

УДК 621.431

Моделирование характеристик турбокомпрессора с турбиной изменяемой геометрии

А.Г. Кузнецов, А.Н. Боковиков

Рассмотрен метод описания характеристик турбокомпрессора с турбиной изменяемой геометрии при имитационном моделировании. Приведены характеристики расходов и коэффициентов полезного действия компрессора и турбины.

Ключевые слова: турбина, компрессор, моделирование, расход, коэффициент полезного действия.

The method for describing characteristics of the compressor and the variable geometry turbine under the simulation is considered. Characteristics of flow rates and the efficiency of the compressor and the turbine are presented.

Keywords: turbine, compressor, modeling, flow rate, efficiency.

При создании систем автоматического управления тепловыми двигателями существует этап разработки, на котором для снижения времени проектирования целесообразно использовать имитационное (полунатурное) моделирование. При этом натурная часть системы управления взаимодействует с компьютерной моделью теплоэнергетической установки в реальном времени [1]. Как показывает опыт создания моделей для полунатурного моделирования, наибольшие трудности вызывает описание характеристик турбокомпрессора.

Для достижения малого времени расчета динамических режимов в реальном времени характеристики турбокомпрессора описываются полиномами, связывающими параметры рабочего процесса лопаточных машин [2]. Динамическая модель турбокомпрессора дизеля, обычно, создается при ограниченном массиве исходных данных, охватывающих только часть возможных режимов работы. Использование полиномов позволяет проводить экстраполяцию характеристик турбокомпрессора в области режимов работы, не охваченных набором исходных данных.

В данной работе приведена методика моделирования характеристик турбокомпрессора дизеля с рабочими колесами диаметром 40 мм. По исходным экспериментальным данным по методике [2] получены зависимости в виде полиномов для следующих параметров рабочего процесса турбокомпрессора: приведенного расхода воздуха через компрессор $G'_k(\omega'_k, \pi_k)$, адиабатного КПД компрессора $\eta_k(\omega'_k, \pi_k)$, приведенного расхода газов через турбину $G'_t(\pi_t, \psi_t)$, адиабатного КПД турбины $\eta_t(\omega'_t, \pi_t)$. Здесь ω'_k и ω'_t — приведенные угловые скорости для компрессора и турбины, π_k и π_t — степень повышения давления возду-



КУЗНЕЦОВ

Александр Гаврилович
доктор технических наук,
доцент, профессор



БОКОВИКОВ

Алексей Николаевич
аспирант
кафедры «Теплофизика»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ха в компрессоре и степень понижения давления газа в турбине, ψ_T — относительное положение лопаток направляющего аппарата турбины. Степени параметров, входящих в состав полинома, представляют собой целые числа от -3 до $+3$.

Как показал анализ полученных зависимостей, характеристика расхода воздуха через компрессор имеет сложный вид (рис. 1), поэтому исходный полином $G'_k(\omega'_{k}, \pi_k)$ не достаточно точно описывает режимы работы компрессора. В связи с этим была разработана методика моделирования расходной характеристики компрессора.

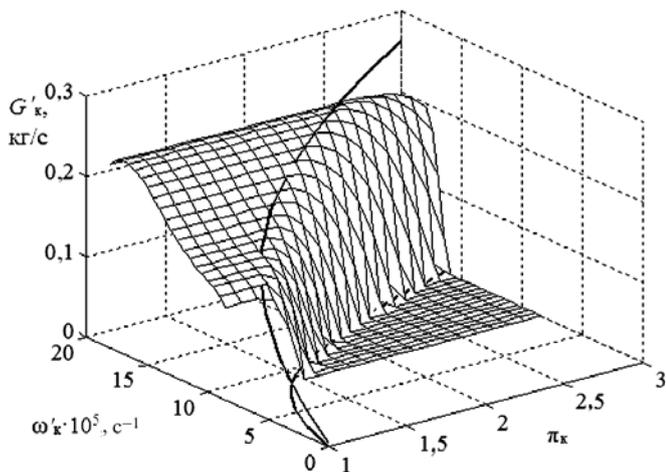


Рис. 1. Поверхность полинома расхода воздуха через компрессор с линиями нулевого наклона и помпажа

Для описания характеристик турбокомпрессора на режимах малых нагрузок и холостого хода дизеля введем понятия двух линий (см. рис. 1): линии условного помпажа — зависимость $\omega'_k(\pi_k)$ при $G'_k = 0$; линии нулевого наклона, содержащей максимумы полинома.

