

Маневровый газотурбовоз

Е.Е. КОССОВ, д-р техн. наук, профессор, ВНИИЖТ

По заказу ОАО «РЖД» разработан проект и на Людиновском теплово-зостроительном заводе осуществляется строительство маневрового газотурбовоза ГЭМ10 для работы на сжатом природном газе.

Локомотив (рис. 1) состоит из двух четырехосных секций с восемью тяговыми двигателями. Передача переменного тока. Синхронный тяговый генератор непосредственно без редуктора связан с турбиной двигателя. Питание тяговых двигателей, вспомогательного оборудования и бортовой сети осуществляется от тягового генератора через преобразователи. Частота вращения генератора 26000 об/мин. Генератор спроектирован и построен ОАО «Кросна-Мотор». Для осуществления пуска двигателя и частичной рекуперации энергии торможения на локомотиве установлен электрический накопитель энергии производства ООО «Эконд» с энергетической емкостью 8 МДж. Процесс пуска, задание режима работы двигателя, управление тягой и вспомогательными агрегатами и системами осуществляет электронная система диагностики и управления производства ООО «ППП Дизельавтоматика». Силовая установка, компрессоры, половина накопителя, преобразователи расположены на основной секции (рис. 1, справа). Вторая секция является тяговым бустером и хранилищем сжатого природного газа. На бустере установлены 48 баллонов с давлением 25,0 мПа, вмещающие около 3000 кг метана. Этого достаточно для работы в среднем маневровом режиме около 7 дней.

Краткая техническая характеристика этого локомотива приведена в таблице 1.

При тяжелом маневровом режиме работают все восемь тяговых двигателей, что достаточно для работы на сортировочной горке с составом массой 6000 т и более. При скорости более 15 км/ч всегда работают четыре тяговых двигателя ос-

после турбины попадают на турбину 3 низкого давления и затем в регенератор-теплообменник 7. Регенератор-теплообменник позволяет утилизировать тепло отходящих газов для нагрева воздуха, поступающего в камеру сгорания 8. Такая схема позволяет получить высокие значения КПД двигателя при относительно низких показателях теплонапряженности и механических нагрузок. Технические характеристики двигателя представлены в таблице 2. Частота вращения вала 26000 об/мин, давление в камере сгорания 6,6 кг/см², температура в камере сгорания 950 °С (1223 К), температура газа на входе в рекуператор 650 °С. Воздух после компрессора нагревается в рекуператоре на 260 °С и в камере сгорания на 427 °С. Подвод тепла в рекуператоре в зависимости от режима работы составляет от 38 до 77% от общего подвода тепла. Причем при режимах малых нагрузок доля подвода тепла в рекуператоре увеличивается. Это позволяет получить благоприятную для локомотива характеристику изменения удельного расхода газа в зависимости от мощности (рис. 3).

Удельный расход топлива в диапазоне нагрузок от 0,15 до 1,0 не превышает 0,2 кг/кВтч. Минимальное значение удельного расхода 0,175 кг/кВтч достигается при мощности 0,6 от номинальной. При номинальной мощности 1000 кВт удельный расход газа составляет 0,18 кг/кВтч. На двигателе применены воздушные радиальные подшипники скольжения и вертикальные магнитные подшипники. Отсутствуют системы смазки и охлаждения.

Таблица 1. Технические характеристики маневрового газотурбовоза с бустером

п/п	Наименование показателя	Значение
1.	Мощность по газотурбинному двигателю, кВт	1000
2.	Осевая формула	2х(2 ₀ -2 ₀)
3.	Конструкционная скорость, м/с (км/ч)	27,7 (100)
4.	Служебная масса, т	172
5.	Ширина колеи, мм	1520
6.	Диаметр колес по кругу катания, мм	1050
7.	Сила тяги расчетного режима с бустером, кН	480
8.	Скорость расчетного режима при работе с бустером, м/с (км/ч)	1,68 (6,0)
9.	Коэффициент полезного использования мощности на тягу, не менее	0,8
10.	Тип потребляемого топлива	Сжатый природный газ по ГОСТ 5542-87
11.	Тип передачи мощности	Электрическая, переменного постоянного тока
12.	Накопитель энергии, тип Энергоемкость, МДж	Конденсаторный 8,1

