

Результаты разработки регулируемого турбоэлектрокомпрессора

Лазарев А.В., д.т.н. проф. Каминский В.Н., Каминский Р.В., Сибиряков С.В., Григоров И.Н.,
Костюков Е.А.

АО «НПО «Турботехника»
8 (4967) 74-49-03, design@kamturbo.ru

Аннотация. В статье рассмотрена конструкция, определены параметры и приведены результаты безмоторных испытаний турбоэлектрокомпрессора для транспортных двигателей.

Ключевые слова: турбоэлектрокомпрессор, обратимая электрическая машина, ротор, статор

Сегодня вопрос подачи в цилиндр двигателя топлива в нужный момент и в нужном количестве решен за счет, например, системы Common rail, а дозированная подача воздуха в необходимый момент времени до сих пор является проблемой. Решить данную задачу позволит электронно-управляемый гибридный агрегат наддува.

Для решения задачи полезной утилизации избыточной мощности турбокомпрессора многие ведущие мировые производители ТКР пошли по пути гибридизации агрегатов наддува.

Понятие Hybrid Turbocharger Technology (НТТ) продолжительно и часто обсуждается в литературе, однако, серийно выпускаемого силового агрегата с гибридным турбонагнетателем пока нет.

Статистика показывает, что в городе водитель значительную долю времени тратит на остановки, разгоны и торможения и лишь примерно 1/5 всего времени движется равномерно. Таким образом, часть энергии, не востребованная на одних режимах, но необходимая на других, безвозвратно теряется. Это можно в определенной степени исправить при наличии возможности передавать избыточную энергию на постоянный дополнительный потребитель, который бы мог ее аккумулировать с последующей передачей нуждающемуся потребителю.

В рамках государственного контракта «Поисковые и экспериментальные исследования по созданию систем наддува для модернизации базовых образцов средне- и высокооборотных дизельных двигателей и создания перспективных дизельных двигателей» (Шифр «Коллекция») НПО «Турботехника» провела работы по проектированию, изготовлению и испытанию регулируемого турбоэлектрокомпрессора с обратимой электрической машиной.

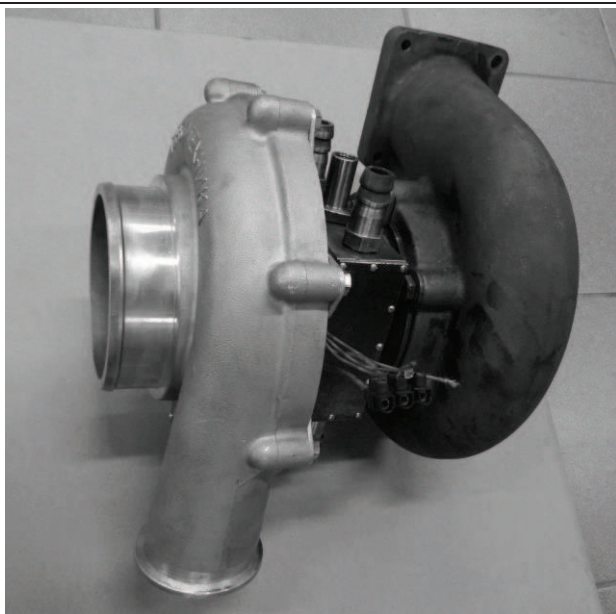
Конструктивно турбоэлектрокомпрессор (ТЭК) содержит:

- турбину и компрессор, являющиеся лопастными машинами и состоящие из рабочих колёс, жёстко связанных общим валом (ротором), и корпусов;
- обратимой электрической машины (далее ОЭМ), ротор которой жёстко посажен на вал ротора турбокомпрессора между опорными подшипниками ротора ТКР, а статор неподвижно закреплён в корпусе подшипников ТКР концентрично относительно ротора;
- корпуса подшипников ТКР, служащего для крепления корпусов компрессора и турбины, размещения подшипников ротора ТКР и установки статора ОЭМ, также корпус подшипников имеет контур водяного охлаждения;
- блока управления и питания ТЭК в режимах генератора и двигателя.

