

РУКОВОДСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

ПРОГРАММА ТРЕХМЕРНОГО ЗОНАЛЬНОГО МЕТОДА РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕНА В ТОПОЧНЫХ КАМЕРАХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

(по методике Карасиной Э.С., Company IMPERS, Израиль)

(«Лаборатория Информационных Технологий в Энергетике», **Group ENEK**,
кафедра «Тепловые электрические станции» Красноярский государственный
технический университет)

Бойко Евгений Анатольевич

Содержание:

1. Введение.

2. Подготовка исходных данных.

2.1. Геометрическая модель.

2.1.1. Поверхность нагрева стен топки.

2.1.2. Разбивка на блоки и кубы.

2.1.3. Горелочные слои, выход газов и верхняя рециркуляция.

2.2. Характеристики топлива.

2.3. Характеристика режима работы.

2.4. Распределение выгорания топлива.

2.5. Распределение воздуха, вводимого в топку.

2.6. Характеристика движения газов.

2.7. Характеристика загрязнения поверхностей нагрева.

3. Ввод данных в программу.

3.1. Общее описание программы (главное меню).

3.2. Инструкции оператору по вводу данных.

3.2.1. Геометрия топки.

3.2.2. Горелочные слои и выход газов.

3.2.3. Характеристики топлива.

3.2.4. Характеристика режима работы.

3.2.5. Характеристика режима работы

3.2.6. Распределение выгорания.

3.2.7. Распределение ввода воздуха.

3.2.8. Характеристика движения газов.

3.2.9. Тепловое сопротивление настенного слоя загрязнений.

3.3. Описание результатов.

3.3.1. Одномерные температурные графики.

3.3.2. Двумерные сечения.

3.3.3. Тепловые потоки.

3.3.4. Распечатка результатов.

1. Введение.

Вычислительная программа *Furnace* предназначена для зонального расчета теплообмена в топочных камерах паровых котлов. Программа основана на трехмерном зональном методе анализа радиационного теплообмена в селективно поглощающей и излучающей среде и предназначена для помощи при конструировании, наладке и эксплуатации топок котельных агрегатов.

Предполагается, что пользователь знаком с основами теплопередачи и горения в топках паровых котлов, а также с их конструкцией. Использование программы сводится к решению задачи выполнения четырех этапов:

1. Подготовка исходных данных.
2. Ввод исходных данных в программу.
3. Работа программы.
4. Получение результатов.

2. Подготовка исходных данных (1 этап).

Эта часть инструкции содержит рекомендации по подготовке исходных данных, необходимых для использования программы. Необходимо знание конструкции топки, а также процессов горения и движения газов. Ниже представлен перечень необходимых данных.

2.1. Подготовка геометрической модели.

Необходимо иметь чертежи топочной камеры (продольный и поперечный разрезы). Если топочная камера разбита на секции двусветными экранами, моделируется одна секция, которая является представительной.

2.1.1. Поверхность нагрева стен.

Прежде всего, должна быть определена общая поверхность нагрева стен камеры – $F_{ст}$. Принцип определения площади поверхности нагрева поясняется на рис. 1.

Общая поверхность нагрева включает следующие элементы: $F_{общ}$ – общая поверхность стен камеры; $F_{дв.экр}$ – поверхность разделительных стен (двусветных экранов); $F_{в.ок}$ – поверхность разделительной плоскости между топкой и ширмовым пароперегревателем (площадь выходного окна); $F_{х.в}$ – эффективная поверхность холодной воронки.

$$F_{ст} = F_{общ} + F_{дв.экр} + F_{в.ок} + F_{х.в}$$

Общая поверхность стен топки $F_{общ}$ определяется размерами плоских поверхностей, ограничивающих объем топки, включая площади амбразур горелок, $F_{гор}$.

Поверхность двусветных экранов определяется как

$$F_{дв.экр} = D_t \cdot L_t,$$

где D_t – расстояние между осями крайних труб экрана; L_t – освещенная длина труб, включающая площадь просветов в разделительной стене (если они

имеются), $F_{прос}$, которые представлены воображаемыми плоскими поверхностями.

В поверхность нагрева включается часть холодной воронки $F_{х.в}$, как показано на рис.1.

2.1.2. Деление на блоки и кубы.

Ниже приводятся некоторые рекомендации, которые могут помочь пользователю составить геометрическую модель топочной камеры.

Топочная камера заменяется замкнутым параллелепипедом примерно такого же размера (см. рис. 2а – топка с встречным расположением горелок, рис. 2б – топка с тангенциальным расположением горелок).

