

¹ В. П. Парафейник,

д-р техн. наук,

¹ Н. С. Щербаков² А. А. Рябов² В. В. Шевчук³ В. Н. Разношинский¹ И. Н. Тертышный¹ С. А. Прилипко¹ ПАО «Сумское НПО», г. Сумы² ГП ЗМКБ «Ивченко-Прогресс»,

г. Запорожье

³ ПАО «Мотор – Сич», г. Запорожье

Ключові слова: турбокомпресорний агрегат, відцентровий компресор, газотурбінний двигун, політропний ККД компресора, ефективний ККД двигуна.

УДК 621.515

ВЫБОР СИСТЕМНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТУРБОКОМПРЕССОРНОГО АГРЕГАТА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЕГО ЭФФЕКТИВНОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ.

Ч. I. Состояние вопроса и объекты исследования

Робота присвячена розробці методики вибору системної характеристики турбокомпресорних агрегатів на основі аналізу результатів випробувань стендового і дослідного зразків турбокомпресорних агрегатів потужністю 6,3 МВт, на основі яких було створено нове покоління вискоелективних агрегатів типу ГПА-Ц-6,3 А. В ч. I роботи висвітлено стан, а також об'єкти досліджень. Сформульовано вимоги до випробувань окремих систем з метою термодинамічного аналізу характеристик агрегату при його роботі в умовах стенда замкнутого контура.

Введение

Блочно-комплектные турбокомпрессорные агрегаты (ТКА) природного и нефтяного газа на основе конвертированных газотурбинных двигателей (ГТД) и центробежных компрессоров (ЦК) мощностью 4–32,0 МВт являются энергосиловыми системами, рабочий процесс которых сопровождается сложными термодинамическими явлениями. Несмотря на то, что в отечественной практике их создание на основе ГТД промышленного типа и ЦК относится еще к 50-м годам прошлого века, системный анализ рабочего процесса ТКА с использованием первого и второго законов термодинамики стал возможным только в 90-х годах XX столетия. Был обобщен опыт создания, производства и эксплуатации блочно-комплектных агрегатов типа ГПА-Ц в Сумском машиностроительном научно-производственном объединении (СМНПО) и решены задачи повышения их эффективности на основе системных исследований особенностей рабочего процесса блочно-комплектных турбокомпрессорных установок (ТКУ), создаваемых на основе ТКА для работы в составе компрессорных станций (КС) газовой и нефтяной промышленности.

В процессе освоения производства агрегатов типа ГПА-Ц-6,3А конструкции СМНПО были проведены натурные испытания двух образцов ТКА с двигателями типа Д-336 мощностью 6,3 МВт: заводские испытания стендового агрегата ГПА-Ц-6,3В/56-1,45 с двигателем Д-336-1 и ЦК НЦВ-6,3/56-1,45, а также испытания опытного образца серийного агрегата ГПА-Ц-6,3А. На первом этапе работ осуществлялись испытания опытного образца ЦК НЦВ-6,3/56-1,45 типа «баррель», созданного в СМНПО с учетом опыта производства и эксплуатации ЦК аналогичной конструкции мощностью 16 МВт (агрегат ГПА-Ц-16/76-1,44 конструкции Сумского филиала СКБ ТХМ (г. Москва) с двигателем НК-16СТ конструкции НПО «Труд», г. Самара), и двигателя типа Д-336 производства ПАО «Мотор-Сич» разработки ГП «Ивченко-Прогресс» мощностью 6,3 и 8 МВт. Двигатель создан взамен ГТД НК-12СТ конструкции АО «СКБМ» (г. Самара), которым длительное время комплектовался известный агрегат типа ГПА-Ц-6,3М конструкции Сумского филиала СКБ ТХМ с ЦК НЦВ-6,3/56-1,45, созданный Специальным конструкторским бюро по компрессоростроению (СКБ-К, г. Казань) для первого поколения блочно-комплектных агрегатов типа ГПА-Ц-6,3.

1. Состояние вопроса

На сегодняшний день системному анализу эффективности рабочего процесса агрегатов типа ГПА-Ц как сложной термодинамической системы, а также блочно-комплектных ТКУ на их основе

© В. П. Парафейник, Н. С. Щербаков, А. А. Рябов, В. В. Шевчук, В. Н. Разношинский, И. Н. Тертышный, С. А. Прилипко, 2016

при работе в составе КС газовой и нефтяной промышленности посвящено значительное количество работ специалистов СМНПО и других организаций [1–7 и др.].

