# 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, составлявшимся по результатам режимно-наладочных испытаний котлоагрегатов.

#### 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

В [дил] рассматриваются условия функционирования Могилевской ТЭЦ-2. Для выделенных параметров, описанных в п.1, в [дил] методами регрессионного анализа были установлены их функциональные зависимости от текущей паровой нагрузки котлоагрегатов. В ходе этого анализа было выявлено, что наиболее удовлетворительным видом функциональных зависимостей являются регрессионные полиномы третьей степени [дил]:

где – паровая нагрузка котлоагрегата, *i* = 1..*n*, где *n* – количество наблюдений.

Могилевская ТЭЦ-2 является типичным энергетическим предприятием, - это позволяет считать полученные функциональные зависимости, установленные для Могилевской ТЭЦ-2 справедливыми также и для других ТЭЦ.

Опишем общий алгоритм построения регрессионных полиномов третьей степени.

В соответствии с методом наименьших квадратов [общ. Теория статистики], для определения параметров полинома третьей степени (номер) строится следующая система линейных алгебраических уравнений:

Обозначим:

где n – количество наблюдений.

регрессионная матрица размером n \* k, где k – количество оцениваемых параметров. В данном случае, k = 4.

вектор параметров.

Исходя из этого, система линейных алгебраических уравнений (1) принимает следующий вид:

Далее, при подстановке исходных данных из наблюдений, вычисляются коэффициенты матриц и . А затем, решая полученную систему (1 – формула выше), находим коэффициенты регрессионного полинома третьей степени .

### Функциональные зависимости параметров котлоагрегатов очереди «90 ата» от паровой нагрузки

Построим регрессионные полиномы третьей степени для параметров котлоагрегатов очереди «90 ата». Необходимо получить функциональные зависимости от паровой нагрузки для следующих параметров:

1. потери тепла с уходящими газами ,
2. потери тепла в окружающую среду за счет конвекции и излучения ,
3. температура уходящих газов ,
4. коэффициент избытка воздуха в уходящих газах ,
5. коэффициент избытка воздуха в режимном сечении .

Для каждого из перечисленных выше параметров решим систему линейных алгебраических уравнений, описанную в п.1, используя значения, полученные по режимным картам котлоагрегатов, приведенным в п.1.

В таблицах 1-2 ниже приведены построенные функциональные зависимости – регрессионные полиномы третьей степени – параметров котлоагрегатов от паровой нагрузки при использовании различных видов топлива.

**Таблица 1. Функциональные зависимости потерь тепла с уходящими газами () от паровой нагрузки ()**

|  |  |
| --- | --- |
| **Топливо - Газ** | |
| K1 |  |
| K2 |  |
| K3 |  |
| K4 |  |
| K5 |  |
| K6 |  |
| **Топливо - Мазут** | |
| K1 |  |
| K2 |  |
| K3 |  |
| K4 |  |
| K5 |  |
| K6 |  |

**Таблица 1. Функциональные зависимости потерь тепла в окружающую среду за счет конвекции и излучения () от паровой нагрузки ()**

|  |  |
| --- | --- |
| **Топливо - Газ** | |
| K1 |  |
| K2 |  |
| K3 |  |
| K4 |  |
| K5 |  |
| K6 |  |
| **Топливо - Мазут** | |
| K1 |  |
| K2 |  |
| K3 |  |
| K4 |  |
| K5 |  |
| K6 |  |

**Таблица 1. Функциональные зависимости температуры уходящих газов () от паровой нагрузки ()**

|  |  |
| --- | --- |
| **Топливо - Газ** | |
| K1 |  |
| K2 |  |
| K3 |  |
| K4 |  |
| K5 |  |
| K6 |  |
| **Топливо - Мазут** | |
| K1 |  |
| K2 |  |
| K3 |  |
| K4 |  |
| K5 |  |
| K6 |  |

**Таблица 1. Функциональные зависимости коэффициентов избытка воздуха в уходящих газах () от паровой нагрузки ()**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Топливо - Газ** | | |
| K1 |  |  |
| K2 |  |  |
| K3 |  |  |
| K4 |  |  |
| K5 |  |  |
| K6 |  |  |
| **Топливо - Мазут** | | |
| K1 |  |  |
| K2 |  |  |
| K3 |  |  |
| K4 |  |  |
| K5 |  |  |
| K6 |  |  |

