

## Список використаних джерел

1. Теслер Г. С. Новая кибернетика / Теслер Г. С. – Киев : Логос, 2004. – 401 с.
2. Круковский М. Ю. Методология построения композитных систем документооборота / Теслер Г. С. // Математичні машини і системи. – 2004. – № 1. – С. 101–114.

УДК 62-52

## ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ КВАЗИСТАТИЧЕСКИМИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

**А. С. Куценко**, д. т. н., профессор

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

kuzenko@kpi.kharkov.ua

*Рассмотрены квазистатические термодинамические процессы с точки зрения теории управления. На основе принципа максимума получены оптимальные термодинамические циклы для различных внешних условий.*

*Kutsenko A. S. Optimal control of quasi-static thermodynamic processes. Quasi-static thermodynamic processes in terms of control theory are considered. Optimal thermodynamic cycles for different external conditions are obtained based on the maximum principle.*

**Ключевые слова:** КВАЗИСТАТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ.

**Keywords:** QUASISTATIC PROCESSES, OPTIMAL CONTROL.

Теория оптимального управления нашла множество приложений при решении задач управления, прежде всего, механическими и электромеханическими системами. На основе принципа максимума решен ряд практических задач управления космическими летательными аппаратами. Широкое применение принцип максимума нашел при решении задач оптимального управления электроприводом в различных технологических системах. В то же время первой решенной и практически реализованной задачей оптимального управления была задача об организации термодинамического цикла с максимальным

коэффициентом полезного действия, решенная С. Карно и Р. Клаузиусом. Постановка задачи о наиболее экономичном термодинамическом цикле содержала все компоненты, обусловленные современной теорией управления: математическую модель в виде множества моделей элементарных процессов, цель управления – замкнутый цикл в фазовом пространстве, ограничения в виде максимальной и минимальной температур, критерий качества – термический КПД.

Целью данной работы является попытка получения ключевых положений равновесной термодинамики на основании достижений современной теории управления и обобщение результатов на случай произвольных многомерных квазистатических процессов, имеющих место в различных энерго-технологических системах.

Можно показать, что квазистатическим процессам, которыми оперирует равновесная термодинамика, соответствует математическая модель в виде системы аффинных дифференциальных уравнений, линейных и однородных по управлениям. При этом величина каждой компоненты вектора управлений имеет смысл интенсивности некоторого воздействия на термодинамическую систему, а соответствующая ему вектор-функция задает геометрическую структуру траекторий, порождаемых этим воздействием.

Показано, что для любой, наперед заданной функции состояния  $U(x)$  (энергии), можно единственным образом построить ортогональную систему функционалов (работ), сумма которых равна приращению  $U(x)$  на концах произвольной фазовой траектории, полученной в результате некоторого векторного управляющего воздействия. Полученный результат можно рассматривать в качестве обобщения первого начала термодинамики.

С позиций теории управления проанализировано второе начало термодинамики в аксиоматической формулировке Каратеодори. Показано, что существование интегрирующего множителя дифференциальной формы для термического воздействия, является частным случаем неуправляемости аффинной управляемой системы с количеством управлений меньшим размерности фазового пространства. Обоснован критерий управляемости квазистатических систем, основанный на оценке размер-

ности замкнутой относительно операции коммутирования системы векторных полей, соответствующих множеству управляющих воздействий.

В заключение приведены постановки задач об оптимальном управлении простейшими термодинамическими процессами. С помощью принципа максимума получены результаты, касающиеся наиболее экономичных циклов, осуществляемых при различных ограничениях, известных из термодинамики как циклы Карно, Отто и Брайтона.

УДК 519.8

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАДАЧ КОМБІНАТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ НА ПЕРЕСТАНОВКАХ**

**М. В. Леонова**, пошукач  
*mariay2604@rambler.ru*

*В статті викладено результати дослідження задач комбінаторної оптимізації, а саме: отримання симплексної форми переставного многогранника; визначення комбінаторних типів многогранників; центральна симетрія.*

*Leonova M. V. Research combinatorial optimization problems on permutations. The article presents the results of research combinatorial optimization problems, namely: getting simplex permutation polyhedron shape, determining the combinatorial types of polyhedrons; central symmetry.*

**Ключові слова:** КОМБІНАТОРНІ ЗАДАЧІ, ПЕРЕСТАВНИЙ МНОГОГРАННИК.

**Keywords:** COMBINATORIAL PROBLEMS, PERMUTATION POLYHEDRON.

Задачі комбінаторної оптимізації є актуальним напрямком досліджень в теорії оптимізації. Істотним для розробки ефективних методів розв'язування комбінаторних задач є знання властивостей комбінаторних множин та їх опуклих оболонок – многогранників, зокрема переставного многогранника.

В ході дисертаційних досліджень нами були досягнуті наступні результати у вивченні особливостей структури переставних многогранників.