

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПАРАМЕТРОВ ТРУБЧАТЫХ ВОЗДУХОПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ

Кадач Т.В.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск
кафедра «Системы автоматизированного проектирования»

E-mail: tasla@tut.by

Abstract

Kadach T.V. Air heater factors stability estimation. In the article are described two algorithms of decision analysis, which are obtained in result of multi-objective optimization of tubular air heaters. The first method determines the stability region as hyperparallelepiped, inscribed into the range of legitimate factor values. The second one estimates the stability boundary as a function of variable factors. The considered methods are realized in the dialogue system DMS (Decision Making System). To demonstrate the operability of algorithms is given the example of stability rating of air heater functional factors of the steam-boiler TP-87.

Введение. Подогрев воздуха в трубчатых воздухоподогревателях (ТВП) котлов тепловых станций с помощью продуктов сгорания топлива способствует улучшению условий сгорания топлива, повышения КПД котла за счет утилизации теплоты, уходящих дымовых газов. Выявление «слабых мест» в работе низкотемпературных поверхностей нагрева, таких как воздухоподогреватель, позволяет исследовать их влияние на надежность и экономичность работы парового котла в целом.

Для подавляющего большинства задач оптимального проектирования ТВП характерны неточность исходных данных и оптимизационных моделей. Примером неопределенности может служить неравномерность скоростей потоков воздуха и уходящих газов по сечению воздухоподогревателя, обусловленная неодинаковыми аэродинамическими характеристиками, которая вызывает переохлаждение отдельных труб и как следствие образование зон повышенной коррозии и активного выпадения отложений. И хотя число отказов котлов из-за повреждения воздухоподогревателя относительно невелико, однако проведение частых ремонтов экономически невыгодно [1].

Таким образом, при тепловых расчетах некоторые входные параметры (характеристики топлива и параметры воздухоподогревателя, коэффициенты и критериальные числа, задействованные в расчете теплопереноса и т.д.), являющиеся случайными величинами, могут быть заданы только ориентировочно. В связи с этим необходимо оценить влияние погрешности исходной информации на устойчивость оптимального решения.

Методика анализа решений. Возникающая при проектировании ТВП задача принятия решения из-за многочисленных факторов, влияющих друг на друга, представляет собой сложную вариационную задачу, допускающую множество технически возможных решений, из которых нужно выбрать оптимальное, что затруднительно при ручном проектировании даже для сравнительно небольшого числа параметров.

Поэтому для решения задачи выбора рациональных режимных и конструктивных параметров воздухоподогревателя с учетом температурной неоднородности, минимизирующих скорость низкотемпературной коррозии без увеличения температуры уходящих газов, роста затрат энергии и перерасхода топлива, была разработана диалоговая система поддержки принятия решений DMS.

Найденное с помощью системы DMS компромиссное решение по нескольким критериям, необходимо проанализировать с точки зрения устойчивости критериев.

Качество функционирования ТВП, оцениваемое набором числовых характеристик, должно быть сохранено в некоторой области оптимизируемых параметров \bar{X} . При синтезе воздухоподогревателя возникает вопрос, насколько реальные значения выбранных критериев оптимальности будут соответствовать полученным в процессе поиска решениям в силу неустраняемой неточности математической модели [2]. В связи с этим необходимо дать оценку устойчивости найденного решения. В системе DMS используется понятие практической устойчивости сложных систем [3], где под устойчивостью подразумевается сохранение некоторого свойства функционирования системы (критерия оптимальности) по отношению к неопределенности некоторых ее параметров.

Таким образом, при анализе практической устойчивости решения Y_j по отношению к найденному значению критерия Y_{opt} , которая ограничивается заранее заданной величиной ΔY , возникает задача определения максимальной области S в множестве оптимизируемых параметров \bar{X} , для любой точки j которой выполняется условие

$$|Y_j - Y_{opt}| \leq \Delta Y, \quad (1)$$

где ΔY – допустимое с точки зрения проектировщика ухудшение критерия оптимальности.

Практически оценка устойчивости сводится к определению допустимых значений интервалов ΔX_i (область устойчивости представляет собой гиперпараллелепипед) или определение границ области устойчивости рационального решения, как функций от оптимизируемых параметров.

