{θ_k} из Б-5

η_k из Т5 Пр.

Б-7. Число Рейнольдса в выходном сечении:

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

где $w_{вых}$ из Б-6

$d_{вых}$ из Т5 Пр

ν_{δ} из Т2 Пр при t_0 из Б-0 БС-ТР или Б-13, 14, БС-В1

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

$$\alpha_{вых} = 0,023 \cdot Re_{вых}^{0,8} \frac{\lambda_{\delta}}{d_{вых}}$$

$Re_{вых}$ из Б-7

λ_{δ} из Т2 Пр при t_0 из Б-0 БС-ТР Б-13, 14, БС-В1

$d_{вых}$ из Т5 Пр.

Б-9. Коэффициент теплоотдачи со стороны воздуха:

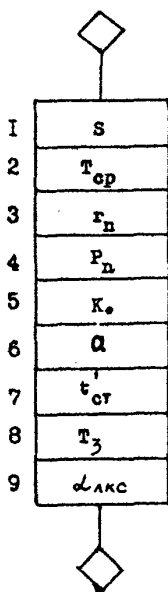
$$\alpha_{\delta} = \frac{\alpha_{вх} - \alpha_{вых}}{2,3 \lg \frac{\alpha_{вх}}{\alpha_{вых}}}$$

где $\alpha_{вх}$ из Б-4

$\alpha_{вых}$ из Б-8.

БС - ЛАКС

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:

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

где $t_{\text{ср КС}}$ 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-III

$\gamma_{\text{H}_2\text{O}} = p_{\text{H}_2\text{O}}$ из Б-33 БС-III

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:

$$K_0 = \frac{0,78 + I_0,6}{\sqrt{p_{\text{п}} S_{\text{КС}}}} \cdot (1 - 0,37 \frac{T_{\text{ср}}}{1000}),$$

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

$p_{\text{п}}$ 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:

$$\alpha = 1 - e^{-K_0 p_0 S_{\text{КС}}},$$

где K_0 из Б-6

p_0 из Т7 Пр

$S_{\text{КС}}$ из Б-1

Б-7. Средняя температура стенки камеры сгорания:

$$t_{\text{ст}}^{\text{ср}} = t_{\text{ср}}^{\text{ср}} + \frac{t_{\text{ср КС}} - t_{\text{ср}}^{\text{ср}}}{1 + \frac{2\delta}{\lambda_{\text{КС}}}}$$

где $t_{\text{ср}}^{\text{ср}}$ из Б-3 БС-в.м.к.

$t_{\text{ср КС}}$ из Б-3 БС-ЛКС

α_3 из Б-9 ЕС-об

$\alpha_{\text{кр}} из Б-6 ЕС-об \text{ кг}^r$

Б-8. Температура стенки трубы без загрязнения:

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

Б-9. Коэффициент теплоотдачи излучением продуктов сгорания:

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

где α_3 из Т7 Пр

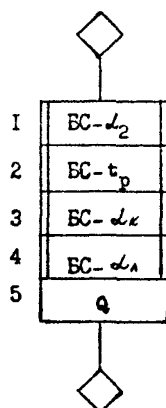
a из Б-7

T_{cp} 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_x
Б-2. Обращение к БС- t_p
Б-3. Обращение к БС- α_k
Б-4. Обращение к БС- α_λ
Б-5. Полное тепло, переданное в печи:

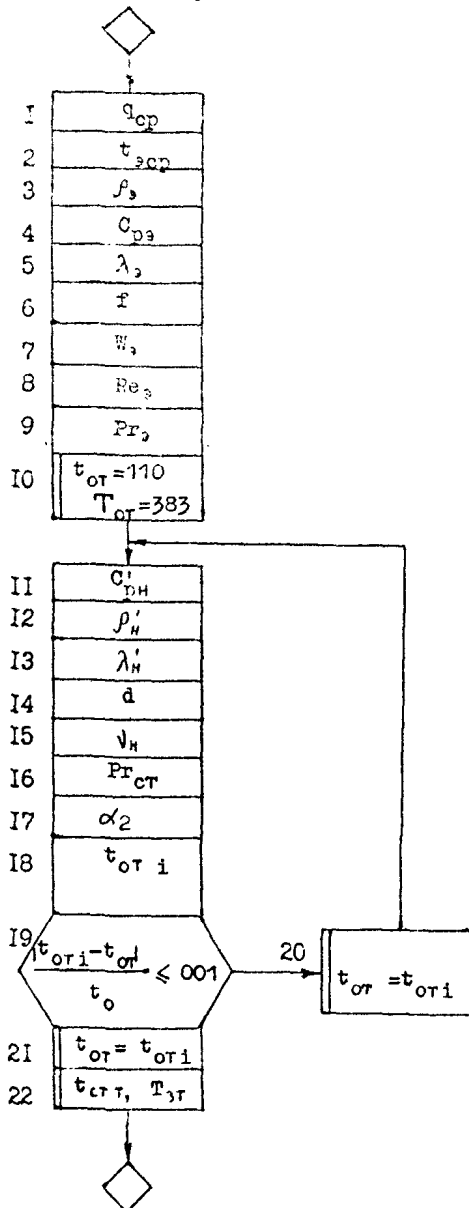
$$Q = Q_k + Q_\lambda$$

где Q_k из Б-20 БС- α_k

Q_λ из Б-II БС- α_λ

ЕС- α_2

Расчет коэффициента теплоотдачи от стенки
трубы к эмульсии



Внести в таблицу результатов расчета:

$t_{от}$ — температура стенки трубы с отложениями
из Б-24

Приложение к БС- 2

Б-1. Средняя теплонпряженность гладких труб:

$$q_{ср} = \frac{Q_n}{H_p}, \quad \text{где } Q_n \text{ из Б-0 или Б-II БС-ТР}$$

Б-2. Средняя температура эмульсии в трубах:

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

Б-3. Плотность эмульсии:

$$\rho_э = \rho_г O_э + \rho_n (1 - O_э), \quad \text{где } \rho_г, \rho_n \text{ из Т3 И.Д.}$$

O_э из Т2 И.Д.

