# Конструкторский раздел

В данном разделе приводится состав котельного отделения ТЭЦ-20 Мосэнерго, описывается базовая математическая модель расхода топлива котлоагрегатами. Приводится модификация математической модели в соответствии с требованиями поставленной задачи и конкретными параметрами, относящимися к условиям функционирования ТЭЦ-20 Мосэнерго. Выполняется построение целевых функций для сформулированных в п.1 критериев оптимизации, а также построение общей целевой функции, описывающей поставленную многокритериальную оптимизационную задачу.

Приводится описание метода, предлагаемого для решения поставленной задачи, а также алгоритма, реализующего данный метод.

Описывается структура разработанного программного продукта.

## Состав котельного отделения ТЭЦ-20 Мосэнерго

Котельное отделение ТЭЦ-20 Мосэнерго состоит из двух независимых очередей котлоагрегатов:

1. Очередь «90 ата», в которой котлоагрегаты работают при давлении 90 атм.;
2. Очередь «130 ата», в которой котлоагрегаты работают при давлении 130 атм.;

В виду сложности математической модели и большого количества расчетов, а также независимости приведенных выше очередей котлоагрегатов, в данной работе рассматривается только очередь «90 ата».

Очередь «90 ата» состоит из 6 котлоагрегатов, условно обозначаемых: K1, K2, K3, K4, K5, K6. Каждый из них может работать как на газе, так и на мазуте, а также на любой комбинации газа и мазута.

## Математическая модель функционирования котлоагрегатов

В данном разделе выделяются параметры, необходимые для построения математической модели функционирования котлоагрегатов, определяются входные управляемые переменные математической модели и выходные параметры, получаемые после ее расчета. Выполняется построение математической модели в соответствии с поставленной задачей.

### Параметры, используемые в математической модели

Для построения математической модели функционирования котлоагрегатов и проведения расчетов, необходимо учесть параметры, представленные в таблице 1 ниже.

Данные параметры были взяты из [1], где рассматривалась модель функционирования Могилевской ТЭЦ-2. Построенная в [1] математическая модель была успешно внедрена на Могилевской ТЭЦ-2 [1], которая является типичным энергетическим предприятием, в состав которого входят турбинное и котельное отделение. Это позволяет использовать описанные параметры для построения математической модели функционирования и других ТЭЦ, в том числе котельного отделения ТЭЦ-20 Мосэнерго, рассматриваемого в данной работе.

**Таблица 1. Параметры, используемые в математической модели**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Название** | **Обозначение** | **Единица измерения** |
| **Вид, марка, характеристики сжигаемого топлива** | | |
| Низшая теплота сгорания |  | ккал/кг (кДж/кг);  ккал/м3 (кДж/м3) |
| Влажность на рабочую массу |  | % |
| Температура мазута, подаваемого в топку котла |  | oC |
| Цена единицы топлива |  | у.е./т;  у.е./тыс.м3 |
| **Параметры, определяемые при тепловом расчете котельных агрегатов** | | |
| Теоретический объем сухого воздуха, необходимый для полного сгорания топлива |  | н.м3/кг |
| Нормативная температура холодного воздуха |  | oC |
| Нормативные присосы воздуха в газовый тракт |  |  |
| Нормативные присосы воздуха в топку |  |  |
| Нормативные потери тепла корпусом котла в окружающую среду при номинальной часовой паропроизводительности |  |  |
| Теплосодержание (энтальпия) перегретого пара |  | ккал/кг (кДж/кг) |
| Теплосодержание (энтальпия) питательной воды |  | ккал/кг (кДж/кг) |
| **Нормативные характеристики и параметры, определяемые при режимно-наладочных испытаниях энергоагрегатов** | | |
| Теплосодержания (энтальпия) котловой воды |  | ккал/кг (кДж/кг) |
| Температура воздуха после воздухоподогревателей |  | oC |
| Температура уходящих газов |  | oC |
| Коэффициент избытка воздуха в режимном сечении |  |  |
| Потери тепла с химическим недожогом топлива |  | % |
| **Корректирующие параметры, замеряемые в процессе эксплуатации при текущем режиме работы** | | |
| Теплосодержания (энтальпия) котловой воды |  | ккал/кг (кДж/кг) |
| Температура воздуха после воздухоподогревателей |  | oC |
| Температура уходящих газов |  | oC |
| Коэффициент избытка воздуха в режимном сечении |  |  |
| Потери тепла с химическим недожогом топлива |  | % |
| Присосы воздуха в газовый тракт |  |  |
| Присосы воздуха в топку |  |  |
| Нормативная температура холодного воздуха |  | oC |

### Входные управляемые переменные математической модели

В поставленной задаче рассматривается группа котлоагрегатов, работающих на газе или мазуте. При этом каждый из котлоагрегатов, входящий в состав группы, может работать только на одном из видов топлива. В поставленной задаче не рассматривается возможность работы котлоагрегата на смешанном топливе.