Весь диапазон полученных значений разбивается на три области. Область А: $\pi_k = 1 - \pi_{k0}$ (π_{k0} — степень повышения давления для линии нулевого наклона); область В — $\pi_k = \pi_{k0} - \pi_{kп}$, ($\pi_{kп}$ — степень повышения давления для линии условного помпажа); область С — $\pi_k = \pi_{kп} - \pi_{k\max}$.

Приведенный расход воздуха G'_k в области А моделируется линейной зависимостью $G'_k = k\pi_k + b$, коэффициенты k и b которой определяют из экспериментальных данных сле-

дующим образом. Сначала находят коэффициенты k_i, b_i для каждой $\omega'_{ki} = \text{const}$. Затем вычисляются коэффициенты линейной зависимости $k = \sum_{i=1}^n k_i / n, b = \sum_{i=1}^n b_i / n$, где n — количество отличающихся частот вращения турбокомпрессора, для которых есть экспериментальные данные.

Область В разбивается на две зоны: $B_1 - \omega'_k = 0 - \omega'_{k.э}$; $B_2 - \omega'_k = \omega'_{k.э} - \omega'_{k\max}$, где $\omega'_{k.э}$ — минимальная угловая скорость, для которой имеются экспериментальные данные; $\omega'_{k\max}$ — максимальная угловая скорость.

Зона B_2 моделируется исходным полиномом $G'_k(\omega'_k, \pi_k)$. Область B_1 моделируется уравнением $\pi_{k^2} / a_i + G'^2_k / b_i = 1$, коэффициенты a_i и b_i которого находят путем решения системы уравнений, образующейся в результате подстановки в последнее выражение значений π_k и G'_k из линий нулевого наклона и условного помпажа. Систему уравнений решается для каждой $\omega'_{ki} = \text{const}$. На рисунке 2 представлены результаты моделирования приведенного расхода воздуха для области B_2 ; точки линии нулевого наклона (*) и линии условного помпажа (■) для каждой $\omega'_{ki} = \text{const}$.

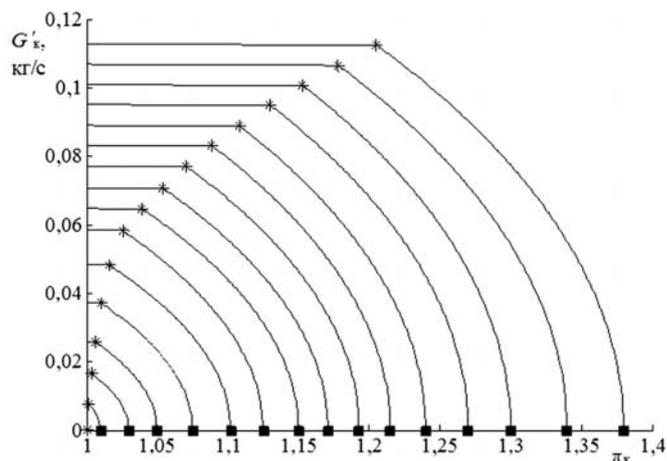


Рис. 2. Моделирование расхода воздуха в зоне В

Приведенный расход воздуха в области С $G'_k = 0$ для каждой $\omega'_{ki} = \text{const}$.

Совокупность рассмотренных зон образует полную расходную характеристику компрессора, изображенную на рис. 3.

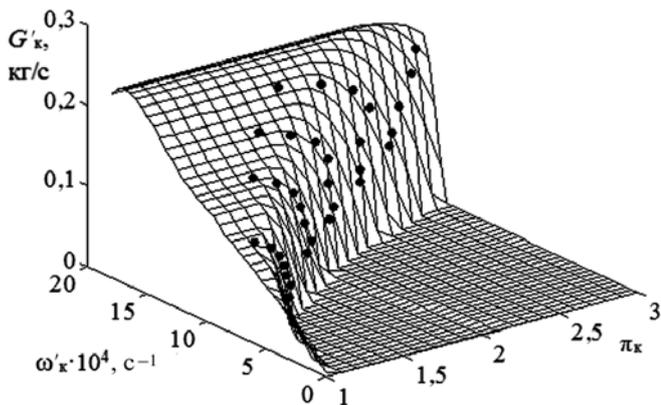


Рис. 3. Поверхность полинома расхода воздуха через компрессор с экспериментальными данными (●)

Остальные характеристики турбокомпрессора хорошо описываются полиномами, составленными по исходным экспериментальным данным. На рисунке 4—6 представлены поверхности полиномов адиабатного КПД компрессора, приведенного расхода газов через турбину, адиабатного КПД турбины соответственно.

