

композиционных присадок к жидким и консистентным смазочным материалам с улучшенными антифрикционными и противоизносными характеристиками. Триботехнические испытания смазочных суспензий на основе масла ТАД-17 и полученных добавок показали их преимущества по сравнению с базовой смазкой.

#### Литература

1. Сергеев Г.Б. Криохимия / Г.Б. Сергеев, В.А. Батюк. – М.: Химия, 1979. – 345 с.2. Орехов И.И. Холод в процессах химической технологии / И.И. Орехов, В.Д. Обрезков. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1980. – 216 с.

*Наведено інформацію щодо розробленої на підприємстві ФДУП «ММПП «Салют» газотурбінних установок малої розмірності для застосування їх на різних об'єктах у якості джерела з виробництва електроенергії й тепла. Проведений порівняльний аналіз із закордонними зразками*

*Ключові слова: газотурбінний двигун, електроенергія, тепло, турбіна, компресор, пальник*

*Приведена информация о разработанной на предприятии ФГУП «ММПП «Салют» газотурбинных установок малой размерности для применения их на различных объектах в качестве источника по выработке электроэнергии и тепла. Проведен сравнительный анализ с зарубежными образцами*

*Ключевые слова: газотурбинный двигатель, электроэнергия, тепло, турбина, компрессор, горелка*

*The information about developed on factory FSUE «MMPP «Salute» gas-turbine plants of small dimensions of a quantity for their application on various installations as a source on a power production and heat is resulted. The comparative analysis with foreign specimens is lead*

*Key words. gas-turbine engine, electric power, warmly, turbine, compressor, torch*

Энергетические установки (ЭУ) малой мощности (1...3 кВт) применяются для обеспечения бесперебойного электро- и теплоснабжения станций газодобычи, газоперекачки, радиорелейных систем связи, а также для непрерывного электропитания системы катодной защиты трубопроводов газовых магистралей. Для обогрева помещения с аппаратурой используется тепло отработанных в двигателе газов.

В настоящее время в качестве автономного источника электро- и теплоснабжения радиолокационных станций (РЛС), систем связи ОАО «Газпром» и ОАО «Ростелеком» применяются замкнутые паротурбинные энергетические установки (ЗПТЭУ) элект-

3. Беляков В.П. Криогенная техника и технология – М.: Энергоиздат, 1982. – 367 с.
4. Москалец М. Криохимия / М. Москалец, Г. Озин. – М.: Мир, 1972. – 289 с.
5. Осипов К.А. Аморфные и ультрадисперсные кристаллические материалы. – М.: Наука, 1972. – 269 с.
6. Усюткин И.П. Установки, машины и аппараты криогенной техники. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 199 с.
7. Кравченко О.В. Физико-химические преобразования углеводородных соединений с использованием новых кавитационных устройств //Авиационно-космическая техника и технология. Научно-технический журнал НАУ "ХАИ". – Харьков, 2007. – № 1 (37). – С. 65 – 69.

УДК 621.438.004.15

## ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ГТУ В СИСТЕМАХ ДЕ- ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

**В.Е. Беляев**

Доктор технических наук, профессор, академик РАН РФ, главный конструктор\*

**С.О. Беляева**

Кандидат технических наук, доцент, начальник отдела газодинамики\*

**И.В. Трофимович**

Аспирант, начальник бюро газодинамики\*  
\*ФГУП «ММПП «Салют» (ОМКБ «Горизонт») пр. Буденного, 16, г. Москва, 105118  
Контактный тел. 369-80-01

рической мощностью 0,4...2,1 кВт. Их производит в основном израильская фирма «Ормат» (Ormat Industries Ltd). Данные машины эксплуатируются в двухмодульном исполнении, что позволяет гарантировать высокую надежность этого источника электропитания в течение длительного времени с двухразовым годичным регламентом.

Рабочим телом израильской установки является толуол. Установка неприхотлива в эксплуатации, обладает самозапуском при нагреве от газовой горелки (рис. 1).

Основными недостатками ЭУ фирмы «Ормат» являются:

- низкий КПД - около 4%;
- большие габариты и масса (высота 5 м, масса 2,5 т).