Б-4. Теплоемкость эмульсии:

$$C_{рэ} = C_{рг} O_э + C_{рн} (1 - O_э), \quad \text{где } C_{рг}, C_{рн} \text{ из Т3 И.Д.}$$

O_э из Т2 И.Д.

Б-5. Теплопроводность эмульсии:

$$\lambda_э = \lambda_г \cdot O_э + \lambda_n (1 - O_э), \quad \text{где } \lambda_г, \lambda_n \text{ из Т3 И.Д.}$$

O_э из Т2 И.Д.

Б-6. Площадь проходного сечения трубы:

$$f = \frac{\pi d_{вн}^2}{4}, \quad \text{где } \sigma = 3,14$$

d_{вн} из Т4 Пр

Б-7. Средняя линейная скорость эмульсии в трубах:

$$W_э = \frac{G_э}{3600 \rho_э f m_k}, \quad \text{где } G_э \text{ из Т2 И.Д.}$$

ρ_э из Б-3
f из Б-6
m_k из Б-1, 7, 8 БС-РП

Б-8. Число Рейнольдса в трубах:

$$Re_э = \frac{W_э d_{вн}}{\nu_э}, \quad \text{где } W_э \text{ из Б-7}$$

d_{вн} из Т4 Пр
ν_э из Т3 И.Д.

Б-9. Число Прандтля

$$Pr_э = \frac{3600 C_{рэ} \nu_э \rho_э}{\lambda_э}, \quad \text{где } C_{рэ} \text{ из Б-4}$$

ν_э из Т3 И.Д.

ρ_0 из Б-3 λ_0 из Б-5

Б-10. Принять $t_{от} = 110$ °С
 $T_{от} = 383$ °К.

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

$$C_{рн}' = \frac{(0,403 + 0,00081 t_{от})}{\sqrt{d_n^{15}}}, \text{ где } \begin{array}{l} t_{от} \text{ из Б-10 или Б-20} \\ \rho_n^{20} \text{ из Т3 И.Д.} \\ d_n^{15} \text{ из Т3 И.Д.} \end{array}$$

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 Т3 И.Д.
 $T_{от}$ из Б-10 или Б-20
 d_n^{15} из Т3 И.Д.

Б-13. Теплопроводность нефти:

$$\lambda_n' = \frac{0,1}{d_n^{15}} (1 - 0,00054 \cdot t_{от}), \text{ где } \begin{array}{l} d_n^{15} \text{ из Т3 И.Д.} \\ t_{от} \text{ из Б-10 или Б-20} \end{array}$$

Б-14. Показатель степени:

$$d = 10^{0,9 \lg(\gamma_1 + 0,8) + \frac{[\lg \gamma_1 (\gamma_1 + 0,8) - \lg \gamma_2 (\gamma_2 + 0,8)]}{\lg T_1 - \lg T_2}} \cdot (\lg T_{от} - \lg T_1),$$

где t, γ из Т3 И.Д.

$T_{от}$ из Б-10 или Б-20

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

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

Б-16. Число Прандтля стенки;

$$Re_{ст} = \frac{3600 \cdot C_{рн} \cdot \eta_n \cdot \rho_n'}{\lambda_n}, \quad \text{где } \begin{array}{l} C_{рн} \text{ из Б-11} \\ \eta_n \text{ из Б-15} \\ \rho_n' \text{ из Б-12} \\ \lambda_n' \text{ из Б-13} \end{array}$$

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

$$d_1 = 0,023 \frac{Re_0^{0,8} Re_0^{0,8} Pr_0^{0,43}}{d_n} \left(\frac{Pr_0}{Pr_{ст}} \right)^{0,25} C_t C_e,$$

где λ_0 из Б-5
 d_n из Т4 Пр
 Re_0 из Б-8
 Pr_0 из Б-9
 C_t, C_e
 $Pr_{ст}$ из Б-16
 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 $t_{от} = t_{отi}$

где $t_{отi}$; $T_{отi}$ из Б-18

$$T_{от} = T_{отi}$$

Б-22. Температура стенки трубы со стороны ребер:

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

где $t_{от}$ из Б-20,

$q_{ср}$ из Б-1

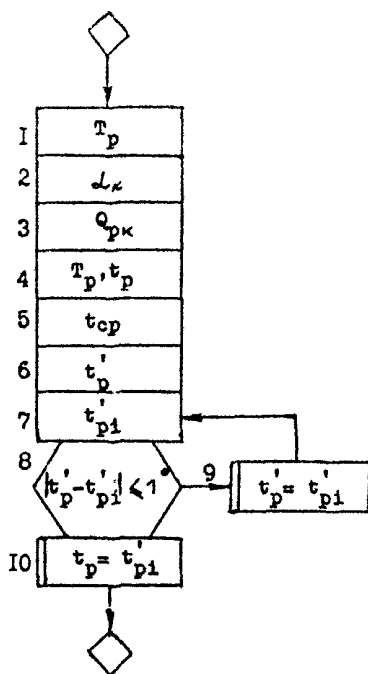
δ_r из Т4 Пр

λ_m из Т7 Пр

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

ЕС - t_p

Расчет температуры дымовых газов на перевале



Приложение к ЕС-тр

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

Б-2 Средняя теплонапряженность гладких труб:

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

$$F_{2\lambda} \text{ из Т4 Пр.}$$

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

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

$$T_{3T} \text{ из Б-2I ЕС-}\alpha_2$$

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-2I ЕС- 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, ЕС-ТР