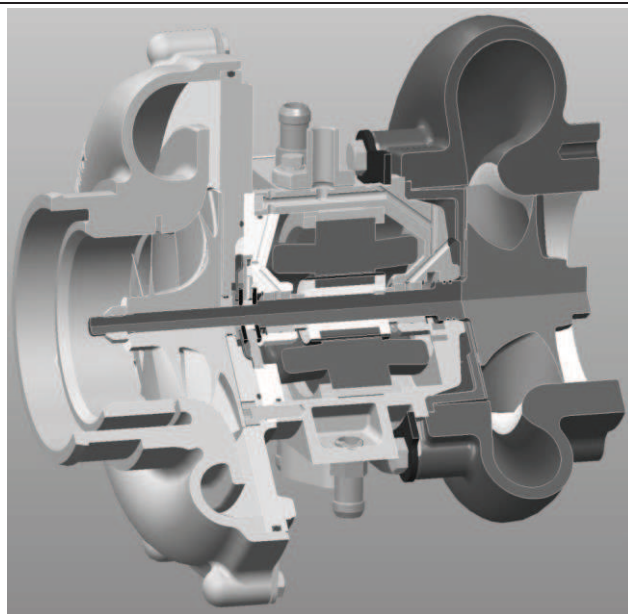
На рисунке 1 показаны внешний вид опытного образца турбоэлектрокомпрессора ТЭК-120 и его 3D-модель в разрезе.

Обратимая электрическая машина с основными геометрическими размерами представлена на рисунке 2. Ротор ОЭМ конструктивно представляет собой цилиндрическую втулку с закрепленными на ней четырьмя сегментными магнитами. По внешнему диаметру магнитов имеется бандаж, выполненный из углеволокна (другой вариант: бандаж выполняется из титана).

Испытания проведены на безмоторном стенде НПО «Турботехника». Стенд оборудован необходимыми для проведения испытаний системами и средствами измерений в соответствии с ГОСТ Р 53637-2009.

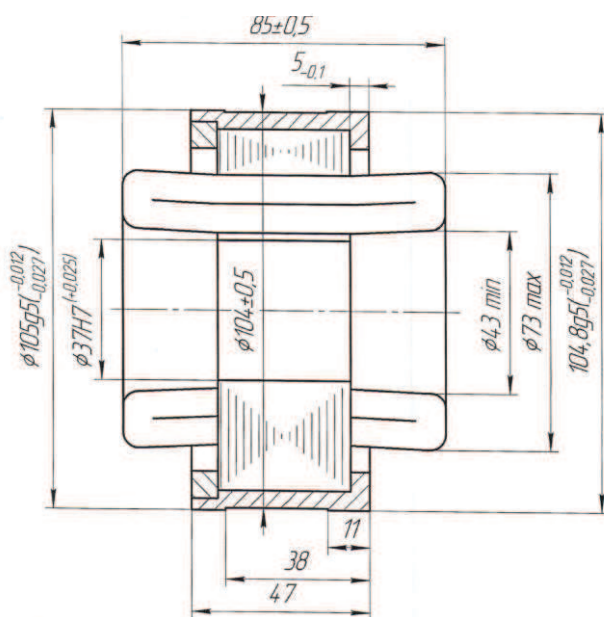


а) Фото ТЭК 120

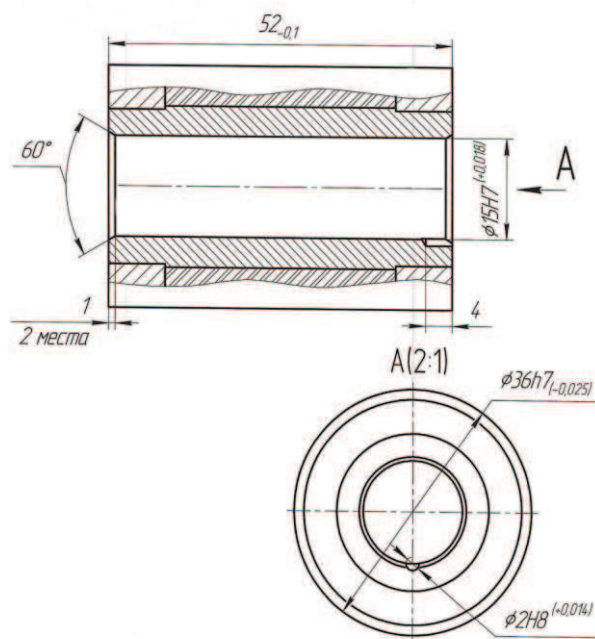


б) 3D-модель ТЭК 120 (в разрезе)