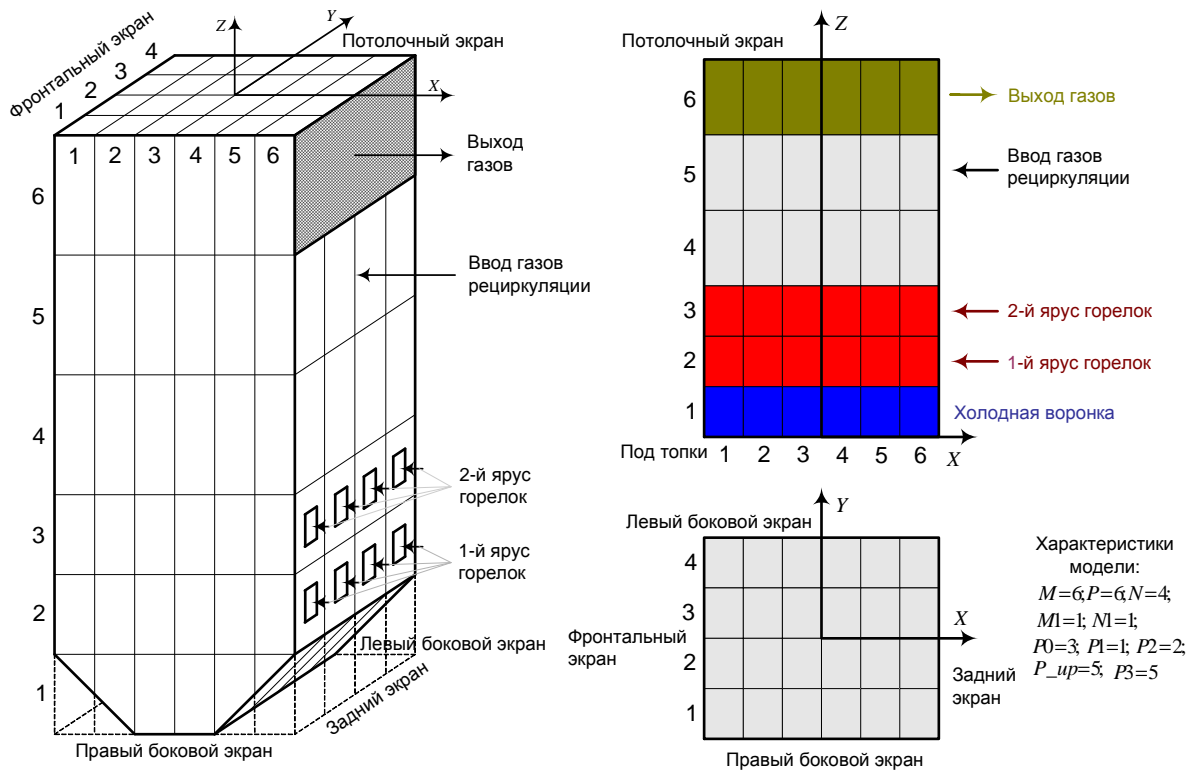


Рис. 1. Геометрическая модель топочной камеры ($M = 6$; $P = 6$; $N = 4$; $M1 = 1$; $N1 = 1$; $P0 = 3$; $P1 = 1$; $P2 = 2$; $P_{ур} = 5$; $P3 = 5$)

Примечание: габаритные размеры камеры могут несколько отличаться от реальных размеров.

Шаг первый: плоскостями, параллельными координатным плоскостям, объём топки разбивается на объёмы, имеющие форму параллелепипедов. Окружающие поверхности при этом разбиваются на прямоугольники.

Шаг второй: каждый блок разбивается на несколько одинаковых кубов. Разбиение определяется следующими параметрами; M , N , P – число блоков по осям X , Y , Z соответственно.

Примечание: Число M должно быть четным. Это позволяет ввести плоскость симметрии модели, параллельную координатной плоскости YZ .

$M1$ – количество кубов в блоке вдоль оси X .

$N1$ – количество кубов в блоке вдоль оси Y . Для высоты блока допускается два размера – в *нижней* и в *верхней* части топки. В нижней части топки, где температура изменяется резко, количество кубов в блоке вдоль оси Z принимается $P1$ в пределах от 1 до 2. В верхней части топки количество кубов в блоке вдоль оси Z принимается в пределах от 1 до 4. Граница между зонами определяется числом $P0$. Параметры разбивки позволяют обеспечить сохранение основных соотношений размеров топки. При близкой к окружности форме поперечного сечения топки принимается $M = N = 6$. Для тангенциального расположения горелок всегда $M = N = 6$. При прямоугольной форме поперечного сечения топки число M изменяется в пределах от 2 до 8, N от 3 до 8 для разных конструкций топок. Величины $M1$ и $N1$ выбираются в пределах от 1 до 2.

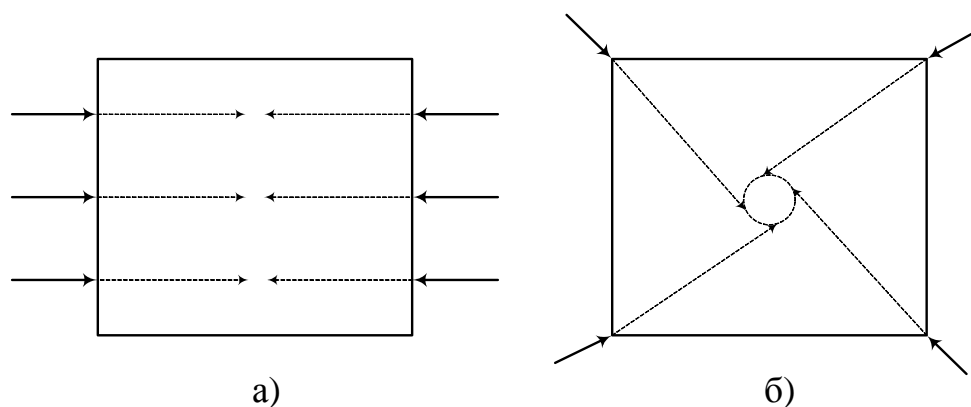


Рис. 2. Схема компоновки горелок в топочной камере парового котла: а – встречное расположение; б – тангенциальное расположение горелок

Для тангенциального расположения горелок определяются четыре зоны в горизонтальном сечении топки (см. рис. 2б): $R = 1$ – угловая зона, $R = 2$ – периферийная зона, $R = 3$ – промежуточная зона, и $R = 4$ – центральная зона. Программа вычисляет длину ребра куба так, чтобы суммарная поверхность стен модели была точно равна поверхности нагрева топки F_{cm} .

2.1.3. Горелочные слои, выход газов и верхняя рециркуляция газов

Необходимо определить слои, в которых размещены горелки, при этом следует как можно точнее выдержать высоту слоя, содержащего горелки. В топках с твердым шлакоудалением один или два нижних слоя выделяются как холодная воронка, и горелки устанавливаются, начиная со второго или третьего слоя.

В программе предусмотрено пять вариантов направления выхода дымовых газов (продуктов сгорания) из топки:

- выход вверх;
- выход в сторону: направление плюс-минус по оси X ;
- выход в сторону: направление плюс-минус по оси Y ;

- выход в сторону: направление плюс по оси X ;

- выход в сторону: направление плюс Y ;

P_3 – слой, предшествующий повороту газов.

P_{up} – слой ввода газов верхней рециркуляции. Если в топке имеется верхняя рециркуляция, необходимо указать номер этого слоя, а также горизонтальное распределение газов рециркуляции $L_{up}(x)$ или $L_{up}(R)$.

2.2. Характеристики топлива.