В процессе анализа особенностей конструкции, а также особенностей их рабочего процесса получен ряд принципиально важных результатов:

- обосновано понятие интегральной и системной характеристик агрегата на основе ранее выполненных и новых исследований [1–3]; при этом интегральная характеристика ТКА определяется на основе мощностного баланса ЦК и ГТД с использованием первого закона термодинамики, а системная характеристика агрегата получена на основе первого и второго законов термодинамики в процессе эксергетического анализа особенностей его рабочего процесса.

Под интегральной характеристикой агрегата подразумевается зависимость, отражающая только эффективность процессов выработки механической энергии и сжатия [1]

$$\eta_{\Sigma}^{\text{TKA}} = \eta_{\Pi}^{\text{ЦК}} \cdot \eta_{\text{e}}^{\text{ГТД}},$$

где $\eta_{\Sigma}^{\text{TKA}}$ – интегральный КПД агрегата; $\eta_{\Pi}^{\text{ЦК}}$ – политропный КПД компрессора; $\eta_{\text{e}}^{\text{ГТД}}$ – эффективный КПД приводного двигателя в составе агрегата, а под системной характеристикой подразумевается эксергетический КПД агрегата, отражающий эффективность его рабочего процесса с учетом работы всех систем, имеющихся в составе ТКА, в форме [2, 3]

$$\eta_{\text{ex}}^{\text{TKA}} = \eta_{\text{ex}}^{\text{ЦК}} \cdot \eta_{\text{ex}}^{\text{ГТП}},$$

где $\eta_{\text{ex}}^{\text{ЦК}}$ – эксергетический КПД компрессора как единой системы оборудования, в т.ч. системы охлаждения газа на основе АВО (для двухкорпусного ЦК); $\eta_{\text{ex}}^{\text{ГТП}}$ – эксергетический КПД газотурбинного привода (ГТП) как единой системы основных и вспомогательных узлов, обеспечивающих эффективную и надежную работу ГТД, т.е. его работу в составе агрегата с учетом систем всаса, выхлопа, смазки, вентиляции, утилизации теплоты выхлопных газов и т.д.;

- разработана методика выбора оптимального КПД агрегата с учетом особенностей изменения характеристик эффективности ЦК и ГТП в диапазоне значений мощностей, соответствующих требуемым режимам эксплуатации [3, 5, 6];
- установлено определяющее влияние характеристик эффективности компрессора и ГТД на соответствие системной характеристики агрегата оптимальному режиму его работы [5];
- установлено влияние различных систем ЦК на его эксергетический КПД [6];
- определена интегральная эффективность агрегатов типа ГПА-Ц различного назначения с ГТД мощностью 6,3–25 МВт, достигающая по величине КПД значения 25–34%.

В последние годы на основе эксергетического подхода [6–12] выполнены исследования в области термотрансформаторов, холодильных, газотранспортных агрегатов и установок, существенно расширяющие возможности термодинамического анализа их эффективности. Это создает предпосылки для развития и совершенствования методологии проектирования ТКА. В работах [12, 13] в процессе анализа схемных решений по созданию дожимных ТКА газовой промышленности предпринята попытка создания обобщенной методики термодинамического анализа эффективности рабочего процесса агрегатов природного газа типа ГПА-Ц конструкции СМНПО. Однако в упомянутой работе не до конца решен вопрос о взаимном влиянии различных систем в составе агрегата на величину потерь эксергии, исходя из понятия деструкции эксергии и различных ее составляющих [8–11], а также влияние основных элементов ТКА на характер изменения системной характеристики агрегата. Актуальным является также вопрос о создании методики термоэкономического анализа схемных решений на предпроектной стадии работ по созданию агрегатов типа ГПА-Ц, что требует проведения дальнейших исследований с использованием экспериментальных данных.

2. Объект исследования

В качестве объектов исследования при выборе и анализе системной характеристики блочно-комплектного агрегата типа ГПА-Ц использованы стендовый агрегат ГПА-Ц-6,3В/56-1,45 и опытный образец серийного агрегата ГПА-Ц-6,3А/56-1,45, созданные в СКБ СМНПО для линейных КС магистральных газопроводов. ТКА с различными модификациями компрессоров могут применяться также в качестве дожимных агрегатов и в составе станций подземных хранилищ газа.