Рисунок 1. Турбозлектрокомпрессор



а) Статор ОЭМ



б) Ротор ОЭМ

Рисунок 2. Обратимая электрическая машина

Характеристики ТЭК-120 оценивались на следующих режимах:

- при работе ОЭМ в режиме холостого хода в диапазоне окружных скоростей колеса компрессора $u_{k2} = 200 - 500 \text{ м/с}$ через 50 м/с ;
- при работе ОЭМ в режиме двигателя в диапазоне начальных окружных скоростей колеса компрессора $u_{k2} = 200 - 500 \text{ м/с}$ через 50 м/с ;
- при работе ОЭМ в режиме генератора в диапазоне начальных окружных скоростей колеса компрессора $u_{k2} = 250 - 500 \text{ м/с}$ через 50 м/с .

На рисунке 3 представлена характеристика компрессорной ступени ТЭК 120 при ОЭМ, работающей в режиме двигателя и в режиме холостого хода. Сплошными линиями показан режим холостого хода ОЭМ, пунктиром обозначено смещение линий P_k относительно линий холостого хода при работающей ОЭМ в режиме двигателя.

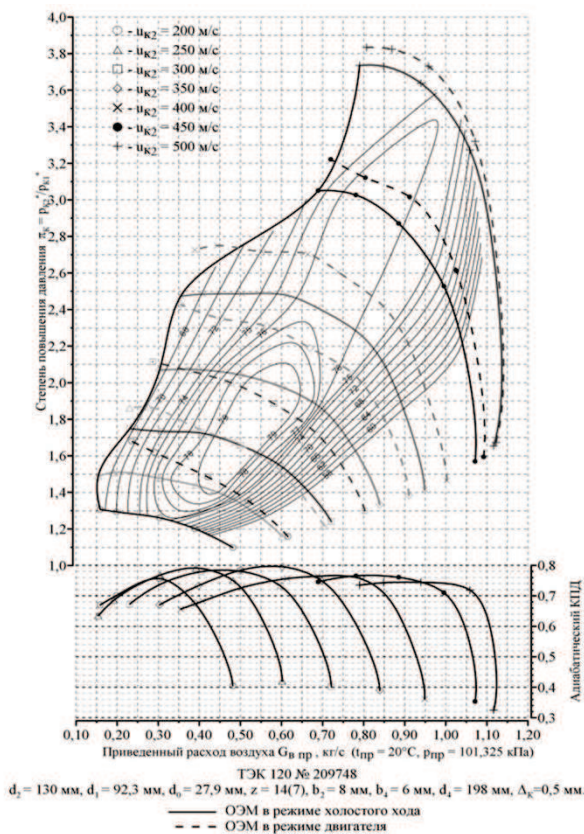


Рисунок 3. Сравнительные характеристики компрессора турбоэлектромпрессора ТЭК 120 при работе ОЭМ в режиме холостого хода и режиме двигателя