Q_{pk} из Б-7, T_{3T} из Б-2I, ЕС- α_2

$$t_p = T_p - 273.$$

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

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

где t_p из Б-8

t_{yx} из Б-0 ЕС-ТР или из Б-9, 10, ЕС-ТР

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

$$t_{pi} = \frac{C_{mp} \cdot t_p + 1,5 C_{mp} \cdot t_{cp}}{2,5 C_{mp}},$$

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

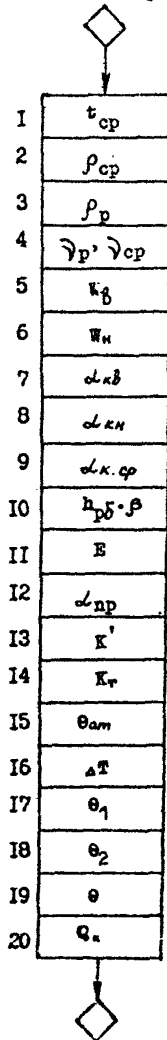
$C'_{ртр}$ из Б-43 БС-ПГ при t'_p из Б-10 или I3

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

где t'_p из Б-10, I3; t'_{pi} из Б-II.

ЕС- Δk

Расчет количества тепла, переданного конвекцией
в теплообменной камере



Приложение к ЕС-Лк

Б-1. Средняя температура дымовых газов

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

Б-2. Плотность дымовых газов при средней температуре

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

Б-3. Плотность дымовых газов при температуре перевала

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

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 ЕС-ПГ при t_{cp} из Б-1

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

ρ_{cp} из Б-2

ρ_p из Б-3

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

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

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

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

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

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

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-тр
 $S_{p\delta}$ из Т4 Пр
 d из Т4 Пр
 $h_{p\delta}$ из Т4 Пр
 W_{δ} из Б-5
 ϑ_p из Б-4

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

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

где λ_{cp} из Б-39 БС-ПГ при t_{cp} из Б-1
 W_H из Б-6
 ϑ_{cp} из Б-4

Б-9. Средний коэффициент теплоотдачи конвекцией

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

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

Б-10.
$$h_{p\delta} \cdot \beta = h_{p\delta} \sqrt{\frac{2 \psi_{p\delta} \alpha_{кcp}}{S_{p\delta} \lambda_m (1 + \beta \psi_{p\delta} \alpha_{кcp})}},$$

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

Б-11. Коэффициент эффективности ребер

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

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

$$\alpha_{np} = \left[\frac{F_p}{F_n} \varepsilon \beta + \frac{F_{TP}}{F_n} \right] \frac{\psi \rho \delta \cdot \alpha_{ксп}}{1 + \varepsilon \psi \rho \delta \alpha_{ксп}} \quad ,$$

где F_p, F_n, F_{TP} из Т4 Пр

$\varepsilon, \beta, \psi \rho \delta$ из Т7 Пр

ε из Б-11

$\alpha_{ксп}$ из Б-9

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

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

где α_{np} из Б-12

α_{λ} из Б-9 БС- α_{λ}

F_n, F_{λ} из Т4 Пр

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

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

где K' из Б-13

F_n, F_{λ} из Т4 Пр

Б-15. Средняя арифметическая разность температур потоков:

$$\Theta_{\text{ср}} = \frac{t_p + t_{\lambda}}{2} - \frac{t_{\text{вх}} + t_{\text{вх}}}{2} \quad ,$$

где t_p из Б-14 БС- t_p

t_{λ} из Б-0 БС-ТР или Б-8,9 БС-ТР

$t_{\text{вх}}, t_{\text{вх}}$ Т2 И.Д.

Б-16. Характеристическая разность температур потоков:

$$\Delta T = \sqrt{[(t_p - t_{\lambda}) + (t_{\text{вх}} - t_{\text{вх}})]^2 - 4P(t_p - t_{\lambda})(t_{\text{вх}} - t_{\text{вх}})} \quad ,$$

где $t_p, t_{\text{вх}}, t_{\text{вх}}, t_{\lambda}$ - см. Б-15

P из Т7 Пр.

Б-17. Наибольшая разность температур

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

где θ_{aT} из Б-15

ΔT из Б-16

Б-18. Наименьшая разность температур

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

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

$$\theta_m = \frac{\theta_1 - \theta_2}{2,3 \lg \frac{\theta_1}{\theta_2}}, \quad \text{где } \theta_1 \text{ из Б-17}$$

θ_2 из Б-18

Б-20. Тепло, переданное нагреваемому продукту конвекцией,

$$Q_k = \theta_m K_T F_{2,1},$$

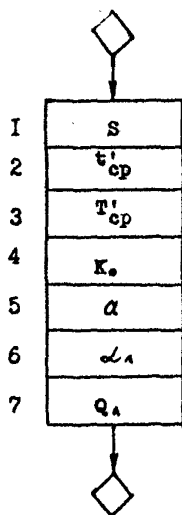
где θ_m из Б-19

K_T из Б-14

$F_{2,1}$ из Т4 Пр.

ЕС - α_1

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



Приложение к ЕС- ω_A

В-1. Эффективная толщина излучающего слоя, м :

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

$$F_{\text{ст}} \text{ из Т4 Пр}$$

В-2. Средняя температура дымовых газов до перевала, $^{\circ}\text{C}$:

$$t'_{\text{ср}} = \frac{t'_{\text{max}} + t_p}{2}, \quad t'_{\text{max}} \text{ из В-II ЕС- } t'_{\text{max}}$$

$$t_p \text{ из В-14 ЕС- } t_p$$

В-3. $T'_{\text{ср}} = t'_{\text{ср}} + 273,$

где $t'_{\text{ср}}$ из В-2.

