

РАСЧЕТ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА СМЕШАННОГО ХЛАДАГЕНТА

Лахман А.Г.^{1,2}, Кожухов Ю.В.¹

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент, Кожухов Ю.В.

¹Университет ИТМО

²Научно-производственная фирма "ЭНТЕХМАШ"

Введение

Центробежные компрессоры (ЦК) широко применяются в современных холодильных и криогенных установках, где в качестве рабочего тела используются многокомпонентные смеси хладагентов. Для корректного моделирования рабочих процессов таких установок, особенно при переменных режимах эксплуатации, необходимо получить газодинамические характеристики (ГДХ) компрессора [1, 2] – зависимости параметров работы (конечное давление, политропный КПД, потребляемая мощность, повышение температуры в проточной части и пр.) от производительности [3, 4]. Суммарные ГДХ ЦК получаются как результат совместной работы его отдельных секций, ГДХ которых, в свою очередь, являются сложением безразмерных характеристик ступеней [5, 6].

Определение ГДХ ЦК напрямую влияет на точность моделирования холодильных циклов и, как следствие, на определения энергоэффективности установки в целом (определение холодильного коэффициента) [7, 8, 9]. В данной работе представлена методика прямого пересчета ГДХ многосекционного многоступенчатого компрессора смешанного хладагента и показано влияние на результаты моделирования цикла.

В данной работе приводится сравнение различных одномерных подходов к моделированию ГДХ ЦК на различные условия работы (давление и температуры на входе в секции, частота вращения привода, состав газа), отличные от номинальных, на примере компрессора смешанного хладагента с представленной методикой прямого расчета ГДХ ЦК с учетом рассогласования ступеней.

Основная часть

1. Обзор существующих методов пересчета суммарных ГДХ на условия работы, отличные от номинальных.
2. Представление методики прямого расчета ГДХ ЦК на иные условия работы по безразмерным параметрам ступени (коэффициент расхода φ_{r2} , коэффициент теоретического напора φ_{u2} , коэффициент трения $\beta_{тр}$, коэффициент протечек $\beta_{пр}$, политропный КПД $\eta_{пол}$, коэффициент мощности χ) с учетом влияния относительного числа Маха M_u и реальности газа в зависимости от начальных условий в каждую ступень компрессора.
3. Сравнение результатов расчетов ГДХ ЦК различными методами на примере 2-х секционного компрессора смешанного хладагента. Для проведения сравнительного анализа используются экспериментальные данные натурных испытаний компрессора на воздухе и на смешанном хладагенте для каждой секции компрессора.
4. Продемонстрировано влияние расчетных ГДХ ЦК на определение холодильного коэффициента цикла. Погрешность в определении напора и КПД компрессора на нерасчетном режиме напрямую транслируется в погрешность расчета холодопроизводительности и затраченной работы, что делает применение уточненных методик критически важным для достоверного моделирования.

Выводы

Расчет ГДХ ЦК на нерасчетных режимах является сложной, но необходимой задачей для точного моделирования холодильных циклов. Предложенная методика прямого поступенчатого расчета, в отличие от упрощенных подходов, позволяет учесть рассогласование работы ступеней и секций, а также изменение термодинамических свойств рабочего смеси. Применение данного подхода повышает точность определения энергетических показателей компрессора и, как следствие, всего холодильного цикла при переменных условиях эксплуатации, что подтверждается результатами сравнения с экспериментальными данными.

Литература

1. Рис В.Ф. Центробежные компрессорные машины. — Ленинград: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1981. — 3: 351 с.
2. Ден Г.Н. Проектирование проточной части центробежных компрессоров. — Ленинград: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1980. — 232 с.
3. Любимов, А. Н. Совершенствование методов расчёта газодинамических характеристик проточной части стационарных центробежных компрессоров: специальность 05.04.03 "Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Любимов Александр Николаевич, 2016. — 138 с.
4. Любимов А.Н., Евдокимов В.Е., Семаков А.В., Репринцев А.И. Об использовании экспериментального и расчетных методов при проектировании проточных частей центробежных компрессоров // Компрессорная техника и пневматика - 2014. - № 6. - С. 12-20
5. Ваняшов А.Д. Применение методов пересчета газодинамических характеристик многоступенчатых и многосекционных турбокомпрессоров на другие условия работы в различных технологических установках / А. Д. Ваняшов // Омский научный вестник. Серия Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. — 2018. — Т. 2, № 1. — С. 42-52. — DOI 10.25206/2588-0373-2018-2-1-42-52.
6. Любимов А.Н., Шамеко С.Л., Гаман Е.В. К пересчету газодинамических характеристик многоступенчатой проточной части ЦКМ на иные условия работы // Компрессорная техника и пневматика - 2010. - № 3. - С. 28-31
7. Борзенко Е.И., Архаров А.М. Машины низкотемпературной техники. Криогенные машины и инструменты. — Санкт-Петербург, 2011.
8. Борзенко Е.И. Научные основы криологии. — 2012.
9. Юн В.К. Центробежный компрессор смешанного хладагента для предприятий сжижения природного газа, Химическая техника — 2017 -№9. - С. 10-15

Автор
Научный руководитель

Лахман А.Г.
Кожухов Ю.В.