Многокритериальная оптимизация совместной работы группы котлоагрегатов

Кузьмин Артем Юрьевич

Московский Государственный Технический Университет им. Н.Э. Баумана

kuzminarty@gmail.com

**Аннотация.** В публикации формулируются критерии для проведения многокритериальной оптимизации совместной работы группы котлоагрегатов, а также ограничения, которые необходимо учитывать при решении данной задачи. Описывается алгоритм построения множества возможных решений и дальнейшего сужения этого множества с выбором наилучшего решения.

**Ключевые слова**: многокритериальная оптимизация, метод целевого программирования, множество Парето.

# Введение

Проблема энергосбережения в настоящее время представляет собой стратегическое направление деятельности не только отдельных предприятий, но и экономической политики государства в целом. Одним из основных важнейших направлений энергосбережения является снижение затрат топливных ресурсов на производство энергии.

В данной работе описывается алгоритм построения множества возможных решений задачи многокритериальной оптимизации совместной работы группы котлоагрегатов, дальнейшего сужения этого множества с помощью метода последовательного сужения множества Парето и окончательного выбора наилучшего решения с помощью метода целевого программирования.

# Критерии оптимизации работы группы котлоагрегатов

Пусть рассматриваемая группа котлоагрегатов состоит из n котлов, работающих на газе и m котлов, работающих на жидком топливе (мазуте).

Выделим следующие критерии, которые необходимо учесть при оптимизации работы группы котлоагрегатов:

1. Величина расхода газа (для n котлов),
2. Величина расхода мазута (для m котлов),
3. Величина финансовых затрат на используемое топливо (для группы, состоящей из n + m котлов),
4. Величина КПД группы работающих котлоагрегатов (для группы, состоящей из n + m котлов).

Из всех выделенных критериев первые 4 (величина расхода газа, величина расхода мазута, величина финансовых затрат на газ, величина финансовых затрат на мазут) необходимо минимизировать, в то время как последний критерий (величина КПД группы работающих котлоагрегатов) должен принимать максимально возможное значение.

## Величина расхода газа

Целевую функцию критерия расхода газа представим в следующем виде:

где – расход газа для обеспечения текущей паропроизводительности i-ым парогенератором; – вектор паропроизводительностей n котлоагрегатов, работающих на газе.

## Величина расхода мазута

Целевую функцию критерия расхода мазута представим в следующем виде:

где – расход газа для обеспечения текущей паропроизводительности i-ым парогенератором; – вектор паропроизводительностей m котлоагрегатов, работающих на мазуте.

## Величина финансовых затрат на используемое топливо

Целевую функцию критерия финансовых затрат на газ представим в следующем виде:

где – цена на газ; – вектор паропроизводительностей n котлоагрегатов, работающих на газе. – расход газа (тыс. м3 /час) для обеспечения паропроизводительности тонн/час.

Целевую функцию критерия финансовых затрат на мазут представим в следующем виде:

где – цена на мазут; – вектор паропроизводительностей m котлоагрегатов, работающих на жидком топливе (мазуте). – расход мазута (тонн /час) для обеспечения паропроизводительности тонн/час.

Таким образом, целевую функцию критерия финансовых затрат на используемое топливо (газ + мазут) можно представить в следующем виде:

## Величина КПД группы работающих котлоагрегатов

Определим коэффициент полезного действия группы котлоагрегатов как средневзвешенную КПД всех котлов [дил], тогда целевая функция КПД котлов, работающих на газе принимает следующий вид:

где = – вектор паропроизводительностей n котлоагрегатов, работающих на газе; – КПД полезного действия i-го котлоагрегата, работающего на газе; – теплопроизводительность i-го агрегата, работающего на газе.

Сформулируем то же самое для котлоагрегатов, использующих жидкое топливо (мазут):

где = – вектор паропроизводительностей n котлоагрегатов, работающих на мазуте; – КПД полезного действия i-го котлоагрегата, работающего на мазуте; – теплопроизводительность i-го агрегата, работающего на мазуте.