Для расчетов по программе необходимо задать элементарный состав топлива. Должны быть введены в процентах компонентный состав топлива на рабочую массу следующих компонент: W^P – влажность; A^P – содержание золы; C^P – содержание углерода; S^P – содержание серы; N^P – содержание азота; H^P – содержание водорода; O^P – содержание кислорода. Наряду с элементарным составом в программе задается теплота сгорания топлива Q_n^P . Эта величина проверяется по формуле Менделеева и в случае несоответствия печатается предупреждающее сообщение.

2.3. Характеристика режима работы.

В вычислительной программе используются приведенные ниже характеристики режима, основывающиеся на данных эксплуатации или на проектных данных.

V_p , кг/сек – расчетный расход топлива с учетом механического недожога;

a_m – коэффициент избытка воздуха в топке;

a_{cm} – поглощательная способность поверхности стен топочной камеры.

Для всех поглощающих тепловое излучение поверхностей принимается равной $a_{cm} = 0,75$. Для просветов в экранах и поверхностей горелок – $a_{cm} = 0$. В результате получаем формулу для расчета среднего значения поглощательной способности стен топки;

a_{yn} – коэффициент уноса золы; $a_{yn} = 0,95$ в топках с твердым шлакоудалением и $a_{yn} = 0,8$ в топках с жидким шлакоудалением;

d_{zl} – коэффициент, характеризующий фракционный состав золы. Для бурых углей $d_{zl} = 10 \dots 16$ мкм, для каменных углей $d_{zl} = 16 \dots 20$ мкм;

d_v , г/кг – влажность воздуха. Принимается равной 10,0, если нет дополнительных данных для выбора этой величины;

t_g , °С – средняя температура воздуха, поступающего в топку через горелки. При этом должны быть учтены присосы воздуха;

t_n , °С – температура пароводяной смеси в экранных трубах. В случае если она не задана, то для барабанных котлов принимается равной температуре насыщения по давлению в барабане котла, для прямоточных котлов как

среднеарифметическое значение температуры питательной воды на входе в котел и температуре острого пара;

t_{gp} , °С – температура газов верхней рециркуляции;

t_{np} , °С – температура газов нижней рециркуляции;

r_{xb} – доля подачи газов рециркуляции в холодную воронку. r_{xb} принимается равной 0, если нет специальных данных;

r_{gp} – доля газов верхней рециркуляции;

r_{np} – доля газов нижней рециркуляции.

2.4. Распределение выгорания топлива

Распределение выгорания топлива определяется вертикальным распределением $Mu(z)$ и горизонтальным распределением для каждого слоя (яруса). $Mu(z)$ – это доля топлива, которая сгорает в слое (ярусе) z .

Информацию о горизонтальном и вертикальном распределении выгорания топлива можно получить из расчетов горения или из опытных данных для топок данного типа (см. рис. 3).

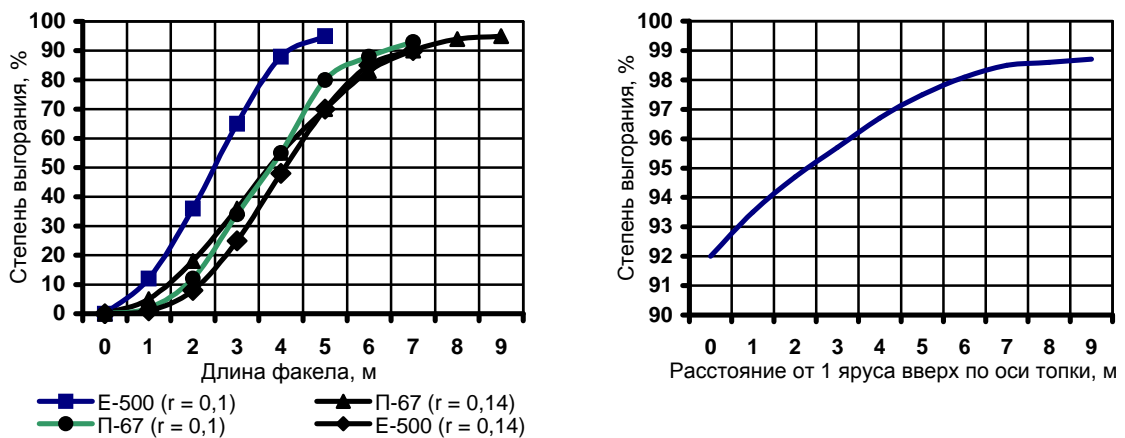


Рис. 3. Экспериментальные данные по выгоранию канско-ачинских бурых углей на котлах БКЗ-500-140 и П-67 (r – доля газов рециркуляции)

Если нет соответствующих данных, могут быть использованы рекомендации, изложенные ниже.

1. Если весь воздух подается в горелки, примерно 90% топлива сгорает в горелочных слоях. Принимается равномерное распределение выгорания по слоям. Более точные рекомендации могут быть даны для конкретных видов топлива. Для каменных и бурых углей:

$$Mu(z) = 0,9/N_{я} \dots 0,95/N_{я} ,$$

для тощих углей и антрацита:

$$Mu(z) = 0,85/N_{я} \dots 0,9/N_{я} ,$$

где $N_{я}$ – число горелочных слоев (ярусов).

В последующих слоях $Mu(z)$ постепенно убывает и $Mu(z) = 0$ для $z = P3$.

2. Если часть воздуха подается в топку в качестве третичного, коэффициент избытка воздуха в горелочных слоях a_z рассчитывается по формуле:

$$a_z = (1 - r_{m.г}) a_m,$$

где $r_{m.г}$ – доля третичного воздуха. В этом случае максимальное выгорание в топочных слоях:

$$Mu(z) = 0,9 \frac{a_z}{N_y}$$

Догорание в верхних слоях в этом случае определяется величиной:

$$Mu(z) = 0,5 \dots 0,7 \cdot \left(1 - \sum_{z=0}^{z_{me}-1} Mu(z)\right)$$

Следует учитывать, что данные рекомендации являются приближенными, а при решении реальной инженерной задачи пользователь может варьировать величину $Mu(z)$ в зависимости от постановки задачи и накопленного расчетного опыта.