**Таблица 1. Функциональные зависимости коэффициентов избытка воздуха режимном сечении () от паровой нагрузки ()**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Топливо - Газ** | | |
| K1 |  |  |
| K2 |  |  |
| K3 |  |  |
| K4 |  |  |
| K5 |  |  |
| K6 |  |  |
| **Топливо - Мазут** | | |
| K1 |  |  |
| K2 |  |  |
| K3 |  |  |
| K4 |  |  |
| K5 |  |  |
| K6 |  |  |

### Базовая математическая модель расхода топлива котлом

В данном разделе приводится базовая математическая модель расхода топлива котлоагрегата, и подробно описываются зависимости между входящими в математическую модель параметрами.

Для наглядности, модель расхода топлива котлоагрегатом удобно представить в виде иерархической структуры – дерева, узлами которого являются энергетические характеристики и исходные данные, требуемые для расчетов.

Данная структура приведена ниже, на рисунке 1.

Рис.1. Структура модели расхода топлива котлоагрегатом

Базовая модель расхода топлива котлоагрегатом строится на основе типовых методик расчета энергетических характеристик котлоагрегатов [дил 48, 81, 82].

Значения параметров и характеристик, встречающихся в математической модели расхода топлива котлоагрегатом, а также их единицы измерения описаны в таблицах 1,2 выше.

Целевая функция расхода топлива представляется в виде:

где – количество потребляемого топлива [т.н.т./час]. – тепловая нагрузка, которую необходимо обеспечить (заданная, плановая величина) [Гкал/час]. – располагаемое тепло [ккал/час]. – КПД котла брутто [%].

Располагаемое тепло описывается соотношением:

где – низшая теплота сгорания топлива (для газа или мазута, соответственно). - тепло, вносимое в котел воздухом. - тепло, вносимое в котел мазутом. - тепло, внесенное в топку форсуночным паром.

Тепло, вносимое в котел воздухом , вычисляется по формуле:

где – объемная теплоемкость воздуха, – теоретический объем сухого воздуха, необходимый для полного сгорания топлива. - коэффициент избытка воздуха на входе в воздухоподогреватель, - температура воздуха после воздухоподогревателей, - температура воздуха перед воздухоподогревателями.

Коэффициент избытка воздуха на входе в воздухоподогреватель , вычисляется по формуле:

где – коэффициент избытка воздуха в режимном сечении, – нормативная величина присосов воздуха в топку, – нормативная величина присосов воздуха в газовый тракт.

Нормативная величина присосов воздуха в топку описывается соотношением:

где – норма присосов в топку, – номинальная паропроизводительность данного котла, – паровая нагрузка.

Нормативная величина присосов воздуха в газовый тракт, определяется как:

где – норма присосов в газовый тракт.

### Правки к математической модели

### Целевые функции для выбранных критериев

### Общая целевая функция

## Метод решения многокритериальной оптимизационной задачи

Сюда вставить метод из статьи

## Алгоритм решения многокритериальной оптимизационной задачи

В данном разделе подробно описывается алгоритм, реализующий решение предложенного в п. 1.3 метода.

### Алгоритм прямых выборочных процедур с уменьшением интервала поиска

В данном разделе приводится алгоритм реализации метода прямых выборочных процедур с уменьшением интервала поиска, который был выбран для решения многокритериальной оптимизационной задачи (п.1 в аналитической части).

В таблице 1 ниже приведены исходные данные, необходимые для решения стандартной оптимизационной задачи.

**Таблица 1. Исходные данные стандартной оптимизационной задачи**

|  |  |
| --- | --- |
| **Название** | **Обозначение** |
| Минимизируемая функция *f* от *n* переменных |  |
| Допустимые границы варьирования переменных *xi* |  |
| Функциональные ограничения | где c – количество функциональных ограничений |

Поиск оптимального решения осуществляется в *Q* сериях по *P* итераций в каждой серии. Количество итераций в серии *P* определяется в результате исследования конкретной модели в зависимости от ее сложности (количества переменных, ширины их диапазонов варьирования).