Исходя выше сказанного, выделим входные управляемые переменные для математической модели. Опишем их в таблице 2. Для этого скорректируем список управляемых переменных, используемых в [1], в соответствии с требованиями поставленной задачи.

**Таблица 2. Входные управляемые переменные математической модели**

|  |  |
| --- | --- |
| **Название** | **Описание** |
| Состав загружаемых котлоагрегатов | Каждый из котлоагрегатов может находиться в одном из трех состояний:   1. Выключен (0); 2. Включен и работает на газе (Г); 3. Включен и работает на мазуте (М). |
| Паровая нагрузка для каждого котлоагрегата, | Паровая нагрузка котла определяется по режимным картам котла и может принимать значение в пределах от некоторого минимального до некоторого максимального значения |

### Выходные параметры математической модели

Выделим выходные параметры, получаемые при расчете построенной математической модели. Данные параметры представлены ниже, в таблице 3. Выделенные параметры позволяют получить оптимальное решение построенной целевой функции, описанной в п.1. при учете критериев, описанных в п.1.

**Таблица 3. Выходные параметры математической модели**

|  |  |
| --- | --- |
| **Название** | **Описание** |
| Оптимальный состав загружаемых котлоагрегатов | Одно из трех состояний:   1. Выключен (0); 2. Включен и работает на газе (Г); 3. Включен и работает на мазуте (М),   для каждого из котлоагрегатов. |
| Оптимальная паровая нагрузка для каждого котлоагрегата, | Значение паровой нагрузки для каждого из котлоагрегатов в пределах допустимых значений, взятых из режимных карт котлов. |

### Параметры математической модели, общие для всех котлоагрегатов

В таблице 1 приведены конкретные значения параметров, используемых в математической модели, которые являются общими для всех котлоагрегатов очереди «90 ата» котельного отделения ТЭЦ-20 Мосэнерго.

**Таблица 1. Параметры, общие для всех котлоагрегатов**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Обозначение** | **Единицы измерения** | **Значение** |
| Потери тепла с химическим недожогом топлива |  | % | 0 |
| Потери тепла от механической неполноты сгорания топлива |  | % | 0 |
| Низшая теплота сгорания газа |  | ккал/нм3 | 8440 |
| Низшая теплота сгорания мазута |  | ккал/кг | 9300 |
| Влажность топлива на рабочую массу (для газа) |  | % | 0 |
| Влажность топлива на рабочую массу (для мазута) |  | % | 15% |
| Объемная теплоемкость воздуха |  | ккал/(м3·°С) | 0*.*317 |
| Теоритически объем сухого воздуха, необходимый для полного сгорания топлива |  | н.м3/кг | 10*.*42 |
| Температура воздуха после воздухоподогревателей (для газа) |  | °С | 30 |
| Температура воздуха после воздухоподогревателей (для мазута) |  | °С | 80 |
| Температура поступающего в топку котла мазута |  | °С | 110 |
| Удельный расход пара на распыливание мазута |  | кг пара / кг мазута | 0*.*02 |
| Теплосодержание пара, поступающего на распыливание |  | ккал/кг | 699*.*1 |
| Теплосодержание пара при давлении и температуре уходящих газов |  | ккал/кг | 600 |
| Температура воздуха на всосе дутьевого вентилятора |  | °С | 30 |
| Поправка на изменение температуры воздуха в вентиляторах за счет его сжатия |  |  | 0 |
| Норма присосов в топку |  |  | 0,05 |
| Норма присосов в газовый тракт (при ) |  |  | 0,1 |
| Норма присосов в газовый тракт (при ) |  |  | 0,25 |
| Теплосодержание (энтальпия) перегретого пара |  | ккал/кг | 814,97 |
| Теплосодержание (энтальпия) питательной воды |  | ккал/кг | 220 |
| Теплосодержание (энтальпия) котловой воды |  | ккал/кг | 334,2 |

### Режимные карты котлоагрегатов котельного отделения ТЭЦ-20 Мосэнерго очереди «90 ата»

В данном разделе приведены конкретные значения параметров, используемых в математической модели, которые отличаются для каждого из котлоагрегатов. Эти значения получены по режимным картам котлоагрегатов очереди «90 ата» ТЭЦ-20 Мосэнерго.