Алгоритм 1. Область устойчивости описывается гиперпараллелепипедом

Каждый диапазон представляет одну сторону гиперпараллелепипеда. Если это двухмерная задача (2 параметра), то эта сторона будет стороной прямоугольника; если трехмерная (3 параметра) – сторона прямоугольного параллелепипеда и т.д. При этом все грани гиперпараллелепипеда будут параллельны своим плоскостям проекций. Для однозначного построения в гиперпространстве такого гиперпараллелепипеда необходимо выделить всего две точки, которые будут являться началом и концом вектора главной диагонали.

После построения гиперпараллелепипеда необходимо проверить: принадлежит ли весь гиперпараллелепипед допустимому гиперпространству. Для решения этой задачи был предложен алгоритм разбиения гиперпараллелепипеда на элементарные ячейки, представляющие собой элементарные гипертела, которые равны между собой по гиперобъему и подобны самому гиперпараллелепипеду, но в несколько раз меньше. Именно попадание всех вершин элементарных ячеек в область допустимых значений (ОДЗ) и говорит нам о том: принадлежит ли гиперпараллелепипед ОДЗ или нет. Если наш гиперпараллелепипед удовлетворяет всем условиям, то вычисляется его гиперобъем и сравнивается с предыдущим. Если новый объем будет больше предыдущего, то данный гиперпараллелепипед считается лучшим, так как объем у него будет больше, следовательно, диапазоны по каждому критерию шире, а это значит, что количество комбинаций значений параметров при выполнении процентной уступки больше, что на практике приводит к наилучшему результату с точки зрения окончательного решения задачи.

В случае если задача оценивается несколькими критериями, результатом является область, общая для найденных по каждому из критериев гиперпараллелепипедов.

Для реализации выше описанного метода в системе DMS был разработан модуль *Dopusk*, который позволяет в двухкритериальной постановке с привлечением бионического эволюционного алгоритма, обладающего глобальными свойствами, найти оптимальное решение по каждому из критериев. Далее с учетом уступок на каждый из критериев определяются возможные комбинации значений параметров, при которых критерии остаются в рамках своих уступок.

Алгоритм 2. Определение границы области устойчивости как функции от оптимизируемых параметров

В основу алгоритма положен метод, предложенный в [3]. Работа алгоритма состоит из трех этапов:

1. поиск случайным образом двух точек с выполнением \bar{X}^+ и невыполнением \bar{X}^- условиям принадлежности;
2. нахождение на отрезке, соединяющем \bar{X}^+ и \bar{X}^- , методом деления отрезка пополам граничной точки \bar{X}_{cp} .
3. обход границы области устойчивости с запоминанием граничных точек.

Предполагаем, что искомое множество R односвязно, выпукло и имеет гладкие границы.

Алгоритм может быть использован для нахождения областей в случае, когда размерность вектора параметров \bar{X} более двух. Это реализуется построением последовательных сечений множества R , путем попарного перебора параметров при фиксированных значениях остальных.

Граница искомого множества R при этом представляет собой линию уровня равных значений критериального ограничения, заданного в виде уступки по отношению к оптимальному решению как функцию двух параметров X_i и $X_j, i \neq j$.

Алгоритм может применяться в многокритериальной постановке. В этом случае искомое множество будет представлять собой некоторую область, ограниченную критериальными ограничениями.

Исследование области устойчивости параметров ТВП. Исследование режимов работы воздухоподогревателей уже имеющихся котельных агрегатов, когда известны конструкция и параметры ТВП, и необходимо подобрать рациональный режим его работы, представляется актуальным для существующих тепловых электростанций.

Далее приводится пример решения задачи анализа значений режимных параметров воздухоподогревателя котла ТП-87, полученных в результате работы диалогового алгоритма многокритериальной оптимизации, реализованного в системе DMS. Исходные данные, использованные при моделировании в качестве параметрических ограничений, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные задачи

Значения параметрических ограничений		
1	температура воздуха на входе $t'_{вп}$	[70-90]
2	температура газов на входе $\vartheta'_г$	[274-300]
3	скорость воздуха $w_в$	[5,2-7,2]
4	скорость газов $w_г$	[8,7-10,7]
5	температура стенки трубки $t_{ст}$	[65-150]
6	коэффициент избытка воздуха за пароперегревателем $\alpha''_{пп}$	[1,08-1,28]
7	относительная нагрузка котла \bar{D}	[0,65-1]

Для исследования работы алгоритма 1, описанного выше, рассматривались два критерия, характеризующие функционирование ТВП:

- коэффициент теплопередачи

$$k=f(d, w_в, w_г, z_1, z_2, s_1, s_2, \vartheta, \vartheta_{yx}, t'_{вп}, t''_{вп}, \bar{D}, Pr, \nu, \lambda, \xi) \rightarrow \max; \quad (2)$$

- температурный напор

$$\Delta t=f(\vartheta, \vartheta_{yx}, t'_{вп}, t''_{вп}, \bar{D}) \rightarrow \max, \quad (3)$$

где z_1 и z_2 - число рядов труб воздухоподогревателя по ходу воздуха и газов, шт;
 δ и d - толщина стенки и диаметр трубки, м;
 s_1 и s_2 - поперечный и продольный шаги труб, м;
 l - длина трубки, м;
 $t_{вп}$ - температура воздуха на выходе, °С;
 Pr - критерий физических свойств (Прандтля);
 ν - коэффициент кинематической вязкости, м²/с;
 λ - коэффициент теплопроводности, Вт/м²;
 ψ - коэффициент тепловой эффективности;
 ζ - коэффициент использования.

Результаты работы алгоритма 1 приведены на рис. 1.

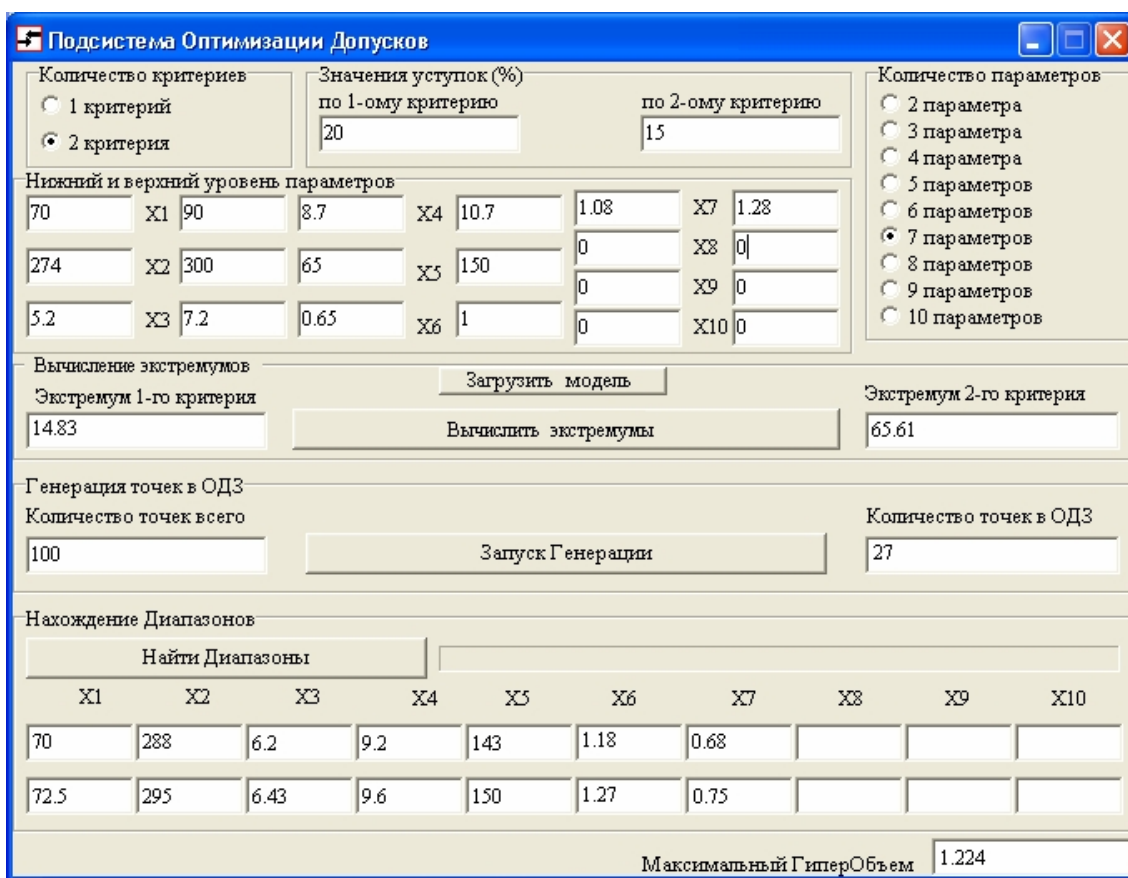


Рис 1. Результаты работы алгоритма 1

На рис. 2 и 3 приведены примеры работы алгоритма 2. Пример 1 иллюстрирует построение сечения параметров X_1 ($t'_{вп}$) и X_2 (ρ'_r). Исследовалась задача построения области устойчивости для коэффициента теплопередачи k . Для определения области устойчивости было использовано значение коэффициента теплопередачи k при полученном в результате многокритериальной оптимизации компромиссном решении, равное 14,673. Задача решалась с точностью 0.001. Отклонение составило 1 процент.