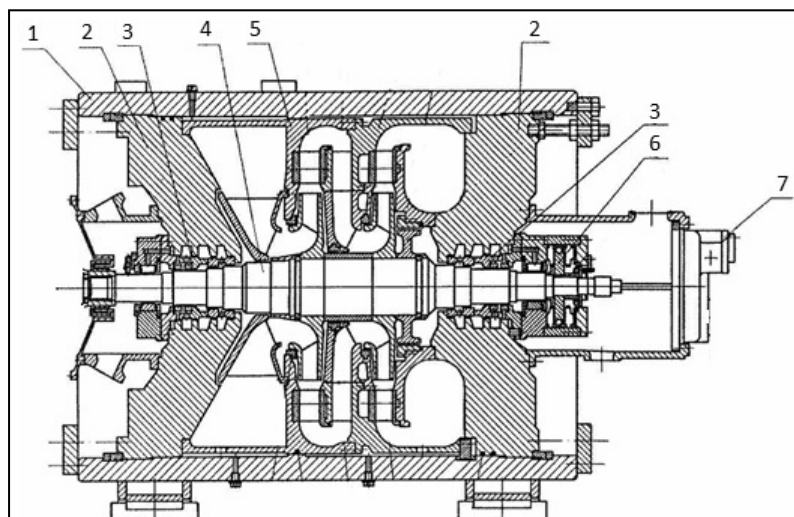


Рис. 1. Центробежный компрессор НЦ-6,3/56В-1,45 мощностью 6,3 МВт:

- 1 – корпус; 2 – крышки корпуса; 3 – концевые уплотнения ротора;
- 4 – ротор; 5 – статорные элементы; 6 – масляные подшипники;
- 7 – маслонасос системы смазки

Исследуемый агрегат представляет собой автоматизированную установку контейнерного исполнения с ГТД авиационного типа, созданным на основе двигателей Д-36 и Д-136, применяющихся в составе силовой установки наиболее крупного в мире вертолета МИ-26.

По основным энергетическим характеристикам стендовый и опытный образцы агрегата практически не отличаются, т.к. новые конструктивные решения по агрегату затрагивают, в основном, его экологические и эксплуатационные характеристики. Некоторое снижение показателей термодинамической эффективности агрегата может проявиться из-за увеличения гидравлических потерь в двухступенчатом комплексном воздухоочистительном

устройстве (КВОУ) воздухоприемного тракта (ВПТ), а также в связи с изменением конструкции системы вентиляции отсека двигателя, которые введены в конструкцию опытного образца серийного агрегата.

Двухступенчатый компрессор НЦ-6,3/56В-1,45 (рис. 1) является основной функциональной системой агрегата, обеспечивающей его эксплуатационные параметры. Основные проектные параметры компрессора представлены ниже.

Производительность объемная, по условиям всасывания м ³ /с (м ³ /мин)	3,44 (206,4)
Давление начальное номинальное, МПа (кгс/см ²)	3,79 (38,6)
Давление конечное номинальное, МПа (кгс/см ²)	5,49 (56)
Отношение давлений	1,45
Мощность, потребляемая компрессором (на валу свободной турбины (СТ), кВт	
– номинальная	6300
– минимальная	3100
Политропный КПД (рабочего процесса сжатия)	0,85
Температура газа на входе и выходе соответственно, К	288, 320
Частота вращения ротора компрессора расчетная, об/мин	8200
Безвозвратные потери масла в маслосистеме, кг/ч	0,25
Габаритные размеры (l×b×h), мм	2260×1320×1430
Общая масса, кг	9600

Проточная часть исследуемого компрессора является моделью широко известного компрессора НЦ-16/76-1,44 мощностью 16 МВт (коэффициент моделирования равен 0,658).

Как видно из рис. 1, данный ЦК по своей конструкции соответствует особенностям параметрического ряда компрессоров, созданных в СМНПО на основе корпусов типа «баррель», имеющих вертикальный разъем.

Ротор компрессора имеет 2 рабочих колеса (РК) с наружным диаметром $D_2 = 550$ мм, втулки, думмис и зубчатую полумуфту. Ротор вращается на колодочных подшипниках скольжения 6. Уплотнение ротора и герметизация рабочих полостей ПЧ обеспечивается щелевыми масляными уплотнениями с плавающими кольцами 5.