В-4. Коэффициент ослабления лучей для трехатомных газов:

$$K_0 = \left(\frac{0,78 + 1,6 \gamma_{\text{H}_2\text{O}}}{\sqrt{P_n \cdot S}} \right) \left(1 - 0,37 \frac{T'_{\text{ср}}}{1000} \right) \cdot \kappa_n,$$

где $\gamma_{\text{H}_2\text{O}} = \rho_{\text{H}_2\text{O}}$ из В-33 ЕС-III
 P_n из В-5 ЕС- $\omega_{\text{ЛКС}}$
 S из В-1
 $T'_{\text{ср}}$ из В-3
 κ_n из В-4 ЕС- $\omega_{\text{ЛКС}}$

В-5. Степень черноты потока газов:

$$a = 1 - e^{-K_0 \rho_0 S},$$

где K_0 из В-4

ρ_0 из Т7 Пр

S из В-1.

В-6. Коэффициент теплоотдачи излучением продуктов сгорания:

$$\omega_A = 4,9 \cdot 10^{-8} \frac{a_3 + 1}{2} \cdot a \cdot (T'_{\text{ср}})^3 \frac{1 - \left(\frac{T_{\text{ст}}}{T'_{\text{ср}}}\right)^{2,6}}{1 - \frac{T_{\text{ст}}}{T'_{\text{ср}}}},$$

где a_3 из Т7 Пр

a из В-7

$T'_{\text{ср}}$ из В-3

$T_{\text{ст}}$ из В-21 ЕС- ω_A

В-7. Тепло, переданное излучением продуктов сгорания:

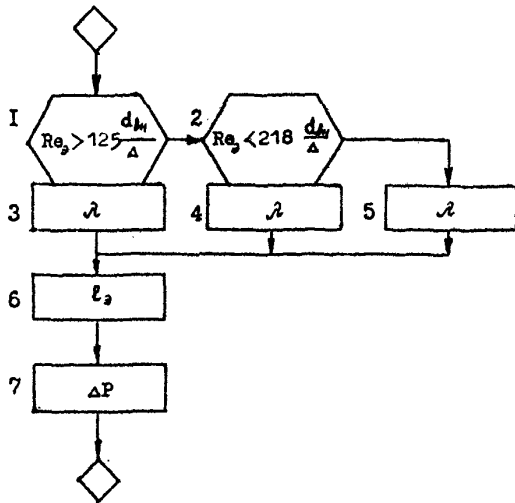
$$Q_A = \omega_A (T'_{\text{ср}} - T_{\text{ст}}) N_A, \quad \text{где } \omega_A \text{ из В-10}$$

$$T_{\text{ст}} \text{ из В-21 ЕС- } \omega_A, T'_{\text{ср}} \text{ из В-3}$$

$$N_A \text{ из Т4 Пр}$$

ЕС -ГР

Гидравлический расчет печи



Приложение к ВС-ГР

Б-1. Проверка

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

где Re из Б-7 ВС-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:

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

Б-4. $\lambda = 0,1 \left(\frac{\Delta}{d_{\text{вн}}} + \frac{100}{Re} \right)^{0,25}$,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 |
|----------|----|----|---|
| ψ_e | 32 | 16 | 8 |

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

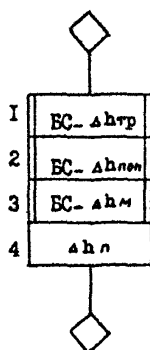
Б-7. Потери напора в трубах:

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

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

ЕС - АР

Аэродинамический расчет печи



Приложение к ЕС-АР

Б-1 Обращение к ЕС- $\Delta h_{тр}$

Б-2 Обращение к ЕС- $\Delta h_{поп}$

Б-3 Обращение к ЕС - Δh_m

Б-4 Аэродинамическое сопротивление печи:

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

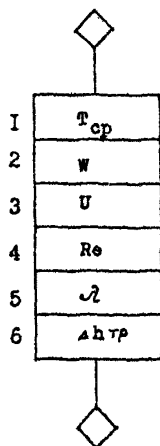
где $\Delta h_{тр}$ из Б-6 ЕС- $\Delta h_{тр}$

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

Δh_m из Б-7 ЕС- Δh_m

ЕС - Δh_{TP}

Расчет сопротивления трения



Приложение к БС- $\Delta h_{тр}$

Б-1. Средняя температура дымовых газов, К :

$$T_{cp} = t_{cp} + 273,$$

где t_{cp} из Б-1 БС- Δk .

Б-2. Скорость дымовых газов в теплообменной камере:

$$W = \frac{n \beta G_1}{3600 \cdot 2 F \rho_{cp}},$$

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

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

t_{cp} из Б-1 БС- Δk

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

$$u = W \rho_{cp},$$

где W, ρ_{cp} из Б-2.

Б-4. Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{u d_3}{z_{cp}},$$

где u из Б-3; d_3 из Т.4. Пр.

$z_{cp} = z$ из Б-10 БС-III при t_{cp} из Б-1 БС- Δk

Б-5. Коэффициент сопротивления трения:

$$\lambda = 0,1 \left(1,46 \frac{k}{d_3} + \frac{100}{Re} \right)^{0,25},$$

где k из Т.7 Пр; d_3 из Т.4 Пр.

Re из Б-4.

Б-6. Сопротивление трения:

$$\Delta h_{тр} = \lambda \frac{\ell_x}{d_3} \frac{W^2}{2g} \rho_{cp}.$$

где λ из Б-5, ℓ_x из Т.4 Пр

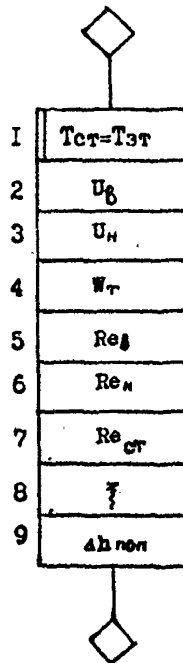
d_3 из Т.4 Пр W из Б-2

g из Т.7 Пр.

ρ_{cp} из Б-2.