#### Котлоагрегат K-1

В таблице 1 приведена режимная карта котлоагрегата K-1 очереди «90 ата» ТЭЦ-20 Мосэнерго при работе на природном газе.

**Таблица 1. Режимная карта К-1 при работе на природном газе.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Обозначение** | **Ед. измерения** | **Диапазон рабочей паропроизводительности** | | | | |
| Паропроизводительность |  | т/ч | 90 | 110 | 130 | 150 | 170 |
| Потери тепла с уходящими газами |  | % | 66,08 | 66,05 | 66,1 | 66,1 | 66,15 |
| Потери тепла в окружающую среду за счет конвекции и излучения |  | % | 1,19 | 0,97 | 0,82 | 0,72 | 0,63 |
| Температура уходящих газов |  | oC | 150 | 152 | 154 | 155 | 156 |
| Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах |  |  | 1,24 | 1,23 | 1,22 | 1,21 | 1,21 |
| Коэффициент избытка воздуха в режимном сечении |  |  | 1,12 | 1,12 | 1,12 | 1,12 | 1,12 |

В таблице 1 приведена режимная карта котлоагрегата K-1 очереди «90 ата» ТЭЦ-20 Мосэнерго при работе на мазуте.

**Таблица 1. Режимная карта К-1 при работе на мазуте.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Обозначение** | **Ед. измерения** | **Диапазон рабочей паропроизводительности** | | | | |
| Паропроизводительность |  | т/ч | 90 | 110 | 130 | 150 | 170 |
| Потери тепла с уходящими газами |  | % | Ы8,38 | 77,94 | 77,64 | 77,55 | 77,67 |
| Потери тепла в окружающую среду за счет конвекции и излучения |  | % | 1,19 | 0,97 | 0,83 | 0,71 | 0,63 |
| Температура уходящих газов |  | oC | 175 | 176 | 178 | 181 | 186 |
| Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах |  |  | 1,53 | 1,43 | 1,37 | 1,33 | 1,30 |
| Коэффициент избытка воздуха в режимном сечении |  |  | 1,39 | 1,31 | 1,25 | 1,22 | 1,2 |

#### Котлоагрегат K-2

В таблице 1 приведена режимная карта котлоагрегата K-2 очереди «90 ата» ТЭЦ-20 Мосэнерго при работе на природном газе.

**Таблица 1. Режимная карта К-2 при работе на природном газе.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Обозначение** | **Ед. измерения** | **Диапазон рабочей паропроизводительности** | | | | |
| Паропроизводительность |  | т/ч | 90 | 110 | 130 | 150 | 170 |
| Потери тепла с уходящими газами |  | % | 55,58 | 55,52 | 55,45 | 55,52 | 55,62 |
| Потери тепла в окружающую среду за счет конвекции и излучения |  | % | 1,19 | 0,97 | 0,63 | 0,63 | 0,63 |
| Температура уходящих газов |  | oC | 136 | 138 | 140 | 142 | 145 |
| Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах |  |  | 1,30 | 1,22 | 1,20 | 1,18 | 1,17 |
| Коэффициент избытка воздуха в режимном сечении |  |  | 1,15 | 1,12 | 1,11 | 1,1 | 1,09 |

В таблице 1 приведена режимная карта котлоагрегата K-2 очереди «90 ата» ТЭЦ-20 Мосэнерго при работе на мазуте.

**Таблица 1. Режимная карта К-2 при работе на мазуте.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Обозначение** | **Ед. измерения** | **Диапазон рабочей паропроизводительности** | | | | |
| Паропроизводительность |  | т/ч | 90 | 110 | 130 | 150 | 170 |
| Потери тепла с уходящими газами |  | % | Ы8,7 | 88,03 | 77,85 | 77,69 | 77,63 |
| Потери тепла в окружающую среду за счет конвекции и излучения |  | % | 1,13 | 0,93 | 0,78 | 0,68 | 0,6 |
| Температура уходящих газов |  | oC | 170 | 172 | 176 | 179 | 181 |
| Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах |  |  | 1,62 | 1,46 | 1,38 | 1,32 | 1,29 |
| Коэффициент избытка воздуха в режимном сечении |  |  | 1,48 | 1,34 | 1,27 | 1,21 | 1,19 |

#### Котлоагрегат K-3

В таблице 1 приведена режимная карта котлоагрегата K-3 очереди «90 ата» ТЭЦ-20 Мосэнерго при работе на природном газе.

