

канале на одинаковом расстоянии (100 калибров) от входа в камеру устанавливалось по одной центробежной форсунке с одинаковыми расходными характеристиками. По каждому каналу на вход в камеру сгорания подавалась смесь испарённого керосина с воздухом различного состава (α_1 и α_2).

Измерения токсичных веществ проводились на модельной камере сгорания прямоточного типа квадратного сечения (50 × 50 мм). Стабилизация пламени осуществлялась двумя нишами, симметрично расположенными в верхней и нижней стенках камеры сгорания. Набор охлаждаемых проставок позволял проводить измерения по всей длине факела пламени и за его пределами.

Длина камеры при отборе проб газа из продуктов горения выбиралась в зависимости от длины зоны горения при условии, чтобы вся зона горения находилась внутри камеры. Результаты измерения представлены при следующих режимных параметрах:

- скорость потока смеси на входе в камеру $w_{\text{вх.}} = 50$ м/с;
- температура смеси на входе в камеру $T_{\text{вх.}} = 573$ К;
- давление в смеси на входе в камеру $P_{\text{вх.}} = 1,013 \cdot 10^5$ Па;
- общий коэффициент избытка воздуха на входе в камеру сгорания $\alpha = 1,0$.

Степень испарённости керосина определялась на основе специально поставленных методических экспериментов.

Для определения концентраций СО, НС и NO_x в отобранных пробах использовались газовые хроматографы.

Для оценки количества сажи (дымности) в отработавших газах использовался фильтрационный метод, принятый ИСАО в качестве стандартного.

Полученные результаты выхода токсичных веществ и сажи могут быть использованы при совершенствовании физической модели горения в камере сгорания двигателей и уточнения эмпирических констант при расчётах образования и выхода нормируемых токсичных веществ и сажи.

УДК 629.7.036.33(075.8)

ПОИСК ПУТЕЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ГАЗОТУРБИННОЙ УСТАНОВКИ С ТРЁХКАСКАДНЫМ ГАЗОГЕНЕРАТОРОМ И СВОБОДНОЙ ТУРБИНОЙ

©2016 В.С. Кузьмичёв, А.Ю. Ткаченко, И.Н. Крупенич, О.В. Батурин, Г.М. Попов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

APPROACHES TO UPGRADE GAS TURBINE POWER PLANT WITH A THREE-SPOOL ENGINE CORE AND FREE TURBINE

Kuz'michev V.S., Tkachenko A.Yu., Krupenich I.N., Baturin O.V., Popov G.M. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The article describes the suggestions for upgrading the gas turbine power plant (increasing its effective efficiency from 36% to 40%) using the computer-aided system ASTRA, covering the conceptual design stage of gas turbine development. The increase in effective efficiency has been obtained mainly by correcting the flow capacities thus providing more efficient joint operation of the engine elements. Area values of the characteristic cross-sections of the engine turbines as well as the angular velocities of engine spools have been corrected with an account to capability to provide high efficiency of engine elements (using the Smith diagram).

При решении задачи модернизации газотурбинной установки (ГТУ) с трёхкаскадным газогенератором и свободной турбиной мощностью 25 МВт на основе использования термогазодинамических моделей концептуального уровня проекти-

рования ставились следующие основные требования к модернизированной ГТУ:

- повышение эффективного КПД до 40%
- сохранение исходного уровня мощности на валу свободной турбины и температуры газа перед турбиной;

- минимальные изменения в конструкции установки.

На основе теории, методов и алгоритмов термогазодинамического расчёта основных узлов газотурбинных двигателей с использованием автоматизированной САЕ - системы АСТРА разработана детализированная термогазодинамическая модель исходной ГТУ, которая позволяет выполнять расчёт дроссельных и климатических характеристик, а также исследовать влияние различных факторов на их протекание.

На основе исходных данных выполнены идентификация и верификация разработанной математической модели двигателя. Сопоставление результатов расчёта двигателя с результатами испытаний, полученными от заказчика работ, позволяет сделать вывод, что разработанная математическая модель является адекватной исследуемому объекту, поскольку отличия по величинам основных параметров узлов и двигателя в целом не превышают 1%, а по параметрам рабочего тела в характерных сечениях проточной части – 2%. При этом наличие несущественных расхождений не сказывается на результатах качественного и количественного анализа влияния различных факторов на эффективность двигателя.

Оптимизация параметров выполненного двигателя осуществляется путём коррекции пропускных способностей турбин, что обеспечивает более благоприятное распределение работы между каскадами турбокомпрессора, расположение рабочих точек на характеристиках узлов в областях с более высокими КПД, уменьшение расхода воздуха, повышение параметров цикла. Принято допущение о неизменности относительного вида характеристик узлов.

На основании анализа модели был сделан вывод о необходимости комплекса мероприятий по следующим наиболее рациональным направлениям: оптимизация параметров цикла и расхода воздуха через двигатель; повышение КПД компрессоров и турбин (на 1...2%); снижение отборов на охлаждение турбин за счёт совершенствования системы охлаждения и применения новых материалов.