ЕС - $\Delta h_{\text{пол}}$

Расчет сопротивлений поперечно
омываемых труб



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

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

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

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

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

$t_{\text{ср}}$ из Б-8 Б-21 БС- Δk

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

$$u_n = W_n \cdot \rho_{\text{ср}}, \quad \text{где } W_n \text{ из Б-6 БС-}\Delta k$$

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

$$W_T = \frac{W_B H_B + W_H H_H}{H_B + H_H},$$

где W_B, W_H из Б-5, 6 БС- Δk

H_B, H_H из Т4 Пр.

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

$$Re_B = \frac{u_B H_B}{z_{\text{ср}}},$$

где u_B из Б-2; H_B из Т4 Пр.

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

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

$$Re_H = \frac{u_H H_H}{z_{\text{ср}}}, \quad \text{где } u_H \text{ из Б-3}$$

H_H из Т4 Пр.

Б-7. Среднее число Рейнольдса в теплообменной камере:

$$Re_{\text{ср}} = \frac{Re_B H_B + Re_H H_H}{H_B + H_H},$$

где Re_B, Re_H из Б-5, 6 H_B, H_H из Т4 Пр.

Б-8. Коэффициент сопротивления выходящего пучка оребренных труб:

$$\xi = 2,7 z_2 \left(\frac{h_{\text{ср}}}{d} \right)^{0,45} \left(\frac{S_{\text{ср}}}{d} \right)^{0,72} Re_{\text{ср}}^{-0,29},$$

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

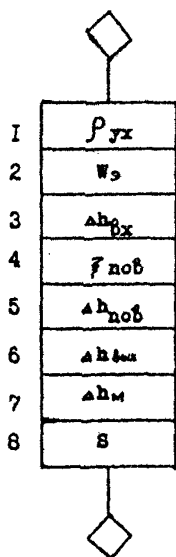
Б-9. Сопротивление поперечно омываемых труб:

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

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

ЕС - дм

Расчет местных сопротивлений



Приложение к ЕС- 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 ЕС-ПГ

t_{yx} из Б-0 ЕС-ТР или Б-8,9 ЕС-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 ЕС-В

G_1 из Б-19 ЕС-ПГ

f_{gT} из Т4 Пр

ρ_{yx} из Б-1.

Б-3. Сопротивление входа в газоотводящий канал:

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

где ξ_{bx} из Т7 Пр

w_g из Б-2

g из Т7 Пр

ρ_{yx} из Б-1

Б-4. Коэффициент сопротивления для поворотов:

$$\xi_{пов} = K_a \xi_0 B C, \text{ где } K_a, \xi_0, B, C \text{ из Т7 Пр.}$$

Б-5. Сопротивление поворотов газохода:

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

где $\xi_{пов}$ из Б-4, g из Т7 Пр

w_g из Б-2

ρ_{yx} из Б-1.

Б-6. Сопротивление выхода из дымовой трубы:

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

где $\xi_{вых}$ 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:

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

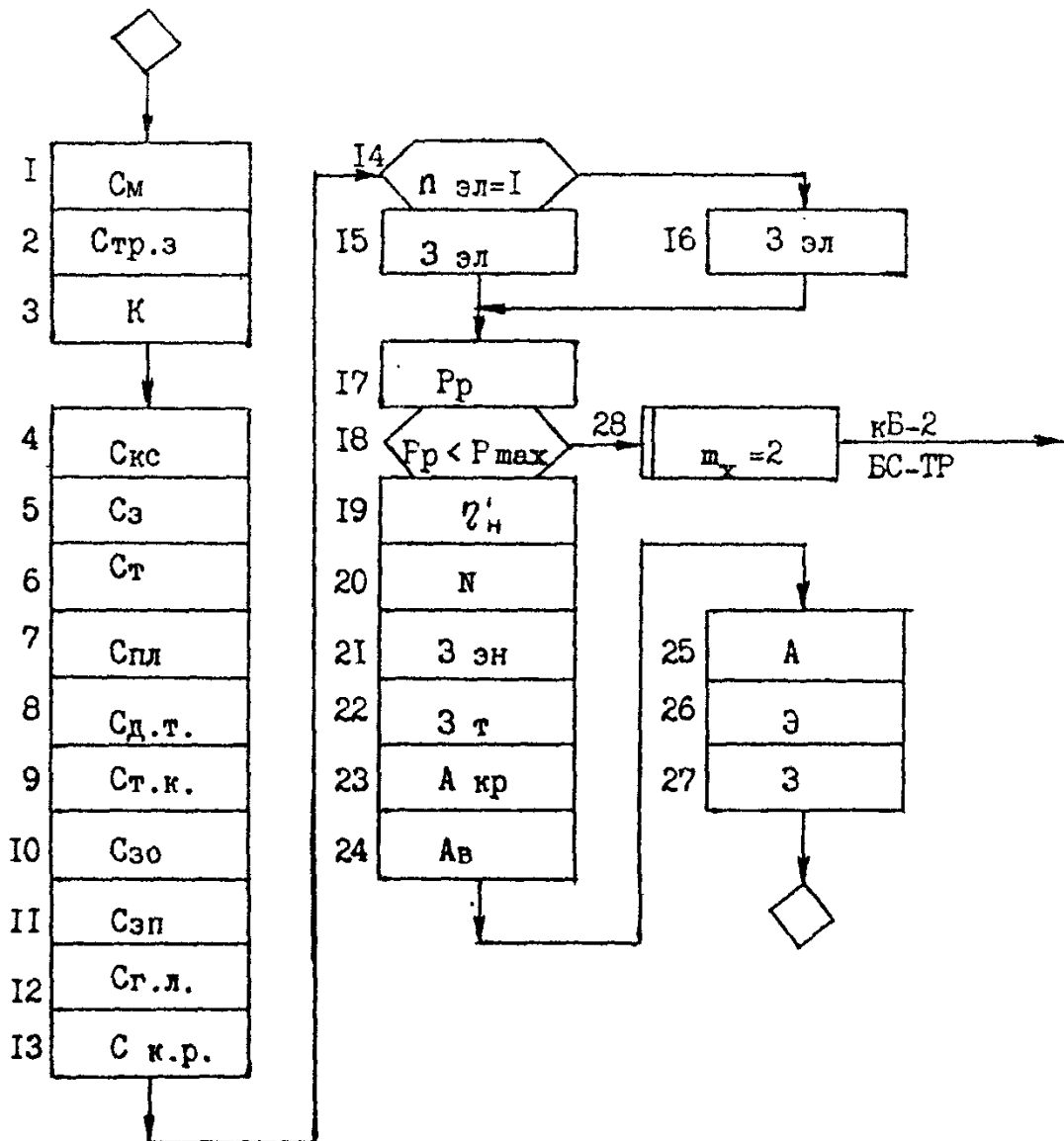
где H из Т4 Пр

$t_{\text{н}}$ 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 ЕС-ЭР

Б-1. Стоимость строительно-монтажных работ:

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

где $C_{o.p.}$, $K_{c.m.}$ из ТИИ Пр.

Б-2. Стоимость транспортно-заготовительных работ:

$$C_{tr.z.} = C_{o.p.} \cdot K_{tr.z.},$$

где $C_{o.p.}$, $K_{tr.z.}$ из ТИИ Пр.

Б-3. Стоимость капитальных затрат:

$$K = C_{o.p.} + C_m + C_{tr.z.},$$

где $C_{o.p.}$ из ТИИ Пр.

C_m из Б-1

$C_{tr.z.}$ из Б-2

Б-4. Стоимость ремонта камеры сгорания:

$$C_{k.c.} = C'_d + C'_m + C_{k.c.},$$

где C'_d , C'_m , $C_{k.c.}$ из ТИИ 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 ТИИ 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 ТИИ 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 ТИИ Пр.

Б-3. 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

$C_{пл.}$ из Б-7

$C_{з.}$ из Б-5

$C_{д.т.}$ из Б-8

$C_{т.}$ из Б-6

$C_{т.к.}$ из Б-9

$C_{з.о.}$ из Б-10

$C_{г.л.}$ из Б-12

$K_{н.}, K_{пл.}$ 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 II Пр

T из Т 4 И.Д.

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

$$Z_{\text{эл.}} = 2 \cdot P_{\text{э.д.}}^1 \cdot C_{\text{эл.}} \cdot T \cdot K_{\text{эл.}}$$

где $P_{\text{э.д.}}^1$ из Т 12 Пр

$C_{\text{эл.}}$ из Т II 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 $P_p < P_{\text{max}}$,

где P_p из Б-17

P_{max} из Т 4 И.Д.

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

$$\eta'_n = \frac{\eta_n}{1 + 0,4 (\vartheta_3 - 1,006 \cdot 10^{-6}) \cdot 10^4},$$

(формула Шищенко)

где η_n из Т 12 Пр

ϑ_3 из Т 3 И.Д.

Б-20. Мощность насоса:

$$\eta'_H = \frac{\eta_H}{1 + 0,4 (\eta_9 - 1,006 \cdot 10^{-4}) \cdot 10^4}$$

где η_9 из Т 2 И.Д.

ρ_p из Б-17

η'_H из Б-19

Б-21. Затраты на электроэнергию для насосов:

$$Z_{\text{э.н.}} = N \cdot \Pi_{\text{эл.}} \cdot T \cdot \Pi_H,$$

где N из Б-20

$\Pi_{\text{эл.}}$ из Т II Пр

T, Π_H из Т 4 И.Д.

Б-22. Затраты на топливо:

$$Z_T = V \cdot \Pi_T \cdot T / \rho_0,$$

где V из Б-5 БС-В

Π_T из Т II Пр

T из Т 4 И.Д.

ρ_0 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:

$$A = \frac{C_{\text{к.р.}}}{m_{\text{м.п.}}}$$

где $C_{\text{к.р.}}$ из Б-13

$m_{\text{м.п.}}$ из Т 13 Пр

Б-26. Годовые эксплуатационные затраты:

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

где $\mathcal{E}_{\text{эл}}$ из Б-14

$\mathcal{E}_{\text{э.н.}}$ из Б-21

$\mathcal{E}_{\text{т}}$ 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} | 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 теплоемкость воздуха, C_p^d | Истинная теплоемкость водяных паров, C_p^d | Коэффициент теплопроводности, $\lambda \cdot 10^4$ | Средняя теплоемкость воздуха, C_{pm}^d | Кинематическая вязкость воздуха, $\nu \cdot 10^6$ |
|-------------------|---|---|---|---|--|
| °C | $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{гр}}$ | $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{гр}}$ | $\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{гр}}$ | $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{гр}}$ | $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ |
| 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, $\varepsilon_T \cdot 10^6$ |
|---------------------|---|---|--|
| $^{\circ}\text{C}$ | $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{гр}}$ | $\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{гр}}$ | $\frac{\text{кг}}{\text{м} \cdot \text{с}}$ |
| 0 | 0 | | |
| 100 | 3 | | 20,36 |
| 200 | 21 | 345 | 24,48 |
| 300 | 32 | 416 | 28,22 |
| 400 | 43 | 490 | 31,67 |
| 500 | 50 | 564 | 34,84 |
| 600 | 56 | 638 | 37,85 |
| 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 |

Таблица 4 Пр.