Количество серий *Q* определяется из соображений точности, накладываемой на искомые параметры:

где *eps* – точность вычислений, – параметр, определяющий уменьшение интервала поиска (обычно принимается = 0.05), – диапазон варьирования неизвестных : = - , *i = 1..n.*

В результате математических преобразований выражение для *Q* представляется в форме:

Алгоритм прямых выборочных процедур с уменьшением интервала поиска состоит из следующих шагов:

**Шаг 1.** Определяется начальное решение. Оно получается как середины варьируемых диапазонов для каждой переменной:

Формируется вектор начальных решений . Векторы оптимальных решений и промежуточного оптимума полагаются равными :

**Шаг 2.** Вычисляется случайная точка *x*:

где *r* – случайная величина, равномерно распределенная на интервале (-0.5; 0.5).

**Шаг 3.** Выполняется проверка на допустимость:

- если , то принимаем ;

- если то принимаем

Также на данном шаге производится проверка на удовлетворение функциональным ограничениям, описанным в таблице 1. Если найденная точка не удовлетворяет хотя бы одному из них – она отбрасывается, и происходит возвращение на **Шаг 2** алгоритма.

**Шаг 4.** Вычисляется функция Если значение то принимаем . Если *p < P*, то увеличиваем p на 1 и переходим к **Шагу 2** алгоритма. Если *p = P*, - переходим к **Шагу 5**.

**Шаг 5**. Если *q < Q*:

- принимаем

- уменьшаем интервал поиска*:*

- увеличиваем *Q* на 1 и переходим к **Шагу 2.**

Если *q = Q*, - то заканчиваем вычисления.

### Модификация алгоритма прямых выборочных процедур с уменьшением интервала поиска

Для возможности применения описанного в п. 1.4.1 алгоритма прямых выборочных процедур с уменьшением интервала поиска для решения поставленной (в п.1) задачи оптимизации в данный алгоритм необходимо внести модификации.

В соответствии с поставленной задачей многокритериальной оптимизации (п.1) каждый из котлоагрегатов, находящихся в составе очереди «90 ата» котельного отделения ТЭЦ-20 Мосэнерго, может иметь значение паропроизводительности , находящееся в заданных для него пределах .

Паровая нагрузка котлоагрегата – это входной управляющий параметр математической модели (таблица 1).

Рассмотрим ситуацию, когда группе котлоагрегатов необходимо обеспечить суммарную паропроизводительность = 500 т/ч.

Пусть текущая комбинация работающих котлоагрегатов состоит из 3 котлов: **K1** (, **K2** , **K3**

Так как , - данная комбинация работающих котлоагрегатов является допустимой.

Согласно описанному в п.1.4.1 алгоритму, на **Шаге 1** необходимо выбрать начальное решение, при этом значения выбираются как середины соответствующих интервалов допустимых значений.

Тогда для переменных ,, получим:

;

;

= 240 т/ч.

В результате, для будет получено недопустимое значение, которое не входит в заданные для этого котлоагрегата допустимые границы варьирования паропроизводительности.

В соответствии с этим для **Шага 1** описанного в п.1 алгоритма прямых выборочных процедур с уменьшением интервала поиска была разработана следующая модификация. Выбор начального решения осуществляется по следующему алгоритму:

1. Для всех , принять:
2. = ,

где – заданная суммарная паропроизводительность, которую должна обеспечить группа котлоагрегатов.

1. Если , - завершить алгоритм выбора начального решения, иначе, - перейти к пункту 4.
2. Если , - перейти к пункту 5. Если , - перейти к пункту 6.
3. Если , - это говорит о том, что паровая нагрузка, которую должен иметь *n*-ый котел в данной комбинации, чтобы обеспечить выполнения общего плана паропроизводительности очереди котлоагрегатов, превышает максимально допустимую паровую нагрузку для *n*-го котлоагрегата. Соответственно, необходимо сильнее нагрузить котлоагрегаты *1..n-1*. Переходим к пункту 6. Если , - это говорит о том, что паровая нагрузка, «оставшаяся» для n-го котла, меньше минимально допустимой паровой нагрузки для этого котла. Соответственно, необходимо «разгрузить» котлоагрегаты *1..n-1* и сильнее нагрузить *n*-ый котлоагрегат. Переходим к шагу 7.
4. Принять
5. Принять

Привести общую блок-схему алгоритма получения векторов

## Структура программного продукта