3. Поворот горелок вверх или вниз эквивалентен смещению слоя вверх или вниз на один шаг.

4. При выключении самого нижнего ряда горелок следует принимать выгорание в этом слое равным 20% выгорания в работающем ряду. Когда выключается один из промежуточных слоев, выгорание в этом слое принимается равным 10% выгорания в действующем слое.

5. Для встречного расположения горелок горизонтальное распределение выгорания определяется функцией $Mu(x, z)$. С учетом симметрии координата x изменяется от 1 до $M/2$. Функция $Mu(x, z)$ определяет долю $Mu(z)$, выгорающую на расстоянии x от каждой из стен. В прилегающих к стенам топки зонах (периферийных) выгорает в 2÷4 раза большая доля топлива, чем в центральных. Чем больше содержится в топливе летучих компонент, тем больше величина этого соотношения. По оси Y выгорание предполагается равномерным.

6. При тангенциальном расположении горелок горизонтальное распределение выгорания определяется функцией $Mu(R, z)$ – где R координата изменяется от 1 до 4 и определяет зоны в горизонтальном сечении (см. п.2.1.2 и рис. 3). Таким образом, $Mu(R, z)$ определяет долю $Mu(z)$, сгорающую в зоне R . $Mu(R, z)$ изменяется в следующих пределах:

$$\text{от } Mu(1, z) = 0,129, \quad Mu(2, z) = 0,516, \quad Mu(3, z) = 0,29, \quad Mu(4, z) = 0,065;$$

$$\text{до } Mu(1, z) = 0,148, \quad Mu(2, z) = 0,592, \quad Mu(3, z) = 0,222, \quad Mu(4, z) = 0,037.$$

Здесь предполагается однородное распределение выгорания в периферийных зонах ($R = 1$ и $R = 2$). Можно варьировать соотношение между $Mu(1, z)$ и $Mu(2, z)$, но при этом их сумма должна оставаться постоянной ($Const$).

7. Распределение выгорания $Mu(x, z)$ или $Mu(R, z)$ в следующих (негорелочных) зонах принимается равным распределению массовых скоростей движения газов, поступающих из предыдущего (лежащего ниже) ряда $L(x, z - 1)$

или $L(R, z-1)$ (см. п. 2.6).

2.5. Распределение воздуха.

Распределение вводимого в топку воздуха вдоль вертикальной оси $Nu(z)$ определяется пользователем. Часть воздуха может подаваться выше горелок в качестве третичного. Если нет дополнительных соображений, горизонтальное распределение воздуха в горелочных слоях может быть выбрано в соответствии с следующими рекомендациями: часть воздуха, которая входит в прилегающую к горелкам объемную зону, не смешивается с газами, а проходит в следующую зону. Таким образом, при встречных горелках

$$Nu(1, z) = Mu(1, z) \dots 0,8$$

$$Nu(2, z) = 1 - Nu(1, z)$$

$$Nu(x, z) = 0 \text{ для } 2 < x < M/2$$

С учетом симметрии $Nu(x, z)$ определяется только для $x \leq M/2$. Распределение воздуха по оси Y принимается равномерным. Для тангенциального расположения горелок смешивание воздуха с газами в периферийной части горизонтального сечения топki приблизительно принимается $85 \div 90\%$.

$$Nu(1, z) + Nu(2, z) = 0,85 \dots 0,9$$

$$Nu(3, z) = 0,1 \dots 0,15$$

$$Nu(4, z) = 0,0$$

2.6. Движение газов.

Для встречного расположения горелок, когда топливо вводится вдоль оси X , программа предусматривает двумерное движение газов (вдоль осей X и Z). Горизонтальное распределение Z – компоненты массовой скорости задается функцией $L(x, z)$ для каждого слоя. Движение по оси X вычисляется программой.

При задании исходных данных следует учесть следующие практические рекомендации. При встречном расположении горелок отношение величины вертикальной компоненты массовой скорости в центральной зоне к скорости в периферийной зоне в горелочных слоях составляет $1,2 \div 1,5$. В последующих слоях оно постепенно выравнивается и приближается к единице.

Для тангенциального расположения горелок программа также предусматривает двумерное движение – движение вдоль условного "радиуса" R и вдоль оси Z (см. рис. 3). Вращательное движение не учитывается, так как температура в этом направлении не изменяется. Если нет специальных данных, следует принимать однородное распределение массовых вертикальных скоростей – $L(R, z)$. Это относится как к горелочным, так и к негорелочным слоям (ярусам). Таким образом, $L(R, z)$ должны иметь следующие значения:

$$L(1, z) = 0,11, L(2, z) = 0,44, L(3, z) = 0,34, L(4, z) = 0,11.$$

2.7. Характеристика загрязнения поверхностей нагрева.

Загрязнение поверхностей нагрева учитывается в данной программе ве-

личной тепловой сопротивляемости R_o , (м°С)/кВт. Полное тепловое сопротивление состоит из сопротивления загрязняющего слоя золы и шлака, сопротивления металла стенки трубы и сопротивления теплопередаче от стенки трубы к пару. Тепловое сопротивление золошлаковых отложений зависит от свойств минеральной части топлива и определяется экспериментальным путем. При отсутствии экспериментальных данных рекомендуются задавать следующие значения параметра R_o :

- 2,5 – эксплуатационно чистые поверхности нагрева;
- 3,0÷4,0 – слегка загрязненные поверхности;
- 5,0÷6,0 – поверхность покрытая шлаком;
- 6,0÷8,0 – ошипованная и футерованная поверхность;
- 10,0 – под, покрытый огнеупорным кирпичем;
- 10,0÷12,0 – плоскость выхода к ширмовым пароперегревателям (учитывает обратное излучение газовых коридоров между ширмами).

Допускается принимать разные значения R_o для каждой поверхностной зоны.

3. Работа программы.

3.1. Общее описание. Главное меню.