Как указано выше, ГТД агрегата создан на основе двигателя Д-336-2/1 конструкции ЗМКБ «Ивченко-Прогресс» [14]. Компоновочная схема двигателя представлена на рис. 2.

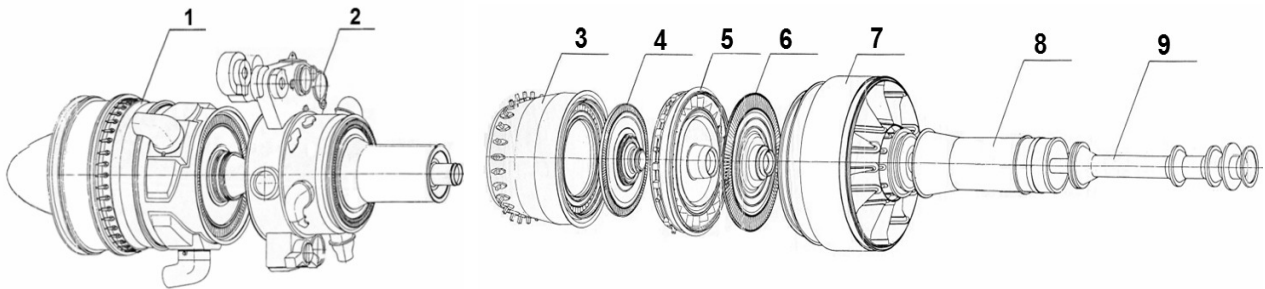


Рис. 2. Компоновочная схема двигателя модульной конструкции типа Д-336:

- 1 – компрессор низкого давления (КНД); 2 – корпус промежуточный (главный модуль);
 3 – камера сгорания (КС); 4 – ротор турбины первой ступени; 5 – корпус опор турбин;
 6 – ротор турбины второй ступени; 7 – СТ; 8 – балка коническая; 9 – вал ведущий

На номинальном режиме работы ($T_a = 288$ К; $P_a = 101325$ Па) двигатель Д-336-2/1 имеет следующие характеристики: массовый расход циклового воздуха (ц. в.) 32 кг/с; мощность 6,3 МВт; эффективный КПД 31% (ISO-2314); диапазон вращения СТ 5740 – 8610 об/мин; максимальная частота вращения ротора компрессора высокого давления 13400 об/мин; максимальная температура газов после СТ (ном.) 730 К (457 °С);

Система топливопитания: топливо – природный газ (ГОСТ 28775-90, ГОСТ 5542-2014); давление газа $P_{вх} = 2,35$ МПа; температура газа $T_{вх} = 288 – 323$ К; массовый расход топлива 0,4 кг/с.

Масса-габаритные характеристики ГТД: масса 1470 кг; длина 5379 мм; ширина 1068 мм, высота 1227 мм.

Компрессор и ГТД агрегата, размещаемые на фундаментной раме совместно с элементами силового каркаса, выхлопной системы, систем смазки, топливопитания и запуска, трансмиссией, образуют турбоблок агрегата (рис. 3).

Турбоблок является основным системообразующим блоком ТКА. Он объединяет основные и вспомогательные системы агрегата и обеспечивает реализацию технологического процесса компримирования и транспорта газа.