Необходимость повышения суммарной степени повышения давления и снижения расхода воздуха через двигатель приводит к

изменению параметров нагруженности и напорности лопаточных машин, поэтому необходимо оценить возможность достижения заложенных КПД лопаточных машин, и при необходимости предложить варианты модификации проточной части и частот вращения каскадов. Для этого были рассчитаны параметры, определяющие положение точек на диаграмме Смита для турбин исходной ГТУ и для двигателя с повышенными термодинамическими параметрами при условии сохранения исходной частоты вращения и диаметральных размеров.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в этих условиях достижимый уровень КПД турбин снижается на 1%...3,5%, поэтому необходима коррекция конструктивно-геометрических параметров проточной части турбокомпрессора.

Исследование влияния частоты вращения каскадов свидетельствует о том, что даже при существенном повышении частоты вращения (на 20% относительно исходной) невозможно добиться смещения точек на диаграмме Смита в область благоприятных значений достижимых КПД турбин, поэтому было рассмотрено одновременное изменение частот вращения и площадей кольцевых сечений (за счёт изменения периферийного диаметра, сохраняя, таким образом, диски рабочих колёс турбин неизменными). Результаты показывают, что такой подход позволяет обеспечить условия для достижения высоких КПД турбин.

Необходимо отметить, что снижение величины периферийных диаметров проточной части турбин приводит к снижению высоты рабочих лопаток и повышению их запасов прочности, что расширяет возможности повышения частоты вращения соответствующего каскада (при условии обеспечения прочности элементов конструкции компрессора).

Повышение удельной мощности и соответствующее сокращение расхода воздуха через двигатель оказывает благоприятное влияние на параметры компрессоров и положение соответствующих точек на диаграмме, а рост частоты вращения парирует этот эффект, что ограничивает возможности изменения частот вращения каскадов.

С учётом рассмотренных зависимостей была произведена системная оптимизация проточной части двигателя с учётом установленных параметров его узлов, возможностей изменения параметров и достижимых уровней КПД с учётом

положения характерных точек на диаграмме Смита и предложен вариант коррекции частот вращения каскадов и периферийных диаметров проточной части турбин высокого, среднего и низкого давлений, а также свободной турбины.

УДК 621.432

КИНЕТОСТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ПЛОСКИХ МЕХАНИЗМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕКТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В СРЕДЕ КДАМ

©2016 Б.Б. Косенок, В.П. Тукмаков, Н.П. Коробова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

KINETOSTATIC CALCULATION OF FLAT MECHANISMS USING VECTOR MODELLING IN THE KDAM SOFTWARE ENVIRONMENT

Kosenok B.B., Tukmakov V.P., Korobova N.P. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

The work presents a creation of the method for a kinetostatic calculation flat mechanisms with groups of Assur of the 2-nd class of all views with use a vector modular method models. The received models of calculation of reactions in kinematic couples has been integrated into the specialized program - KDAM. The received technique allows to estimate quickly loadings in kinematic couples at a stage of an outline design.

На кафедре основ конструирования машин на основе метода векторных модульных моделей [1] разработана, используется и продолжает развиваться специализированная программа КДАМ (кинематический и динамический анализ механизмов) [2]. К достоинствам метода векторных модульных моделей можно отнести достаточную простоту и универсальность применительно как к плоским, так и пространственным механизмам. Программ КДАМ позволяет проводить анализ кинематических и динамических параметров известных механизмов, а также структурный синтез векторных моделей механизмов и их параметрическую оптимизацию.

Для кинематического анализа программа КДАМ рассчитывает значения перемещений, линейных и угловых скоростей и ускорений любых звеньев или отдельных точек механизма. При динамическом анализе кинематическая векторная модель, дополненная массовыми характеристиками, активными нагрузками и нагрузками полезного сопротивления, используется для решения первой задачи динамики, а именно, получения динамических характеристик (приведённых, уравнивающих, и энергетических) по известным кинематическим характеристикам.

В тоже время больший уровень абстракции векторных моделей по сравнению с принятыми в теории машин и механизмов структурными схемами не позволяет без дополнительного описания проводить расчёт кинестатики, т.е. расчёт реакций в кинематических парах механизмов.

Авторами для решения данной проблемы разработана методика получения реакций кинематических пар для плоских векторных модулей путём сопоставления их с группами Ассур 2 класса 2 порядка, всех видов, и вводом определённой структуры векторных контуров модели, чтобы кинестатический расчёт смог проводиться в автоматическом режиме специализированной программой КДАМ.

Так например, для расчёта реакций кинематических пар группы Ассур 2 класса 1-го вида (рис.1), необходимо механизм, состоящего из механизма 1-го класса и группы Ассур 2 класса 1-го вида с формулой механизма $I(0,1) \rightarrow II_{21}(2,3)$, отобразить векторной моделью с использованием элементарного модуля Пл4 со списком функций (неизвестных параметров) - α_2, α_3 .