Критериальное ограничение, соответствующее введенному компромиссному значению, представлено верхней наклонной линией. Значению критерия с уступкой соответствует нижняя наклонная линия. Линии, образующие прямоугольник (характеризующий область поиска решения), соответствуют заданным параметрическим ограничениям. Область, ограниченная двумя наклонными линиями и вертикальными линиями прямоугольника

представляет собой искомую область устойчивости, в которой для любой точки значение критерия должно быть не хуже 14,547.

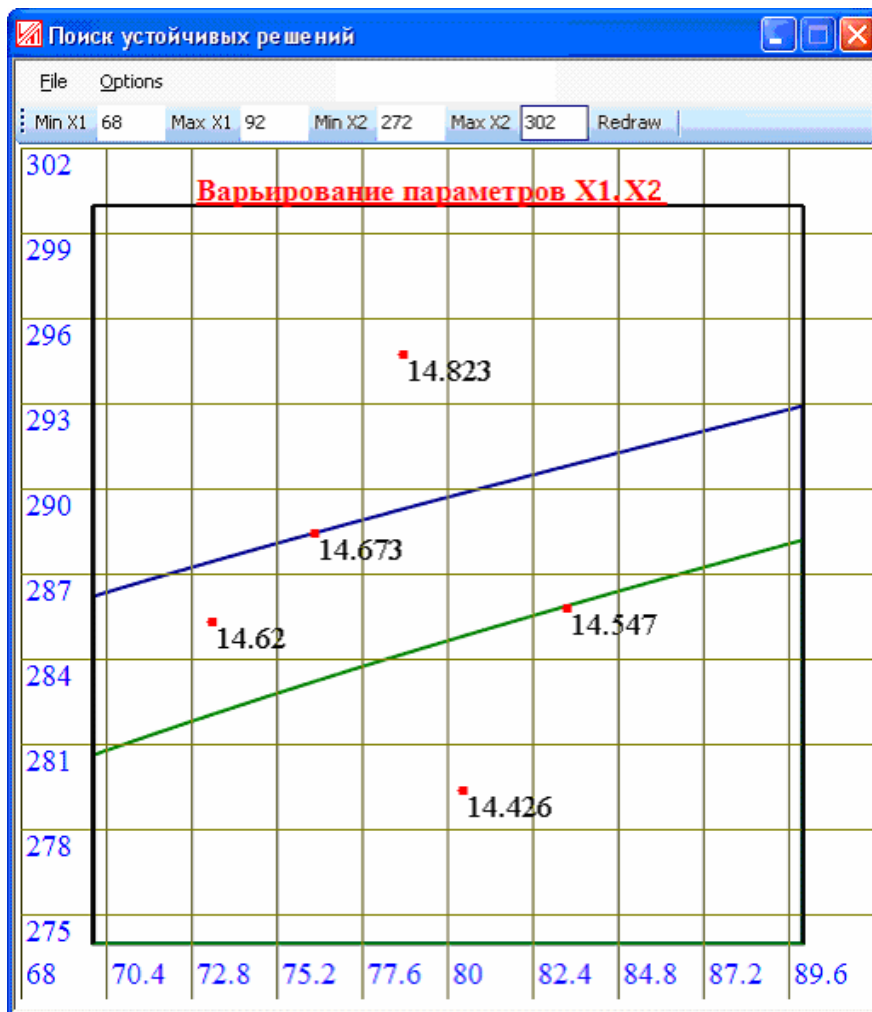


Рис. 2. Пример работы алгоритма 2

На рис. 3 также рассмотрена задача построения области устойчивости для коэффициента теплопередачи k , но уже для параметров $X7 (\bar{D})$ и $X2 (\mathcal{G}_T)$. Для решения задачи было задано значение критерия k , равное 14,654. Задача решалась с точностью 0,1. Отклонение составило 1 процент. В полученной области значение критерия должно быть не хуже 14,535.