Программа работает в операционной системе Windows 9x/NT. Минимальные требования к средствам вычислительной техники:

- процессор Pentium с частотой 166 МГц и выше.
- видеокарта SVGA емкостью 1 МВ и выше с разрешающей способностью 800x600 и 256 цветов.
- 16 МВ оперативной памяти и 15 МВ на жестком диске. Если для данной задачи объем памяти недостаточен, программа информирует пользователя об этом. Программа также печатает сообщение о требующемся для данной задачи объеме памяти. Этот объем вычисляется по формуле:

$$4(MNP + 2MN + 2MP + 2NP)^2 \text{ (bytes)}$$

Для пуска программы достаточно в Windows выполнить команду **Furnace** и нажать **Enter**. Появится окно титульного листа программы и ее головное меню. Для входа в нужный раздел меню нужно подвести курсор к соответствующему пункту меню и нажать **Enter** или кнопку мыши. Для выхода из программы следует выбрать в меню **Файл** опцию **Выход**. Главное меню содержит следующие разделы:

Выход из программы. Если во входные данные текущего файла были внесены изменения, но не дана команда **Сохранить**, то появится предостережение, требующее от пользователя принять решение о сохранении этих изменений.

Опция **Открыть** из меню **Файл** позволяет открыть файл с исходными данными и результатами расчета уже имеющегося или созданного ранее списка файлов содержащегося на жестком диске в каталоге **Data**. Один из них всегда находится в оперативной памяти. Выбор нового файла удаляет из опе-

ративной памяти предыдущий, предлагая пользователю, если требуется, сохранить внесенные изменения. Файл который находится всегда при загрузке программы в оперативной памяти является файлом-шаблоном и используется при создании нового файла исходных данных посредством опции **Создать** из меню **Файл**.

Опция **Сохранить как ...** позволяет сохранить текущие данные в файл с новым именем. Для этого программа предлагает пользователю вписать в появляющееся окно новое имя, присваиваемое входному файлу. Старый файл, из которого образован новый, остается под старым именем. Расширение файла ***.dat** вписывать не требуется, оно присваивается файлу автоматически.

Кнопка **Расчет** (3 этап) позволяет отправить заданный набор исходных данных на решение. В процессе расчета появляется диагностическое окно, с помощью которого у пользователя появляется возможность отслеживать устойчивость расчетных балансов и скорость сходимости. Окончание расчета сопровождается соответствующим предупреждением и автоматической записью результатов в цифровом виде в файл **result.out** расположенный в директории **Furnace**. Посредством этого файла осуществляется вывод в дальнейшем результатов в графическом виде.

3.2. Указания по редактированию входного (исходного) файла (2 этап).

При выборе необходимого уже существующего или создании нового файла под головным меню появляется рабочее окно программы (см. рис. 4), которое включает навигатор исходных данных, представленное в виде структурного дерева, предлагающего входы в ряд экранов редактирования, располагающиеся справа от дерева. Все эти экраны имеют одинаковый характер: входные параметры представлены в своих индивидуальных ячейках, в каждой из которых по одному параметру. Рядом с ячейкой даны пределы изменения данного параметра. Курсор, управляемый клавиатурой, перемещается по этим ячейкам. Для изменения записанного в ячейке значения параметра нужно нажать клавишу ввода, набрать новое число и снова нажать ввод. Под окном редактирования данных располагается окно рекомендаций по вводу исходной информации.

3.2.1. Геометрия топки.

В этом экране задается геометрическая модель топки и вариант размещения горелок (встречные или тангенциальные). Команды: стрелки вверх и вниз – перемещение курсора, **Enter** – смена данных, **Esc** – выход из экрана. При вводе данных программа проверяет каждую вводимую пользователем величину. Если новая величина неверна, появляется сообщение об ошибке **#Error**. Для исправления ошибки необходимо задать приемлемую величину и повторить процедуру ввода. Если введенное изменение требует коррекции каких-то других параметров, программа запрашивает подтверждения и затем проводит пользователя по всем экранам, в которые необходимо внести изменения. Длина ребра объемной зоны не задается в программе в ручную, а рас-

считывается посредством нажатия кнопки **Применить**.