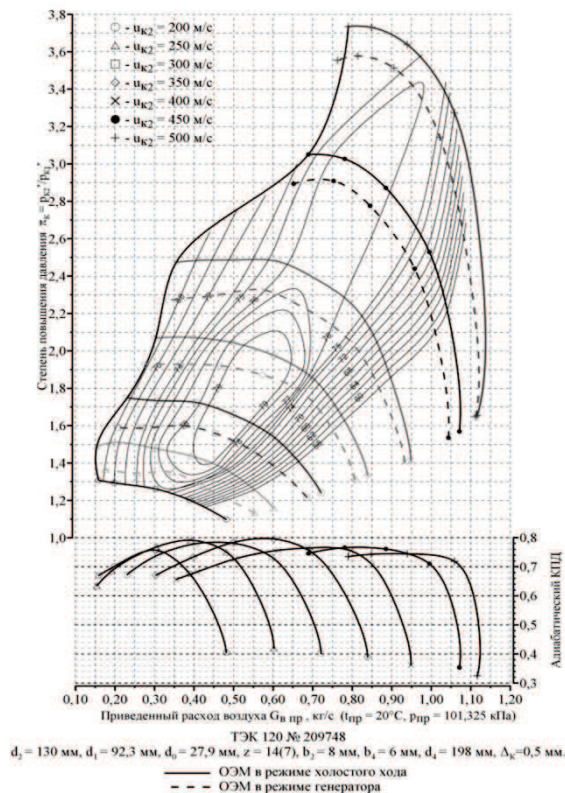


Рисунок 5. Сравнительные характеристики компрессора турбоэлектромпрессора ТЭК 120 при работе ОЭМ в режиме холостого хода и режиме генератора

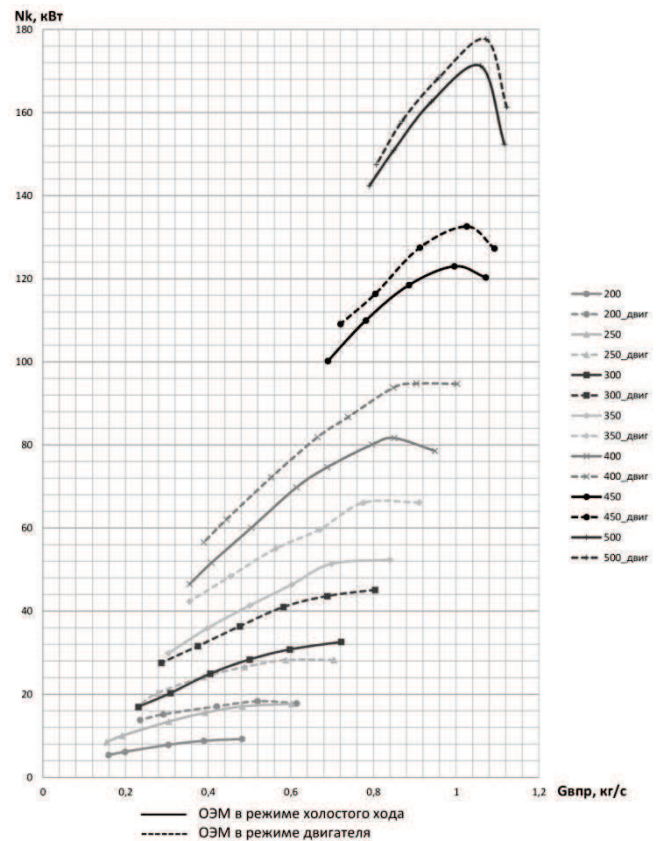


Рисунок 4. График изменения мощности компрессора при работе ОЭМ в режиме двигателя