Реализация алгоритмов производилась в среде Visual Studio 8.0, использовался язык программирования C#. Для работы приложения на ПЭВМ должна быть установлена операционная система Microsoft Windows 2000, XP и библиотека Microsoft .NET Framework SDK v2.0 или более поздней версии.

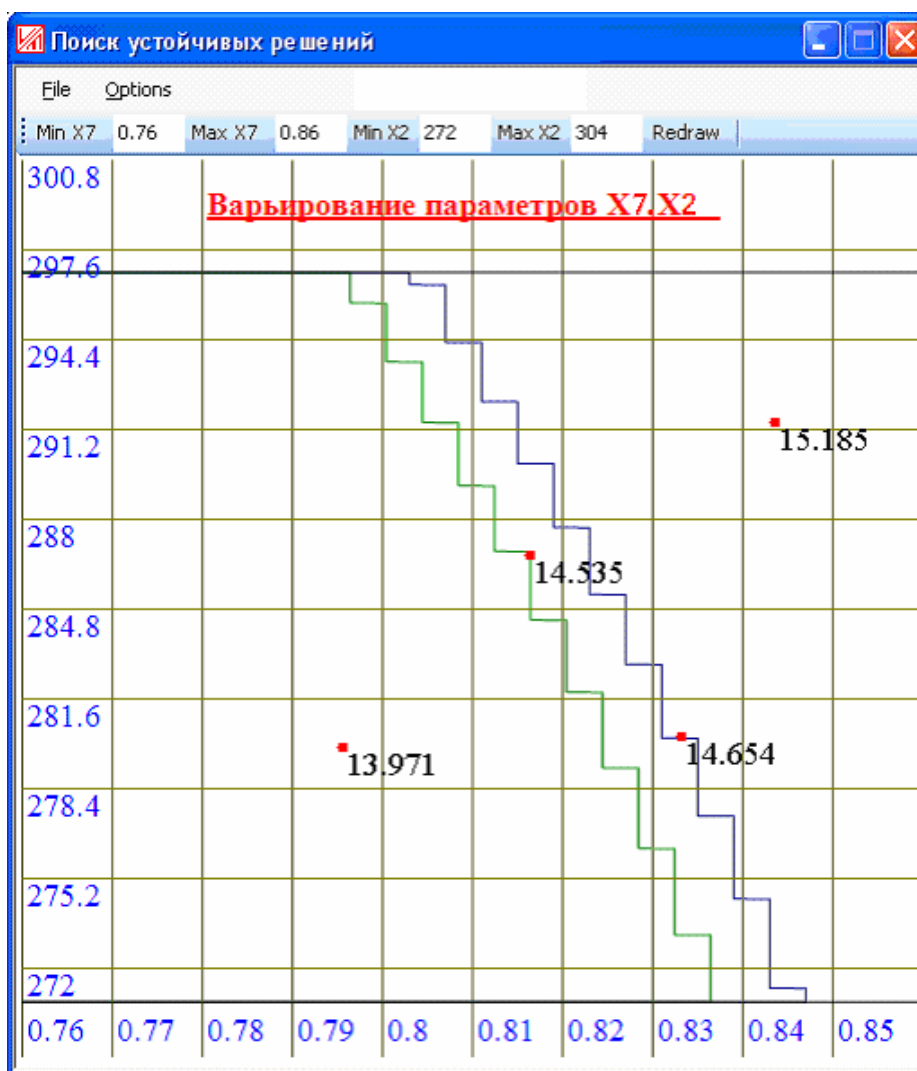


Рис. 3. Пример работы алгоритма 2

Заключение. Модуль анализа полученных решений позволяет дать ответ, устойчива система или нет в области полученного решения, и оценить ограничения на параметры, при которых она оказывается устойчивой.

Приложение может работать как в составе диалоговой системы DMS, так и автономном режиме. Его целесообразно использовать при проектировании элементов паровых котлов или других технических объектов, а также в учебном процессе при проведении лабораторных и курсовых, и дипломных работ по дисциплинам, связанным с автоматизацией процесса проектирования.

Литература

1. Воздухоподогреватели котельных установок. – Л.: «Энергия», 1977. – 184 с.
2. Карницкий Н.Б., Кадач Т.В. К построению оптимизационной модели трубчатых воздухоподогревателей паровых котлов. // Вестник БНТУ. – № 6, 2006. – С. 76-78.
3. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1978. – 400 с.