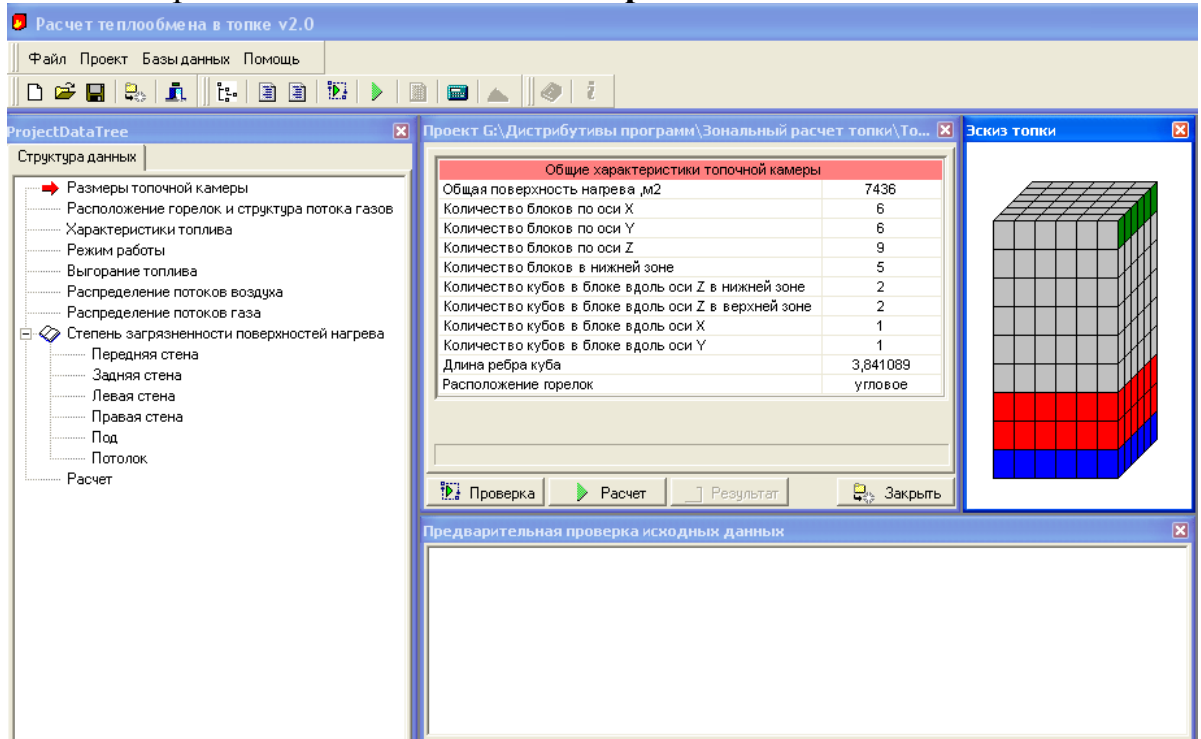


Рис. 4. Рабочее окно программы *Furnace*

3.2.2. Горелочные слои и выход газов.

В этом экране пользователь может выбрать позиции горелочных ярусов, вариант для выбора направления и места выхода топочных газов и слой для ввода газов верхней рециркуляции. Команды: стрелки вверх и вниз – перемещение курсора, **Enter** – смена данных, **Esc** – выход из экрана.

Если новая величина неверна, появляется сообщение об ошибке **#Error**. Для исправления ошибки необходимо задать приемлемую величину и повторить процедуру ввода. Горелочные слои устанавливаются или отменяются простым нажатием клавиши ввода. При этом необходимо учитывать, что для надежной работы программы необходимо задать, по крайней мере, хотя бы один горелочный ярус. Следует учитывать, что в этом экране параметры взаимосвязаны. Для координаты верхнего горелочного слоя должно соблюдаться условие $P3 > P_{up}$, для выхода газов вверх $P3 = P$, для выходов в стороны $P3 = P - 1$ или $P - 2$. Эти соотношения вычислительная программа контролирует автоматически. При изменении одного из них программа корректирует связанные с ним параметры из других таблиц. Чтобы избежать необходимости возвращаться к уже установленным параметрам, рекомендуется устанавливать их в следующем порядке: а) выход газов; б) $P3$; в) горелочные ярусы; г) P_{up} .

Если изменение таково, что необходимо соответственно изменить ряд других параметров, программа запрашивает подтверждения и далее проводит пользователя по всем экранам, которые могут требовать соответствующих из-

менений.

3.2.3. Характеристики топлива.

В этом экране вводятся состав топлива и его теплота сгорания. Команды: стрелки вверх и вниз – перемещение курсора, **Enter** – смена данных, **Esc** – выход из экрана.

Сумма концентраций компонентов топлива должна быть равна 100. Программа проверяет это условие и при нарушении печатает сообщение об ошибке. При попытке выйти из экрана появляется окно с предупреждением. Можно либо исправить значение, либо выйти из экрана без сохранения новых данных. Программа также проверяет соответствие теплоты сгорания топлива его составу по формуле Менделеева. При расхождении, превышающем заложенную в программу величину, печатается соответствующее сообщение.

3.2.4. Условия работы.

Здесь помещается часть режимных параметров и некоторые дополнительные параметры работы топки. Команды: стрелки вверх и вниз – перемещение курсора, **Enter** – смена данных, **Esc** – выход из экрана.

Если новая величина неверна, появляется сообщение об ошибке **#Error**. Для исправления ошибки необходимо задать приемлемую величину и повторить процедуру ввода.

3.2.5. Выгорание топлива.

Вводится вертикальное и горизонтальное распределение выгорания топлива. Команды: стрелки вверх и вниз – перемещение курсора, **Enter** – смена данных, **Esc** – выход из экрана. Кнопка **Строка** позволяет задать стандартный вариант распределения движения газов, подачи воздуха и выгорания топлива.

Сумма значений $Mu(z)$ должна быть равна 1. Сумма $Mu(x, z)$ по x для встречных горелок или сумма $Mu(R, z)$ по R для тангенциальных горелок также должна быть 1 в каждом ярусе (для каждого z). Если это условие нарушено, сообщение об ошибке **#Error** появится в соответствующем месте экрана. При попытке выйти из экрана появляется окно с предупреждением. Можно либо исправить значение, либо выйти из экрана без сохранения новых данных. Яруса (слои), соответствующие $Mu(z) = 0$, остаются пустыми.

3.2.6. Распределение воздушных потоков.

Вводится вертикальное и горизонтальное распределение воздушных потоков. Команды: стрелки вверх и вниз – перемещение курсора, **Enter** – смена данных, **Esc** – выход из экрана. Кнопка **Строка** позволяет задать стандартный вариант распределения подачи воздуха.

Сумма значений $Nu(z)$ должна быть равна 1. Сумма $Nu(x, z)$ по x для встречных горелок или сумма $Nu(R, z)$ по R для тангенциальных горелок также должна быть 1 в каждом ярусе (для каждого z). Если это условие нарушено,

сообщение об ошибке **#Error** появится в соответствующем месте экрана. При попытке выйти из экрана появляется окно с предупреждением. Можно либо исправить значение, либо выйти из экрана без сохранения новых данных. Яруса (слои), соответствующие $Nu(z) = 0$, остаются пустыми.

3.2.7. Распределение потоков газов.

Вводится горизонтальное распределение вертикальных газовых потоков. Команды: стрелки вверх и вниз – перемещение курсора, **Enter** – смена данных, **Esc** – выход из экрана. Кнопка **Строка** позволяет задать стандартный вариант распределения движения газов.

Сумма $L(x, z)$ по x для встречных горелок или сумма $L(R, z)$ по R для тангенциальных горелок также должна быть 1 в каждом ярусе (для каждого z). Если это условие нарушено, сообщение об ошибке **#Error** появится в соответствующем месте экрана. При попытке выйти из экрана появляется окно с предупреждением. Можно либо исправить значение, либо выйти из экрана без сохранения новых данных.