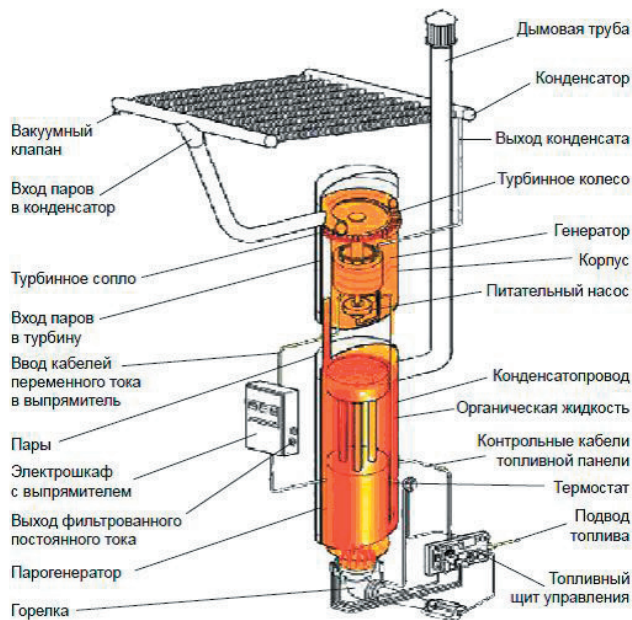


Рис. 1. Установка фирмы «Ормат»

Предлагаемая в качестве альтернативы газотурбинная установка (ГТУ) ФГУП ММПП «Салют» электрической мощностью 1,5...3,0 кВт лишена недостатков рассмотренной выше ЗПТЭУ фирмы «Ормат».

Основным элементом ГТУ ФГУП «ММПП «Салют» является газотурбинный двигатель ГТД-003С, работающий по регенеративному циклу и являющийся собственной разработкой ФГУП «ММПП «Салют». Тепловая схема двигателя и расчетные параметры узлов показаны на рис. 2.

Одной из основных проблем малоразмерного газотурбинного двигателя является достоверная оценка КПД входящих в его состав компрессора и турбины.

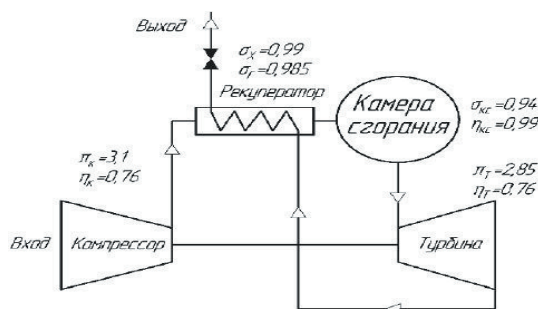


Рис. 2. Тепловая схема двигателя ГТД-003С:

- $\pi_k, \pi_T$  - степень повышения, понижения давления;
- $\eta_k, \eta_T$  - адиабатический КПД компрессора, турбины;
- $\eta_{кс}$  - коэффициент полноты сгорания топлива;
- $\sigma_{кс}, \sigma_x, \sigma_g$  - коэффициенты восстановления полного давления в камере сгорания, по холодной и горячей стороне рекуператора

Поэтому, с целью подтверждения заложенных параметров турбомашин, были проведены экспериментальные исследования компрессора и турбины

турбонаддувочного агрегата (ТНА) TD-02 для автомобильного двигателя внутреннего сгорания. Выбранные турбомашин сопоставимы по газодинамическим и геометрическим характеристикам с компрессором и турбиной ГТД-003С.

Газодинамические параметры компрессора ТНА в характерной точке соответствуют:

- частота вращения ротора  $n = 180\,000$  об/мин;
- расход воздуха  $G = 0,08$  кг/с;
- степень сжатия  $\pi_k = 2,02$ ;
- КПД  $\eta_k = 0,78$ .

Газодинамические параметры турбины ТНА в характерной точке имеют следующие значения:

- частота вращения ротора  $n = 180\,000$  об/мин;
- расход рабочего тела  $G = 0,073$  кг/с;
- степень расширения  $\pi_T = 1,78$ ;
- КПД  $\eta_T = 0,61$ .

Причиной низкого КПД центробежной турбины турбонаддува ТНА TD-02 являются неоптимальные условия работы турбины в данном эксперименте.