**Таблица 1. Режимная карта К-3 при работе на природном газе.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Обозначение** | **Ед. измерения** | **Диапазон рабочей паропроизводительности** | | | | |
| Паропроизводительность |  | т/ч | 90 | 110 | 130 | 150 | 170 |
| Потери тепла с уходящими газами |  | % | 66,74 | 66,18 | 55,95 | 55,84 | 55,74 |
| Потери тепла в окружающую среду за счет конвекции и излучения |  | % | 1,19 | 1,07 | 0,95 | 0,87 | 0,8 |
| Температура уходящих газов |  | oC | 150 | 149 | 149 | 149 | 148 |
| Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах |  |  | 1,39 | 1,29 | 1,24 | 1,22 | 1,21 |
| Коэффициент избытка воздуха в режимном сечении |  |  | 1,21 | 1,12 | 1,1 | 1,1 | 1,1 |

В таблице 1 приведена режимная карта котлоагрегата K-3 очереди «90 ата» ТЭЦ-20 Мосэнерго при работе на мазуте.

**Таблица 1. Режимная карта К-3 при работе на мазуте.**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Обозначение** | **Ед. измерения** | **Диапазон рабочей паропроизводительности** | | | |
| Паропроизводительность |  | т/ч | 110 | 130 | 150 | 170 |
| Потери тепла с уходящими газами |  | % | 9,37 | 8,91 | 8,42 | 8,21 |
| Потери тепла в окружающую среду за счет конвекции и излучения |  | % | 0,77 | 0,65 | 0,57 | 0,5 |
| Температура уходящих газов |  | oC | 180 | 182 | 184 | 185 |
| Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах |  |  | 1,88 | 1,75 | 1,62 | 1,56 |
| Коэффициент избытка воздуха в режимном сечении |  |  | 1,74 | 1,62 | 1,5 | 1,45 |

#### Котлоагрегат K-4

В таблице 1 приведена режимная карта котлоагрегата K-4 очереди «90 ата» ТЭЦ-20 Мосэнерго при работе на природном газе.

**Таблица 1. Режимная карта К-4 при работе на природном газе.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Обозначение** | **Ед. измерения** | **Диапазон рабочей паропроизводительности** | | | | | |
| Паропроизводительность |  | т/ч | 130 | 150 | 170 | 190 | 210 | 230 |
| Потери тепла с уходящими газами |  | % | 5,57 | 5,66 | 5,7 | 5,75 | 5,79 | 5,84 |
| Потери тепла в окружающую среду за счет конвекции и излучения |  | % | 1 | 0,87 | 0,77 | 0,69 | 0,62 | 0,57 |
| Температура уходящих газов |  | oC | 149 | 151 | 152 | 153 | 154 | 155 |
| Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах |  |  | 1,17 | 1,16 | 1,15 | 1,15 | 1,14 | 1,14 |
| Коэффициент избытка воздуха в режимном сечении |  |  | 1,08 | 1,08 | 1,08 | 1,08 | 1,08 | 1,08 |

В таблице 1 приведена режимная карта котлоагрегата K-4 очереди «90 ата» ТЭЦ-20 Мосэнерго при работе на мазуте.

**Таблица 1. Режимная карта К-4 при работе на мазуте.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Обозначение** | **Ед. измерения** | **Диапазон рабочей паропроизводительности** | | | | | |
| Паропроизводительность |  | т/ч | 130 | 150 | 170 | 190 | 210 | 230 |
| Потери тепла с уходящими газами |  | % | 7,71 | 7,72 | 7,73 | 7,78 | 7,84 | 7,94 |
| Потери тепла в окружающую среду за счет конвекции и излучения |  | % | 0,97 | 0,84 | 0,74 | 0,67 | 0,6 | 0,55 |
| Температура уходящих газов |  | oC | 175 | 176 | 177 | 178 | 180 | 182 |
| Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах |  |  | 1,42 | 1,41 | 1,4 | 1,4 | 1,39 | 1,39 |
| Коэффициент избытка воздуха в режимном сечении |  |  | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 | 1,3 |

#### Котлоагрегат K-5

В таблице 1 приведена режимная карта котлоагрегата K-5 очереди «90 ата» ТЭЦ-20 Мосэнерго при работе на природном газе.