Теплопроизводительность (в предыдущих 2 формулах, указать номера) определяется [дил] на основе паропроизводительности следующим соотношением:

где (тонн/час) – расход воды на непрерывную продувку; (ккал/кг)– энтальпия (теплосодержание) перегретого пара; (ккал/кг) – энтальпия питательной воды; (ккал/кг) – энтальпия котловой воды.

Тогда целевую функцию КПД группы работающих агрегатов (использующих и газ и мазут), в соответствии с (указать номера формул) определим следующим образом:

## Ограничения

При постановке задачи оптимизации работы группы котлоагрегатов должны быть учтены следующие ограничения [дил]:

Суммарная паропроизводительность группы котлоагрегатов

где – паропроизводительность i-го котлоагрегата; – суммарная паропроизводительность группы работающих котлоагрегатов.

Диапазоны рабочей производительности для каждого из котлоагрегатов:

где – минимально возможная паропроизводительность i-го котлоагрегата; – максимально возможная паропроизводительность i-го котлоагрегата; – текущая паропроизводительность i-го котлоагрегата.

# Задача оптимизации

Таким образом задача оптимизации работы группы котлоагрегатов принимает следующий вид (указать номера формул):

При совокупности следующих ограничений (указать номера формул):

# Оптимизация совместной работы группы котлоагрегатов

Важной проблемой [дил] является выбор оптимального состава энергоагрегатов. Возможны ситуации [дил], когда для улучшения целевой функции целесообразно нагружать не все работоспособные в данный момент котлоагрегаты.

Рассмотрим группу, состоящую из n + m котлоагрегатов: n работают на газе, m используют жидкое топливо – мазут.

Каждый из котлов может находиться в одном из двух состояний (нагружается / не нагружается). Всего вариантов различных состояний для группы котлоагрегатов 2(n+m).

При формировании очередной комбинации нагружаемых агрегатов необходимо проверять [дил] выполнение условия обеспечения заданной суммарной паропроизводительности:

Таким образом, процедуру оптимизации работы группы котлоагрегатов можно разбить на этапы:

1. Построение очередной комбинации нагружаемых котлов,
2. Проверка условия (вставить номер формулы),
3. В случае удовлетворения условию - проведение оптимизации выбранной комбинации,
4. Сохранение вектора , состоящего из значений выделенных критериев, полученных в результате многокритериальной оптимизации, проведенной на шаге i.

Блок-схема данного алгоритма приведена на рисунке (Рис. 1.) ниже.

После выполнения приведенного выше алгоритма получим множество векторных критериев:

где n – количество комбинаций нагружаемых котлоагрегатов, удовлетворяющих ограничению (вставить номер формулы).

Для выбора наиболее удовлетворяющего критерия из множества применяется метод последовательного сужения множества Парето [ногин] объединенный с методом целевого программирования [37 ногин], широко использующимся при решении различных прикладных задач, в которых присутствует несколько критериев.

Вначале из множества U удаляются лишние вектора с помощью метода последовательно сужения множества Парето. Затем, для завершения процесса поиска наилучшего решения, применяется метод целевого программирования.

Основные аспекты данных методов вкратце описаны в следующих разделах.

# 

Рис. 1. Алгоритм оптимизации работы группы котлоагрегатов

# Метод последовательно сужения множества Парето

Основными компонентами задачи многокритериального выбора являются [ногин]:

1. множество возможных решений ,
2. векторный критерий ,
3. отношение предпочтения

ЛПР (лицо, принимающее решение) должно быть заинтересовано в максимизации каждой из функций , участвующих в задаче. Если какой-то из критериев для ЛПР желательно не максимизировать, а минимизировать, то его в математическую модель следует включить со знаком минус [ногин]. Этот подход позволяет свести операцию минимизации к операции максимизации.

Таким образом, критерии расхода газа, мазута и финансовых затрат на используемое топливо () будем включать в математическую модель со знаком минус.