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. | \varnothing | м | 0,197 | диаметр теплообменных труб с оребрением |
| 4. | δ_T | м | 0,008 | толщина стенки трубы |
| 5. | $h_{р\delta}$ | м | 0,019 | высота ребра |
| 6. | $S_{р\delta}$ | м | 0,006 | шаг оребрения |
| 7. | $\delta_{р\delta}$ | м | 0,0015 | толщина ребра |
| 8. | $F_{г\lambda}$ | м ² | 148,6 | поверхность гладких труб |
| 9. | $F_{г\tau}$ | м ² | 112 | поверхность труб свободная от ребер |
| 10. | $F_{вн}$ | м ² | 137,4 | внутренняя поверхность труб |
| 11. | F_p | м ² | 1254 | суммарная поверхность ребер |
| 12. | F_n | м ² | 1366 | полная поверхность оребренных труб |
| 13. | F_8 | м ² | 3,97 | свободное сечение верхних 3-х рядов трубного экрана |
| 14. | $F_н$ | м ² | 11,36 | свободное сечение нижних 5-ти рядов трубного экрана |
| 15. | H_8 | 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. | $F_{с\tau}$ | м ² | 100,4 | поверхность воспринимающего экрана |
| 18. | V_T | м ³ | 29,5 | объем теплообменной камеры |
| 19. | H_{λ} | м ² | 42 | лучевоспринимающая поверхность экрана теплообменных труб |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----|------------|-------|-------|--|---|
| 20. | n_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 | 1 | длина прохождения дымовыми газами трубного экрана | |
| 24. | F | m^2 | 1,1 | проходное сечение для дымовых газов между экраном теплообменных труб и обечайкой | |
| 25. | d_g | m^2 | 0,814 | эквивалентный диаметр | |
| 26. | $f_{д.т.}$ | 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 | D_{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. | $d_{\delta вх}$ | м | 0,15 | эквивалентный диаметр входного сечения воздуховода | |
| 9. | $d_{\delta вых}$ | 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 |

Таблица 7 Пр

Коэффициенты, поправки и прочие величины

| № | Обозначение | Размерность | Значение | Наименование | Примечание |
|----|--|-------------|----------|--|------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | $\psi_{р\delta}$ | - | 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 | - | I,2 | коэффициент, зависящий от отношения $\frac{H_{\text{ср}}}{H_3}$, при $\frac{H_{\text{ср}}}{H_3} = 0$ $\psi = I,2$ | |
| 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_d | - | I | поправка на относительную длину труб. При $\frac{l}{d} = \frac{9}{0,159} = 57$ $C_d = I$ | |
| 10 | C_s | - | 4,96 | коэффициент лучеиспускания абсолютно черной поверхности | |
| 11 | C_z | - | 0,88 | поправка на число рядов, поперечное направление газов при $C_z = 2$ | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----|--------------------|---|---------------------|--|---|
| 12. | P | 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. | $\lambda_{м}$ | " " | 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. | $\xi_{\text{дх}}$ | - | 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. | $\xi_{\text{вых}}$ | - | 1,1 | к-т сопрот. выхода | |
| 30. | b мм рт. ст. | | 760 | барометрическое давление | |

Таблица 8 П.

Поправочный 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 | 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 |
| $P_{H_2O} = 0,11$ | | | | | | | | | | | | | | | |
| 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 |

88

| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|-------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1,031 | | $P_{H_2O} = 0,19$ | | | | | | | | | | | | |
| \bar{x}_1 | | 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 γ_{\pm} $P_{H_2O} = 0,05$, где P_{H_2O} из В-33 ВС-ПГ

| t °C | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | |
|----------------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| γ_{\pm} | 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 | |
| | I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |

 $P_{H_2O} = 0,07$

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| γ_{\pm} | 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 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|

 $P_{H_2O} = 0,09$

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| γ_{\pm} | 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 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

 $P_{H_2O} = 0,11$

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|--|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| γ_{\pm} | | 1,0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
|----------------|--|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

 $P_{H_2O} = 0,13$

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| γ_{\pm} | 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 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

 $P_{H_2O} = 0,15$

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| γ_{\pm} | 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 |
|----------------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|

 $P_{H_2O} = 0,17$

| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| γ_{\pm} | 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{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 |
| | | | | | | 0,988 | | | | | | | | | | | |
| $P_{H_2O} = 0,21$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| \bar{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 |
| | | | | | | 0,986 | | | | | | | | | | | |
| $P_{H_2O} = 0,23$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| \bar{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 |
| | | | | | | 0,983 | | | | | | | | | | | |
| $P_{H_2O} = 0,25$ | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| \bar{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 |
| | | | | | | 0,987 | | | | | | | | | | | |

8

Таблица 10 Пр

| $h_{рс.р}$ | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 10,5 | 10,6 | 10,7 | 10,8 | 10,9 | 11 | 11,1 | 11,2 | 11,3 | 11,4 | 11,5 | 11,6 | 11,7 |
|------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| E | 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 |
|-------|-------------|-------------|----------|--|------------|
| 1 | 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_D^7 | руб. | 15,2 | Стоимость демонтажа змеевиков отопления | |
| 21. | C_M^7 | руб. | 30,4 | Стоимость монтажа змеевиков отопления | |
| 22. | $C_{з.о.}$ | руб. | 64,2 | Стоимость змеевиков отопления | |
| 23. | C_D^8 | руб. | 21,6 | Стоимость демонтажа змеевиков паротушения | |
| 24. | C_M^8 | руб. | 43,2 | Стоимость монтажа змеевиков паротушения | |
| 25. | $C_{з.п.}$ | руб. | 63,2 | Стоимость змеевиков паротушения | |
| 26. | C_D^9 | руб. | 15,2 | Стоимость демонтажа газовой линии | |
| 27. | C_M^9 | руб. | 30,4 | Стоимость монтажа газовой линии | |
| 28. | $C_{г.л.}$ | руб. | 64,8 | Стоимость газовой линии | |
| 29. | $C_{эд.}$ | руб. | 0,01 | Стоимость 1 кВт.ч эл.энергии | |
| 30. | C_T | руб. | 0,026 | Стоимость 1 м ³ топлива (газа) | |
| 31. | $Q_{к.р.}$ | - | 0,068 | Норма амортизации на кап.ремонт | |
| 32. | A_v | - | 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_H | - | 0,17 | Процент накладных расходов | |
| 36. | $K_{пл.}$ | - | 0,06 | Процент плановых накоплений | |
| 37. | T_B | лет | 10 | Нормативный срок службы печи | |
| 38. | E_n | - | 0,15 | Нормативный коэффициент | |