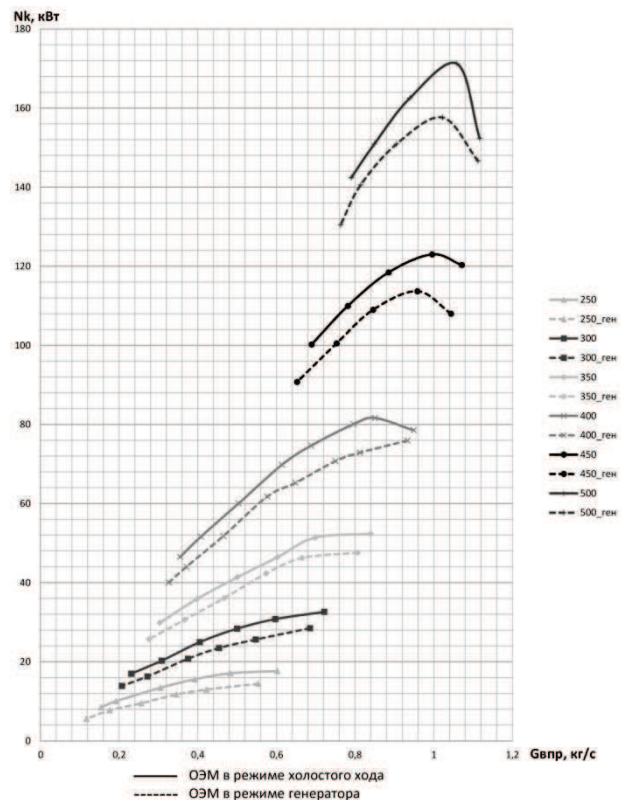


Рисунок 6. График изменения мощности компрессора при работе ОЭМ в режиме генератора

На рисунке 4 представлен график изменения мощности компрессора в зависимости от приведенного расхода воздуха, сплошным показаны линии при работе ОЭМ в режиме холостого хода, а пунктиром – в режиме двигателя.

На рисунке 5 представлены результаты испытаний ТЭК 120 при ОЭМ, работающей в режиме генератора, в сравнении с режимом холостого хода. Сплошными линиями показан режим холостого хода ОЭМ, пунктиром обозначено смещение линий P_k относительно линий холостого хода при работающей ОЭМ в режиме генератора.

По аналогии на рисунке 6 представлен график изменения мощности компрессора в зависимости от приведенного расхода воздуха, сплошным показаны линии при работе ОЭМ в режиме холостого хода, а пунктиром – в режиме генератора.

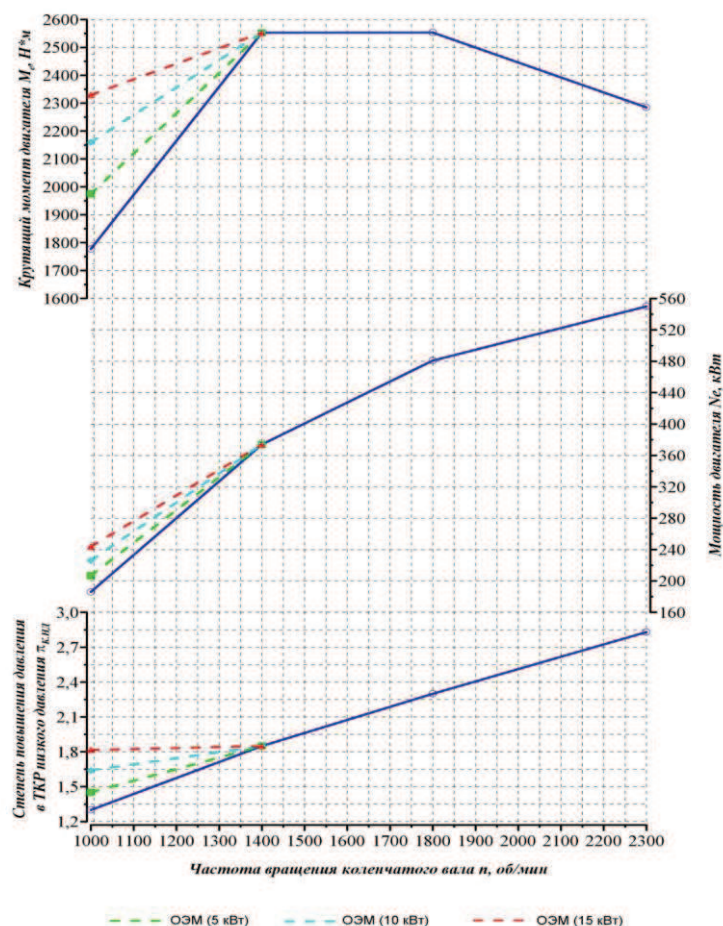


Рисунок 7. Внешняя скоростная характеристика двигателя 6 ЧН 13/15,6 мощностью 550 кВт с ТЭК

Выводы

Характеристика компрессора ТЭК 120 при работе ОЭМ в режиме холостого хода в пределах точности измерений стенда соответствует характеристике компрессора прототипа, на основе которого изготовлен электротурбокомпрессор. То есть конструктивные изменения турбокомпрессора, связанные с установкой ОЭМ, не влияют на характеристики лопастных агрегатов электротурбокомпрессора.