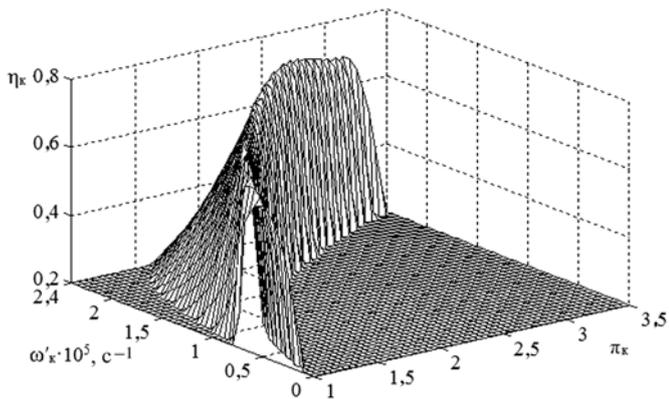


Рис. 4. Поверхность полинома адиабатного КПД

Сравнение исходных экспериментальных данных с расчетными значениями показывает, что предложенный метод представления характеристик турбокомпрессора, описанный выше, обеспечивает хорошее соответствие экспериментальных и расчетных значений. Полученные характеристики были использованы при разработке системы автоматического управления дизелем с турбокомпрессором с турбиной

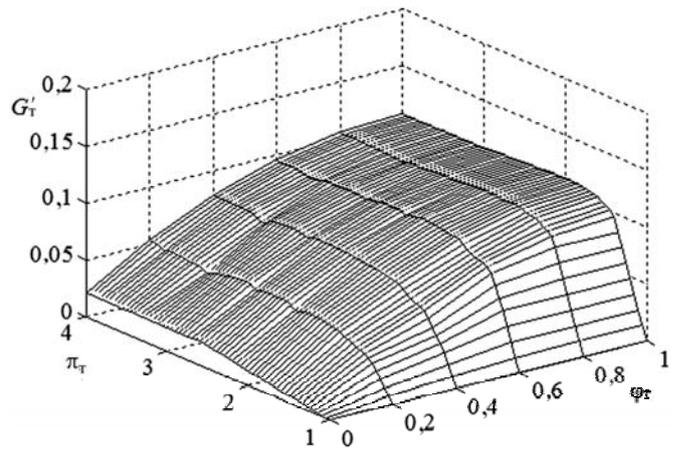


Рис. 5. Поверхность полинома расхода газов через турбину изменяемой геометрии

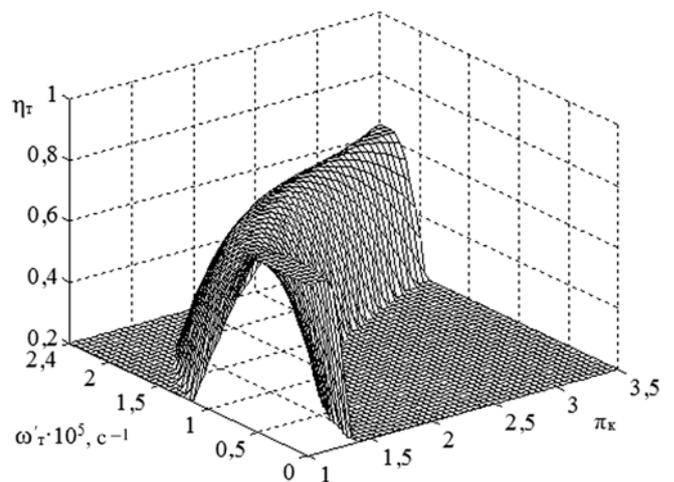


Рис. 6. Поверхность полинома адиабатного КПД турбины изменяемой геометрии

изменяемой геометрии методом полунатурного моделирования [3].

Литература

1. Кузнецов А.Г. Стенд полунатурного моделирования динамических режимов энергетических установок с дизелями // Вестник МГТУ. Машиностроение. 2008. № 4. С. 25—29.
2. Боковиков А.Н., Кузнецов А.Г. Математическая модель системы воздухообеспечения автомобильного дизеля для полунатурного моделирования его динамических режимов // Грузовик. 2009. № 11. С. 30—33.
3. Боковиков А.Н., Кузнецов А.Г. Результаты полунатурного моделирования режимов работы автомобильного дизеля // Грузовик. 2009. № 12. С. 15—17.

Статья поступила в редакцию 09.02.2012