новной секции. Основу локомотива составляет газотурбинный двигатель ГТД-1000, построенный ММПП «Салют». Принципиальная схема двигателя представлена на рис. 2. Основной вал турбины 4 приводит компрессор 5 и генератор переменного тока 6. Отработанные газы

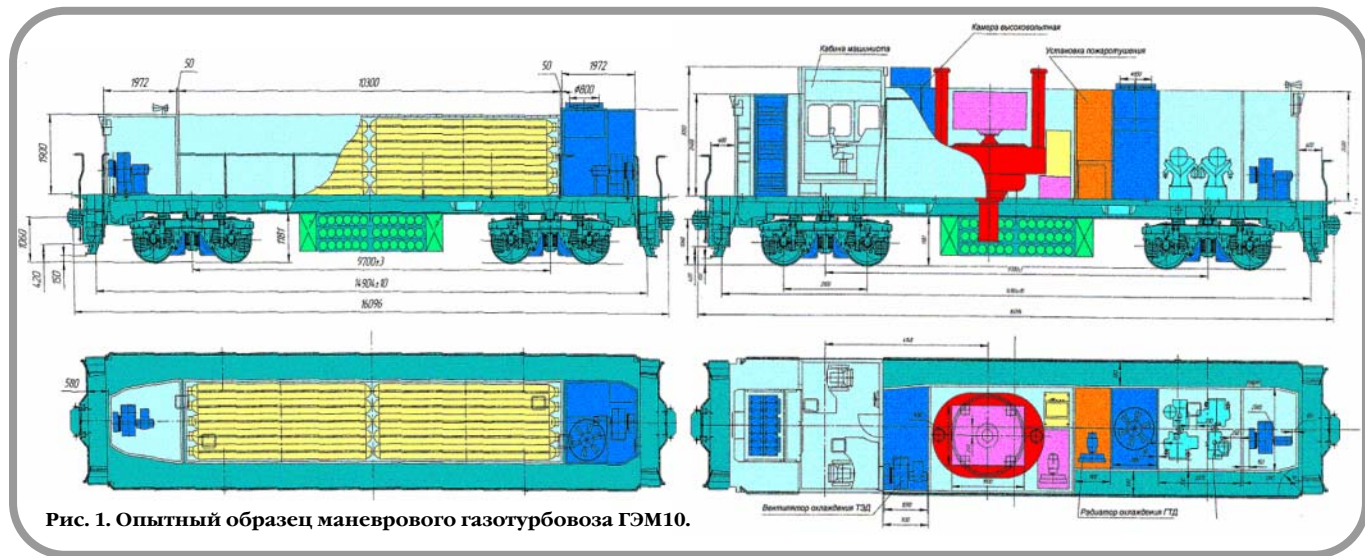


Рис. 1. Опытный образец маневрового газотурбовоза ГЭМ10.

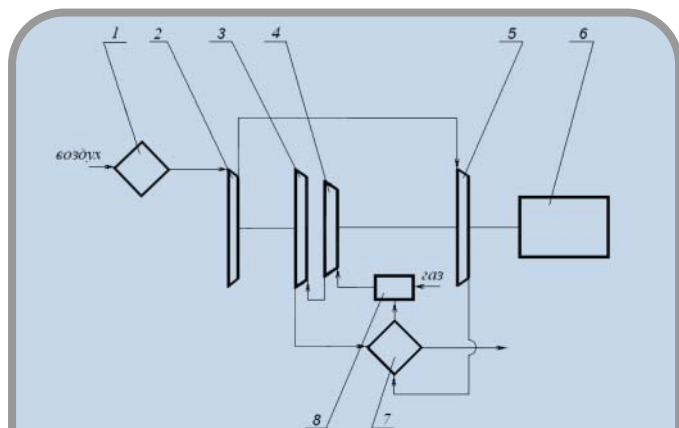


Рис. 2. Принципиальная схема двигателя ГТД-1000

1 – фильтр; 2 – компрессор низкого давления; 3 – турбина высокого давления; 4 – турбина низкого давления; 5 – компрессор низкого давления; 6 – генератор; 7 – регенератор-теплообменник; 8 – камера сгорания