Таблица 12

Показатели по мощности

| № п/п | Обозначение | Размерность | Значение | Наименование | Примечание |
|-------|---------------------|-------------|----------|---|------------|
| 1. | $P_{\text{э.д.}}^1$ | 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_k | | | |
|--|---------------------|---|---|--------------|
| | 1 | 2 | 3 | 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. | | | | | | | | | | | | |
|--------|---------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|----|----------------|
| | | C ₁ H 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 |
| % об. | | 58,5 | 14,3 | 12,6 | 7,5 | 4,7 | 0,6 | 1,3 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| % мас. | | 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 | 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 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 2 | ρ _н | плотность нефти | " | 858 | | | |
| 3 | C _{рв} | теплемкость пластовой воды | ккал/кг·Гр | 0,95 | | | |
| 4 | C _{рн} | теплемкость нефти | " | 0,47 | | | |
| 5 | λ _в | теплопроводность пластовой воды | ккал/м·Гр | 0,48 | | | |
| 6 | λ _н | теплопроводность нефти | " | 0,132 | | | |
| 7 | η _э | вязкость кинематическая эмульсии | м ² /с | 291,8 · 10 ⁻⁶ | | | |

| 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. | γ_1 | вязкость нефти при t_1 | сст | 34,7 | | | |
| 12. | γ_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 | | | |
|-------|----------------|---|-------------------|----------------------|---|---|---|
| | | | | варианты | | | |
| | | | | 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 магнетательных насосов перед печью | шт. | 1 | | | |
| 7. | $n_{эл}$ | Количество электродвигателей (компрессоров) | шт. | 2 | | | |
| 8. | $K_{эл}$ | Коэффициент использования компрессоров в году | | 0,7 | | | |
| 9. | $\Pi_{от}$ | Признак склонности пластовых вод к отложению осей 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·ч·гр. | 0,5 | | | |
| 12. | β | Количество газообразного топлива, кг/ч | кг/ч | 1000 | | | |

**РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА
ПЕЧИ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ЧИСТОТЕ ГОТОВОК ПО ТРУБАМ**

| № | НАИМЕНОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА | СВОЙСТВА ЧИСЛО | РАЗМЕР- НЕСТЬ | ЧИСЛО КОЭФ. ПО ТРУБАМ ИХ | | |
|----|--|--------------------|-------------------|--------------------------|--------------|--------------|
| | | | | 1 | 2 | 3 |
| 1 | РАСХОД НАГРЕВАЕМОЙ ТЯЖКОСТИ | G | кг/ч | 375000 | 375000 | 375000 |
| 2 | РАСХОД ТОПЛИВА НА ГОРЕНИЕ | B | кг/ч | 1.226374E+03 | 1.214237E+03 | 1.247422E+03 |
| 3 | МАКСИМАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ГОРЕ- НИИ ТОВАРИА | T _{max} | °C | 1.664953E+03 | 1.654954E+03 | 1.664953E+03 |
| 4 | ТЕМПЕРАТУРА НАГРЕВА СТЕНКИ КА- МЕРЫ СГОРАНИЯ | T _{CT} | °C | 6.671358E+02 | 6.728069E+02 | 6.793794E+02 |
| 5 | ТЕМПЕРАТУРА НАГРЕВА ВОЗДУХА В УЛИКЕ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ | T ₀ | °C | 8.273930E+01 | 8.310521E+01 | 8.407620E+01 |
| 6 | КОЭФФИЦИЕНТ УЗБИТКА ВОЗДУХА | ALFA | °C | 1.349994E+00 | 1.349956E+00 | 1.349994E+00 |
| 7 | ЛИНЕЙНАЯ СКОРОСТЬ ТЯЖКОСТИ В ТРУБАХ | W | м/с | 7.444742E+00 | 7.722371E+00 | 1.641165E+00 |
| 8 | КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ОТ СТЕНОК ТРУБ К ЖУЛЬСКИМ | ALFA ₂ | °C | 4.371353E+03 | 2.375830E+03 | 1.528841E+03 |
| 9 | ТЕМПЕРАТУРА СТЕНКИ ТРУБ | T _{ST} | °C | 6.815606E+01 | 7.790717E+01 | 9.100916E+01 |
| 10 | КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛА, ПЕРЕДАННОЕ В ПЕЧИ | Q _P | ккал/ч | 4.412007E+06 | 9.323000E+06 | 6.636556E+06 |
| 11 | ТЕМПЕРАТУРА УХОДЯЩИХ ДИОКСИД ГАЗОВ | T _{YK} | °C | 5.182232E+02 | 5.100210E+02 | 5.280002E+02 |
| 12 | ПОТЕРИ ДАВЛЕНИЯ В ТРУБАХ | DELTA _P | кг/с ² | 2.076112E+05 | 2.495717E+04 | 3.408370E+03 |
| 13 | РАЗРЕЖЕНИЕ, СОЗДАВАЕМОЕ ДИОКСИД КАНАРОМ | S | кг/с ² | 5.662251E+00 | 3.862251E+00 | 5.254409E+00 |
| 14 | ОРГАНИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЕЧИ | H _П | кг/с ² | 6.252522E+00 | 5.947999E+03 | 5.584790E+00 |
| 15 | РАСХОД ПРИВЕДЕННЫЕ ЗАТРАТЫ | ZAT | °C | ИНЕРЦИЙНОСТЬ ВАР | 2.546521E+05 | 2.713869E+05 |

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----------|
| 1. 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 ПТВ 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 ВНИИСПНефти