Для дальнейшего прогноза газодинамических характеристик вновь проектируемых турбомашин проведена верификация численного эксперимента с данными, полученными в натурном эксперименте.

Результаты численных исследований показывают близкое совпадение расчетных и экспериментальных параметров, что дает уверенность в корректном определении характеристик компрессора и турбины ГТД-003С численными методами.

На следующем этапе было завершено проектирование и изготовление турбокомпрессора на заданные параметры, полученные в термодинамических расчетах цикла ГТД-003С и газодинамических расчетах турбомашин.



Рис. 3. Центробежное колесо компрессора двигателя ГТД-003С

Центробежное колесо компрессора, каналный диффузор, улитка и колесо осевой турбины двигателя ГТД-003С показаны на рис. 3 - 5.



Рис. 4. Канальный диффузор и улитка



Рис. 5. Колесо осевой турбины двигателя ГТД-003С  
двигателя ГТД-003С

В ближайшее время планируется провести работы по испытанию компрессора и турбины отдельно, для определения характеристик турбомашин независимо друг от друга в широком диапазоне изменения параметров, с целью получения максимального КПД двигателя.

Окончание доводочных работ планируется на первый квартал 2010 года.

УДК 532.516:536.24.01

## ТЕПЛОБМЕН ЗАКРУЧЕННОГО ПОТОКА В КАНАЛЕ ЦИКЛОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЛОПАТКИ ГТД

**А. А. Халатов**

Доктор технических наук, профессор, член-корреспондент  
НАН Украины, заведующий отделом\*  
Контактный тел.: (044) 456-93-02  
E-mail: khalatov@vortex.org.ua

**И. И. Борисов**

Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник\*  
Контактный тел.: (044) 453-28-53  
E-mail: borisov@vortex.org.ua

**Ю. Я. Дашевский**

Ведущий конструктор  
НПКГ «Зоря»-Машпроект  
просп. Жовтневий, 42а, г. Николаев, Украина, 54018  
Контактный тел.: (0512) 49-76-53

**С. Д. Северин**

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник\*  
Контактный тел.: (044) 453-28-53  
\*Отдел высокотемпературной термогазодинамики  
Институт технической теплофизики НАН Украины  
ул. Желябова, 2а, г. Киев, Украина, 03057

*Досліджений теплообмін закрученого потоку в циліндричному каналі з одним та двома тангенційними завихрювачами (стосовно до системи внутрішнього охолодження циклонного типу лопатки газової турбіни). Визначено локальні та середні коефіцієнти тепловіддачі в каналі, проаналізовано теплогідравлічні характеристики досліджених схем*

*Ключові слова: теплообмін закрученого потоку, тангенційні завихрювачі, локальні та середні коефіцієнти тепловіддачі*

*Исследован теплообмен закрученного потока в цилиндрическом канале с одним и двумя тангенциальными завихрителями (применительно к системе внутреннего охлаждения циклонного типа лопатки газовой турбины). Определены локальные и средние коэффициенты теплоотдачи в канале, проанализированы теплогидравлические характеристики исследованных схем*

*Ключевые слова: теплообмен закрученного потока, тангенциальные завихрители, локальные и средние коэффициенты теплоотдачи*

*Heat exchange of swirling flow in a cylindrical canal with one and two tangential swirlers has been developed (in conformity with the system of internal cooling of cyclone type of gas turbine blade). The in-channel local and average heat transfer coefficients were obtained; thermal hydraulic characteristic of investigated schemes was analyzed*

*Key words: heat exchange of swirling flow, tangential swirler, local and average heat transfer coefficients*

### 1. Введение

Теплофизический потенциал методов интенсификации теплообмена, применяемых в каналах охлаждения лопаток газовых турбин, в значительной мере исчерпан, и дальнейшее форсирование системы охлаждения может быть достигнуто либо увеличени-

ем расхода воздуха через каналы системы охлаждения, либо уменьшением диаметра охлаждающих каналов для увеличения скорости потока. Поэтому, возникает потребность в разработке альтернативных методов, обеспечивающих высокий уровень теплообмена при приемлемых потерях давления и расходе охладителя, а также исключающих использование дорогих тех-