Яруса (слои), относящиеся к холодной воронке топке, и слои, расположенные выше слоя $P3$, не заполняются пользователем. Значения $L(x, z)$ или $L(R, z)$ в этих слоях вычисляются программой. При наличии верхней рециркуляции газов в экранном меню появляется дополнительная строка непосредственно под строкой $z = P_up$. В этой строке задается горизонтальное распределение газов верхней рециркуляции.

3.2.8. Тепловое сопротивление настенного слоя загрязнений.

В данном экранном меню можно задать произвольное распределение загрязнений R_0 по стенам топки независимо для каждого поверхностного элемента модели. При входе в этот раздел меню появляется подменю, которое предлагает выбрать любую стену, которую Вы хотите рассматривать и редактировать. Имеется шесть идентичных экранов – для каждой из поверхностей, ограничивающих топку. Команды: стрелки вверх и вниз – перемещение курсора, **Enter** – смена данных, **Esc** – выход из экрана. Кнопка **Строка** позволяет задать стандартный вариант значений теплового сопротивления полной строки, кнопка **Таблица** – позволяет выполнить заполнение выбранным значением теплового сопротивления всей матрицы. При этом программа показывает положение горелочных слоев и выходов газов. Задачей пользователя является выбор значений тепловых сопротивлений каждой стены топочной камеры.

3.3. Выход из программы. Анализ результатов (4 этап).

При демонстрации результатов расчета в графическом виде в головной программе появляется дочернее окно **Результаты расчета**. Если во входной файл были внесены какие-либо изменения, но не проведен расчёт, в этом случае в специальном окне появляется соответствующее предостережение. Выбрав опцию **Ok**, Вы сможете в этом случае увидеть результат. Подменю ре-

зультатов вычислений выполнено в виде соответствующих закладок, предлагающих следующие возможности.

3.3.1. Температура газов.

В этом разделе Вы можете увидеть одномерные графики зависимости температуры как функции одной из координат (см. рис. 5). Две другие координаты выбираются свободно. В верхней части экрана записаны средняя выходная температура и тепловая мощность, переданная в топке. Справа от графика вверху располагается карта выбранного сечения топки с указанием места (крестиком) зоны в рамках которой осуществляется визуализация температуры газов. При этом с помощью переключателей располагающихся под картой сечений можно осуществлять смену самих сечений, в частности: график изменения температуры вдоль оси X ; график изменения температуры вдоль оси Y ; график изменения температуры вдоль оси Z .

3.3.2. Поля температур.

В этом разделе программы можно увидеть распределение температур по сечению топки, перпендикулярному любой оси координат (см. рис. 6). Распределение может быть представлено как в виде таблиц, так и в виде цветных изотерм. Справа от таблицы с верху располагается макет топки с кнопками управления перемещения расчетного сечения. Выбор проекции сечения (XY , XZ , YZ), а также вид результатов (таблица или линии изотерм) осуществляется посредством переключателей, располагающихся под макетом топки.

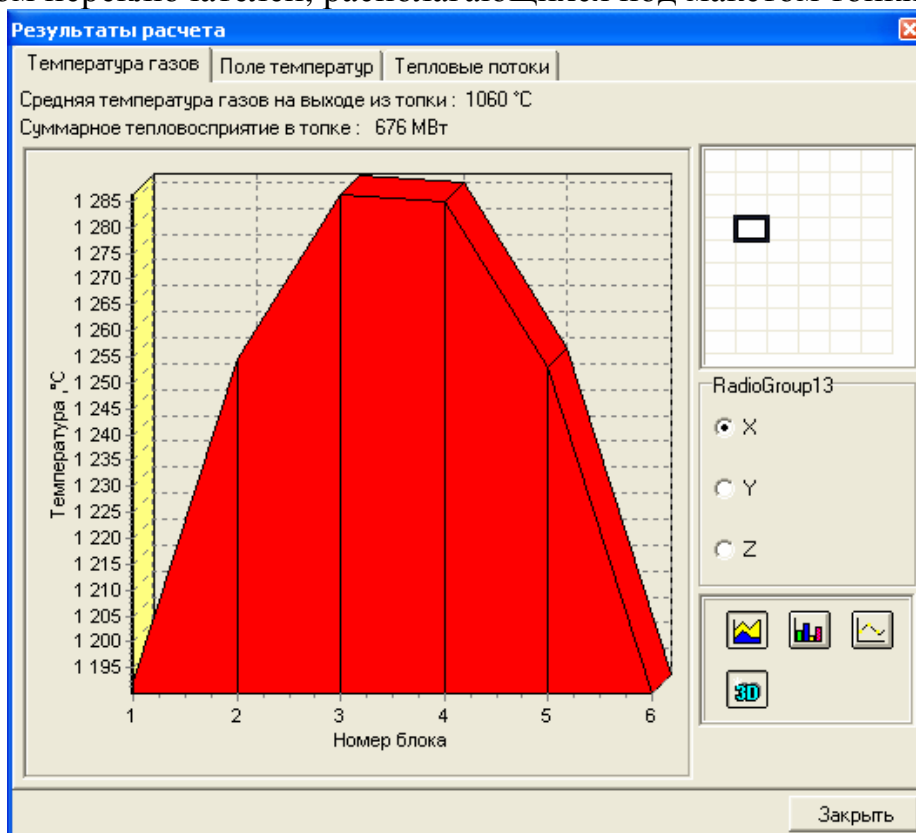


Рис. 5. Одномерный график изменения температур газов по осям топки

3.3.3. Тепловые потоки.

В данном разделе для шести стен топки выдаются по выбору пользователя падающие или воспринятые тепловые потоки в форме таблиц, либо изобразит (см. рис. 7). Выбор поверхности топочных стен, типа теплового потока и способа представления результатов осуществляется с помощью переключателей располагающихся справа от таблицы результатов.