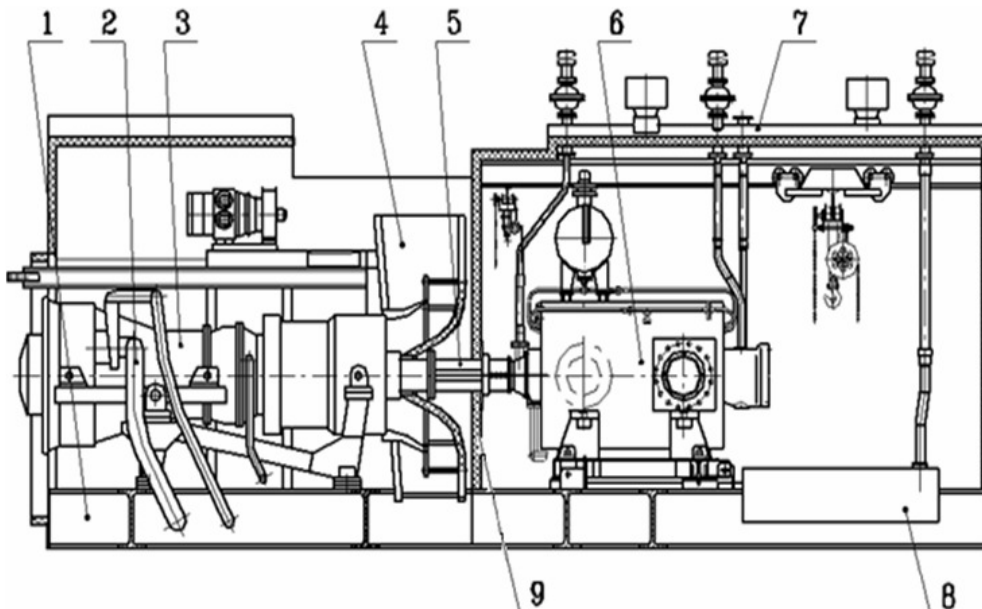
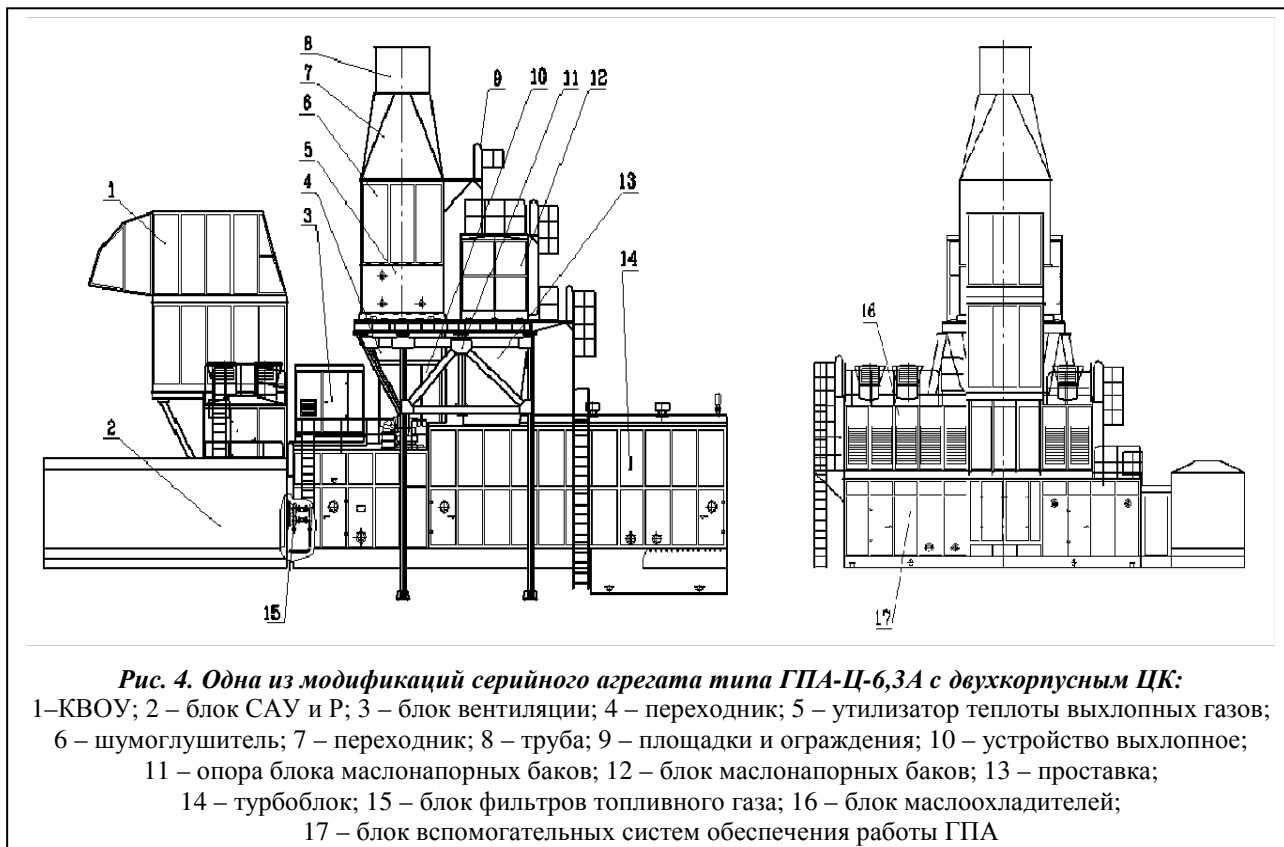