При работе ОЭМ в режиме двигателя степень повышения давления в компрессорной ступени увеличивается от 0,02 до 0,37 на режимах, соответствующих 200 – 500 м/с по окружной скорости колеса компрессора. Мощность компрессора увеличивается в диапазоне от 5,08 до 16,15 кВт.

При работе ОЭМ в режиме генератора мощность компрессора уменьшается в диапазоне от 2,29 до 13,59 кВт на режимах, соответствующих 250 – 500 м/с по окружной скорости колеса компрессора. Таким образом, имеется возможность рекуперации энергии по мощности равной указанному выше диапазону, что практически соответствует проектной мощно-

сти ОЭМ равной 15 кВт.

Контрольная проверка по результатам безмоторных испытаний, каких-либо нарушений конструкции и вредных контактов не выявила, что характеризует данную конструкцию турбоэлектрокомпрессора работоспособной.

Для оценки изменения характеристики двигателя были проведены расчеты двигателя 6ЧН 13/15,6 мощностью 550 кВт, в которых оценивалась величина изменения мощности и крутящего момента, при разной мощности ОЭМ (рисунок 7). Таким образом, при мощности ОЭМ 5 кВт увеличение мощности двигателя в диапазоне частот вращения коленчатого вала 1000 – 1400 об/мин составляет ~ 11%, при мощности ОЭМ 10 кВт – 21%, а при мощности ОЭМ 15 кВт – 31%.

Литература

1. Пинский Ф.И., Давтян Р.И., Черняк Б.Я. Микропроцессорные системы управления автомобильными двигателями внутреннего сгорания. Учебное пособие. – М. «Легион-Автодата». 2002. 136 с. ил.
2. Работа политехнического института г. Турин, Италия совместно с компаниями Iveco S.P.A, Италия и Holset Turbochargers, Великобритания. 2005.

Обзор проблемы течения влажного воздуха в турбодетандерах

Мартьянов О.А., д.т.н. проф. Меркулов В.И.
Университет машиностроения
mera13@yandex.ru

Аннотация. В статье приведены результаты анализа влияния влажности воздуха на работу турбодетандера.

Ключевые слова: пульсации давления, влажный воздух, воздушная турбина, обледенение

Для современной авиации чаще всего характерны большие высоты полета, на которых влажность атмосферного воздуха относительно мала и ее влияние на работу и характеристики авиационных систем можно не принимать во внимание. Однако на ряде режимов полета, в таких как полеты на малой высоте, в летний период в районах с высокой относительной влажностью и высокой температурой окружающей среды, количество водяных паров в атмосфере может оказаться столь значительным, что становится неизбежной конденсация влаги в агрегатах авиационных систем.

Исходя из рисунка 1, очевидно, что при полетах на определенных высотах и в различных климатических зонах появляется опасность обледенения как проточной части турбомашины, так и агрегатов, расположенных в системе кондиционирования. В связи с этим стоит отметить, что подобные факторы могут играть значительную роль как в надежности работы турбокомпрессора, так и в надежности и долговечности всей системы. По вопросам, связанным с данной проблемой, проводится большое количество исследований, ставящих перед собой различные задачи. Многие работы ведутся с упором на экспериментальные данные, например, оценка характера изменения работы турбокомпрессора при введении в него капельной влаги различного размера. Однако на данный момент также проводятся исследования, которые касаются поведения влаги в потоке, ее конденсации и воздействия на лопатки (разрушение лопаток, пульсации давления в потоке). Данные исследования способны содействовать формированию комплексного подхода к данной проблеме.

После оценки приведенных данных можно сделать выводы о характере изменений в работе турбокомпрессора, проанализировать показатели наличия влаги в капельной форме и разработать методику предупреждения обледенения, которая в дальнейшем позволит избежать негативных последствий, связанных с наличием крупнодисперсной влаги в проточной части турбокомпрессора.

Далее рассматриваются работы, в которых раскрываются вопросы поведения влажного