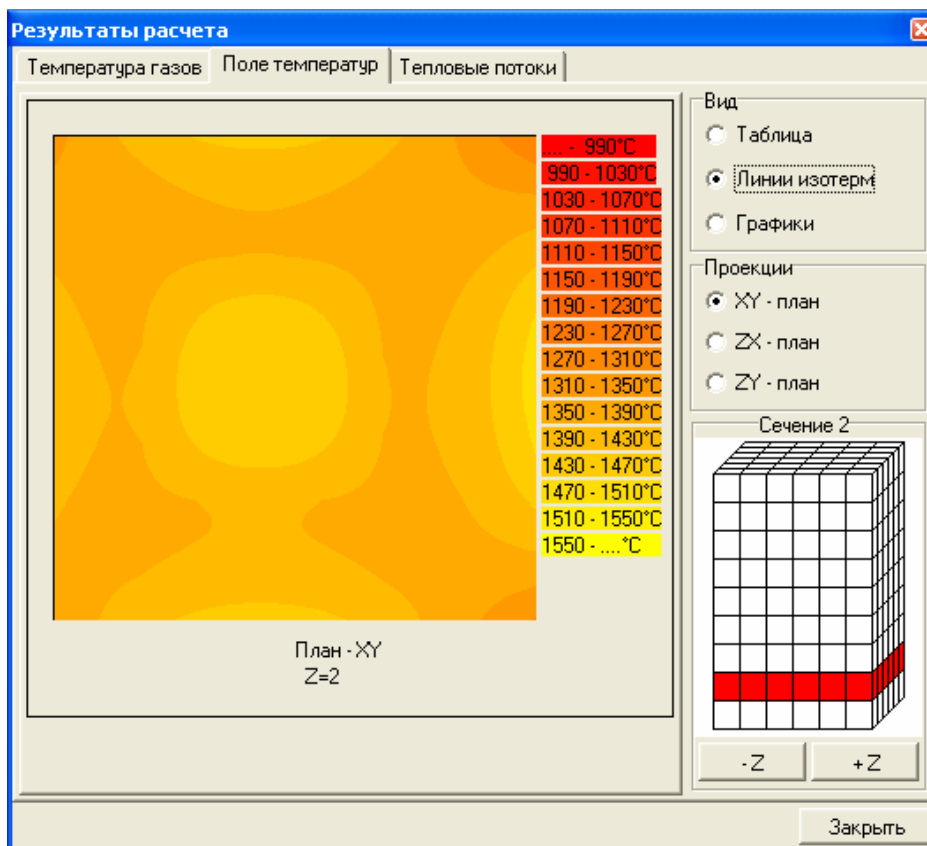


Рис. 6. Двухмерные графики температур газов по сечениям топки

Закрывается окно результатов с помощью кнопки **Закреть**, располагающейся снизу панели. Следует отметить, что просмотр результатов в программе всегда осуществляется посредством кнопки **Расчет**.

Список использованных источников:

1. Savoiatnen Kati/ Математическое моделирование аэродинамики котла. Mod. Power Syst 1999, 19, № 2, с. 35-37, англ. ГПНТБ.
2. Абрютин А.А., Карасина Э.С., Лившиц Б.Н. и др. Развитие метода и программы трехмерного зонального расчета теплообмена в топочных камерах пылеугольных котлов. Теплоэнергетика. 1998. №6, с 20-25.
3. Карасина Э.С., Шраго З.Х., Александрова Т.С., Боревская С.Е., Алго́ Бойко Е.А., Программа трехмерного зонального метода расчета теплообмена в топочных камерах паровых котлов

ритм и программа зонального расчета теплообмена в топочных камерах паровых котлов. Теплоэнергетика, 1982, №7. с. 42-50.

4. Карасина Э.С., Васенко СВ., Гудкевич Э.Л. Влияние рассредоточения вводов топлива на распределение температуры газов и тепловых потоков в топках паровых котлов. Теплоэнергетика. 1985, № 1, с. 15-17.

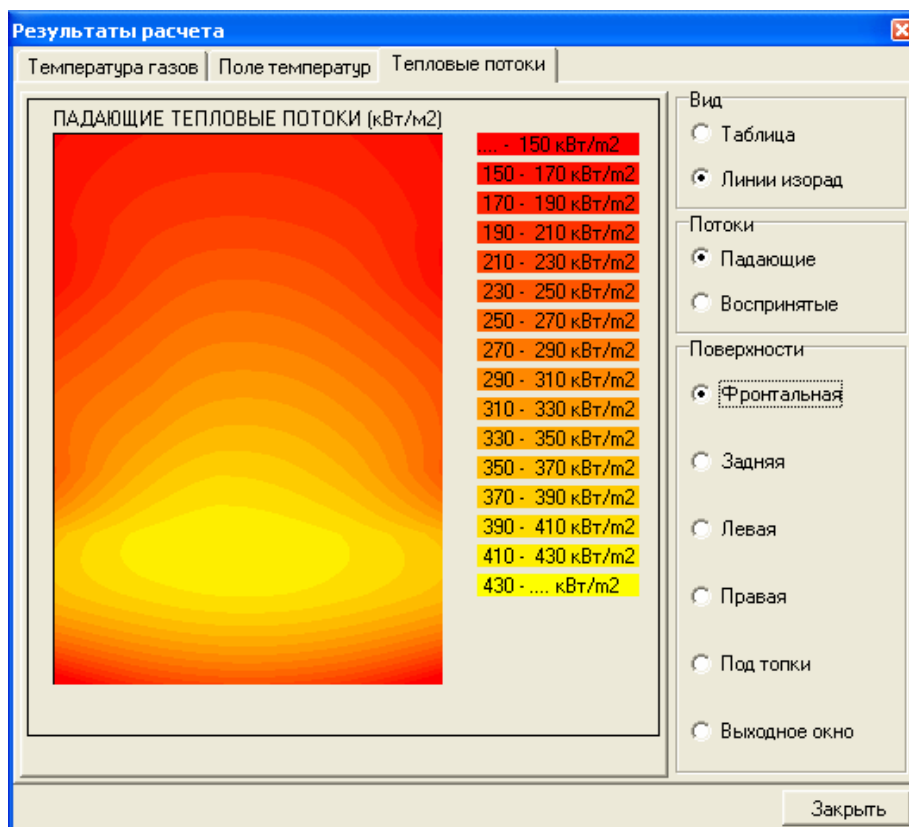


Рис. 7. Двухмерный график изорад падающих и воспринятых тепловых потоков