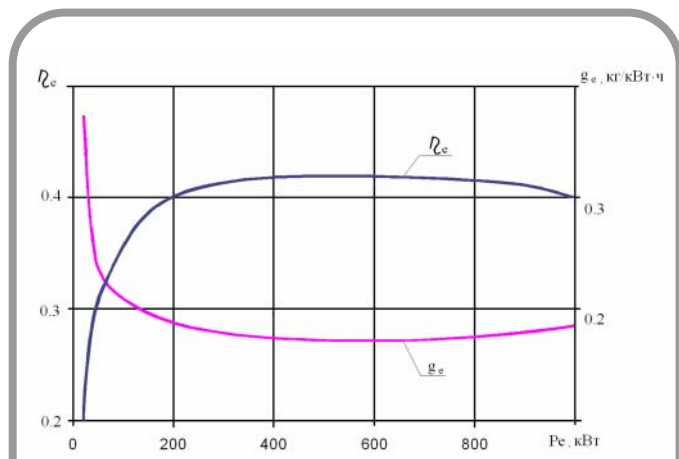


Рис. 3. КПД и удельный расход газа двигателем ГТД-1000 в зависимости от эффективной мощности

В качестве накопителя энергии применены конденсаторы сверхвысокой энергоемкости. Принцип работы импульсных конденсаторов сверхвысокой энергоемкости основывается на использовании барьерного электрического поля, сформированного не в объеме макроскопического диэлектри-

ка, как это происходит в классических конденсаторах, а вблизи границы поверхности материалов с различными электрофизическими свойствами. Необходимым условием при создании конденсаторов сверхвысокой энергоемкости является большая площадь поверхности электродных материалов.

В конденсаторах сверхвысокой энергоемкости накопление энергии происходит в барьерном электрическом поле, сформированном на границе раздела металл — высокопористый проводящий электрод, пропитанный химически инертным электролитом. Плотность энергии в объеме двойного электрического поля достигает 100 Дж/см³.

Для повышения рабочего напряжения единичные конденсаторы соединяются между собой последовательно, таким образом модуль импульсного конденсатора сверхвысокой энергоемкости фактически представляет собой батарею конденсаторов.

Модули конденсаторов собраны в блоки по 6 шт. и соединены последовательно-параллельно, так что рабочее напряжение на блоке 1200 В. Конденсаторы включены в силовую цепь, обеспечивая рекуперацию энергии торможения, увеличение тягового тока при разгоне состава, а также для улучшения переходных процессов в газотурбинном двигателе.

Для оценки целесообразности применения маневрового газотурбовоза рассчитана стоимость его жизненного цикла в сравнении со стоимостью жизненного цикла тепловоза ТЭМ18. При равных условиях эксплуатации, с учетом низкой цены природного газа, стоимость жизненного цикла тепловоза ТЭМ 18 составляет 77,4, а у газотурбовоза 53,3 млн. руб., что в 1,45 раза меньше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коссов Е.Е. Перспективы применения газотурбинных установок с использованием альтернативных топлив на железнодорожном транспорте. – Конверсия в машиностроении. – 2001. – № 1.
2. Коссов В.С., Нестеров Э.И. Газотурбинная тяга: история и перспективы. – Локомотив. – 2005. – №№ 3, 4, 5.
3. Ильин Ю.Л. Газотурбинное дежаво или снова на те же грабли? – РЖД Партнер. – 2006. – № 2.

Таблица 2. Технические характеристики газотурбинного двигателя ГТД-1000

п/п	Наименование показателя	Значение
1.	Тип двигателя	Одновальный с турбокомпрессором утилизатором и регенератором
2.	Эффективная мощность при нормальных условиях*, кВт	1000
3.	Максимальная частота вращения, 1/с (об/мин)	433 (26 000)
4.	Коэффициент полезного действия при нормальных условиях*:	
	на номинальном режиме	0,4
	на режиме 0,6 от номинального	0,42
	на режиме 0,1 от номинального	0,36
5.	Максимальный расход воздуха, кг/с	5,0
6.	Максимальная температура газа, К (°С)	1223 (950)
7.	Максимальное давление после компрессора, МПа	0,7
8.	Эффективность рекуператора, не менее	0,9
9.	Тип подшипников:	
	радиальные	воздушные
	осевые	магнитные
10.	Топливо	Сжатый природный газ
11.	Часовой расход топлива, не более, кг	180
12.	Назначенный ресурс, ч	100 000

*Температура наружного воздуха 20 °С, давление 101,4 КПа (760 мм рт. ст)