Вначале при помощи ЛПР необходимо сформировать коэффициенты относительной важности i-го критерия по сравнению с j-ым критерием:

где , - положительные параметры, с которыми i-й критерий ( важнее j-го критерия . Это означает [ногин], что всякий раз ради увеличения значения более важного i-го критерия на единиц ЛПР готово пожертвовать единицами по менее важному j-му критерию.

Далее, согласно методу последовательного сужения множества Парето, менее важный j-й критерий в общем списке критериев необходимо заменить новым, вычисленным по формуле . Затем следует найти множество Парето относительно нового векторного критерия. [ногин].

После построения данного множества, в случае, если оно оказывается приемлемым для окончательного выбора, процесс принятия решений заканчивается. В противном случае дальнейший выбор следует производить в пределах найденного множества Парето [ногин].

# Метод целевого программирования

Пусть имеется набор критериев , каждый из которых необходимо максимизировать на множестве возможных решений .

В рамках метода целевого программирования полагается, что в пространстве Rm задано непустое множество U, которое называют множеством идеальных векторов. Данное множество считается недостижимым, т.е. выполняется равенство [ногин]:

где – множество возможных векторов.

Кроме этого, на критериальном пространстве задается метрика – числовая функция которая каждой паре векторов y, z сопоставляет неотрицательное число, называемое расстоянием между векторами y и z.

Оптимальным объявляется такое решение для которого выполняется равенство [ногин]:

которое означает, что оценка , соответствующая наилучшему решению , должна быть расположена как можно ближе к множеству идеальных оценок.

# Заключение

# Список литературы

Заглавие настоящего пункта ставится в форме заголовка первого уровня “Список литературы” (см. п.4). Список литературы содержит те и только те публикации, которые упоминаются в статье. Список литературы составляется в алфавитном порядке. Сначала следуют отечественные, а затем зарубежные авторы. Библиографические ссылки в тексте статьи даются в соответствии с пунктом 5 настоящего документа ”Ссылки на литературу в тексте”. Ссылки-сноски для указания источников не используются. Шрифт для списка литературы Times New Roman 12Pt с интервалом 6Pt после каждого элемента списка. Выравнивание без отступа по левому краю.

Библиография выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5-2008. С документом можно ознакомиться на сайте www.gosthelp.ru/gost/gost44298.html

Примеры приведены для материалов конференции, книги, статьи в журнале, диссертации/автореферата, части книги или сборника на русском языке и для зарубежных изданий.

**[Апухтин, 1998]** Апухтин A.A. Название работы // Тезисы докладов V Всероссийской конференции. М., 1998. С. 5.

**[Боков, 1777]** Боков А.А. Название книги. М.: Издательство, 1777.

**[Адорно, 1992]** Адорно Т. В. К логике социальных наук // Вопр. Философии. – 1992. - № 10. – С. 76-86.

**[Величко, 2005]** Величко Т.А. Название работы: Автореф. дис. … д-ра мед. наук. СПб., 2005. 31 с.

**[Неелов и др., год]** Неелов Н.И., Шустин В.И. Название статьи // В сб.: Название сборника / Ред. Фамилия И.О. редакторов. Город: Издательство, год. Страницы.

**[Castor et al., 1992]** Castor A., Pollux, L.E. The use of user modelling to guide inference and learning. Applied Intelligence, 2(1), 1992, pp. 37–53.

**[Chercheur, 1994]** Chercheur J.L. Case-Based Reasoning. San Mateo, CA: Morgan Kaufman Publishers, 1994.

**[Grandchercheur, 1983]** Grandchercheur L.B. Vers une modelisation cognitive de l'etre et du neant. In S.G Paris, G.M. Olson, & H.W. Stevenson (Eds.), Fondement des Sciences Cognitives. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1983, pp. 6–38.

**[Martin, 1990]** Martin L.E. Knowledge Extraction. In Proceedings of the Twelfth Annual Conference of the Cognitive Science Society. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1990, pp. 252–262.

**[Zavatta, 1992]** Zavatta A. Un Generateur d'Insultes s'integrant dans un Systeme de Dialogue Humain-Machine. These de Doctorat en Informatique. Universite Paris-sud, Centre d'Orsay, 1992.