**Таблица 1. Режимная карта К-5 при работе на природном газе.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Обозначение** | **Ед. измерения** | **Диапазон рабочей паропроизводительности** | | | | | |
| Паропроизводительность |  | т/ч | 130 | 150 | 170 | 190 | 210 | 230 |
| Потери тепла с уходящими газами |  | % | 5,25 | 5,23 | 5,2 | 5,23 | 5,33 | 5,42 |
| Потери тепла в окружающую среду за счет конвекции и излучения |  | % | 1,01 | 0,87 | 0,77 | 0,57 | 0,57 | 0,57 |
| Температура уходящих газов |  | oC | 138 | 140 | 141 | 142 | 143 | 145 |
| Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах |  |  | 1,17 | 1,14 | 1,13 | 1,12 | 1,12 | 1,12 |
| Коэффициент избытка воздуха в режимном сечении |  |  | 1,1 | 1,07 | 1,06 | 1,05 | 1,05 | 1,05 |

В таблице 1 приведена режимная карта котлоагрегата K-5 очереди «90 ата» ТЭЦ-20 Мосэнерго при работе на мазуте.

**Таблица 1. Режимная карта К-5 при работе на мазуте.**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Обозначение** | **Ед. измерения** | **Диапазон рабочей паропроизводительности** | | | |
| Паропроизводительность |  | т/ч | 170 | 190 | 210 | 230 |
| Потери тепла с уходящими газами |  | % | 7,41 | 6,79 | 6,7 | 6,5 |
| Потери тепла в окружающую среду за счет конвекции и излучения |  | % | 0,77 | 0,69 | 0,62 | 0,57 |
| Температура уходящих газов |  | oC | 164 | 165 | 162 | 162 |
| Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах |  |  | 1,54 | 1,43 | 1,43 | 1,42 |
| Коэффициент избытка воздуха в режимном сечении |  |  | 1,3 | 1,19 | 1,19 | 1,19 |

#### Котлоагрегат K-6

В таблице 1 приведена режимная карта котлоагрегата K-6 очереди «90 ата» ТЭЦ-20 Мосэнерго при работе на природном газе.

**Таблица 1. Режимная карта К-6 при работе на природном газе.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Обозначение** | **Ед. измерения** | **Диапазон рабочей паропроизводительности** | | | | | |
| Паропроизводительность |  | т/ч | 130 | 150 | 170 | 190 | 210 | 230 |
| Потери тепла с уходящими газами |  | % | 5,62 | 5,66 | 5,69 | 5,73 | 5,78 | 5,8 |
| Потери тепла в окружающую среду за счет конвекции и излучения |  | % | 1,01 | 0,87 | 0,77 | 0,57 | 0,57 | 0,57 |
| Температура уходящих газов |  | oC | 142 | 146 | 149 | 151 | 153 | 155 |
| Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах |  |  | 1,20 | 1,17 | 1,14 | 1,13 | 1,12 | 1,12 |
| Коэффициент избытка воздуха в режимном сечении |  |  | 1.13 | 1,12 | 1,11 | 1,09 | 1,09 | 1,09 |

В таблице 1 приведена режимная карта котлоагрегата K-6 очереди «90 ата» ТЭЦ-20 Мосэнерго при работе на мазуте.

**Таблица 1. Режимная карта К-6 при работе на мазуте.**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Обозначение** | **Ед. измерения** | **Диапазон рабочей паропроизводительности** | | | |
| Паропроизводительность |  | т/ч | 170 | 190 | 210 | 230 |
| Потери тепла с уходящими газами |  | % | 8,47 | 8,1 | 7,56 | 7,32 |
| Потери тепла в окружающую среду за счет конвекции и излучения |  | % | 0,74 | 0,67 | 0,6 | 0,55 |
| Температура уходящих газов |  | oC | 183 | 184 | 184 | 185 |
| Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах |  |  | 1,61 | 1,52 | 1,4 | 1,34 |
| Коэффициент избытка воздуха в режимном сечении |  |  | 1,52 | 1,43 | 1,32 | 1,26 |

### Построение регрессионных полиномов

### Построенные регрессионные полиномы для каждого котла + общие для всех котлов значения параметров

### Базовая математическая модель расхода топлива котлом

### Правки к математической модели

### Целевые функции для выбранных критериев

### Общая целевая функция

## Метод решения многокритериальной оптимизационной задачи

## Алгоритм решения многокритериальной оптимизационной задачи

## Структура программного продукта