Рис. 3. Турбоблок стендового блочно-комплектного агрегата контейнерного исполнения ГПА-Ц-6,3В/56-1,45:

- 1 – рама; 2 – газопровод; 3 – двигатель Д-336-2/1; 4 – улитка; 5 – вал торсионный;
 6 – компрессор НЦВ-6,3/56-1,45; 7 – контейнер турбоблока; 8 – маслобак;
 9 – герметичная перегородка между отсеками ГТД и ЦК



Как видно из рис. 3, все элементы турбоблока располагаются на единой фундаментной раме, что является одним из наиболее характерных решений в конструкции агрегатов конструкции СМНПО. Такое решение предопределяет ряд несомненных преимуществ и достоинств конструкции агрегатов типа ГПА-Ц: высокий уровень заводской готовности, транспортабельность, удовлетворительные виброхарактеристики, низкие трудозатраты при монтаже, сокращение сроков монтажа и ввода агрегатов в эксплуатацию. В то же время процесс создания агрегатов на основе автономных ГТП и отдельных блоков-модулей ЦК предопределяет более широкие возможности по унификации не только компрессорного, но и других типов энергосилового оборудования.

По компоновке оборудования турбоблоки, предназначенные для блочно-комплектных агрегатов контейнерного исполнения для линейных или дожимных КС, практически однотипны (при отсутствии в составе турбоблока мультипликатора), но могут отличаться конструкцией укрытия силового блока (ГТД+ЦК), схемой выкатки ГТД, а также конструктивными размерами мест крепления рам ЦК, ГТД и выхлопной улитки, трассировкой трубопроводных и кабельных систем САУ и Р. Общий вид опытного образца одной из модификаций серийного агрегата типа ГПА-Ц-6,3А показан на рис. 4, а его основные технические характеристики представлены ниже.

Коммерческая производительность при 15 °С, млн. м ³ /сутки	12,0
Температура газа на входе в компрессор, К (°С)	288 (+15)
Давление начальное номинальное, МПа (кг/с/см ²)	3,79 (38,6)
Отношение давлений	1,45
Повышение температуры газа на нагнетании, К	32±1
Номинальная мощность привода, МВт	6,3
Номинальная частота вращения СТ, с ⁻¹ (об/мин)	136,7 (8200)
Эффективный КПД привода в стационарных условиях, %	30; 29*
Потребление топливного газа, кг/с (кг/ч)	0,42 (1510)
Массовый расход выхлопных газов, кг/с	32
Температура выхлопных газов, К (°С)	704 (431)

Безвозвратные потери масла в маслосистеме, кг/ч	0,3
Потребляемая электрическая мощность при работе в магистраль, кВт	35
Габаритные размеры ($l \times b \times h$), м	14,2×10,3×9,5**
Масса агрегата, т	73,5**
Содержание вредных веществ в выхлопных газах NO _x , CO, мг/нм ³	150; 300

* Величина показателя по ТЗ

** Для стендового агрегата.

Анализ основных характеристик агрегатов типа ГПА-Ц-6,3А показывает, что по экономичности привода они не уступают мировому уровню [15]. По другим показателям соответствуют (массогабаритные показатели) или несколько уступают лучшим мировым образцам (ресурсные показатели, расход масла, содержание вредных примесей в выхлопных газах). Однако с учетом условий работы агрегатов на КС (режимы работы МГ и другие условия) имеется возможность обеспечить требования эффективной эксплуатации ГТД за счет применения различных проектно-конструкторских решений как на стадии создания нового оборудования, так и в процессе реконструкции КС.

Таким образом, анализ конструкции агрегата и его блоков-модулей позволяет отметить особенности, определяющие компоновочную схему агрегата и унифицированных генеральных планов КС, создаваемых на основе блочно-комплектных агрегатов типа ГПА-Ц, а также общий подход к разработке методике термодинамического анализа ТКА контейнерного исполнения:

- Агрегат имеет Т-образную компоновочную схему размещения блоков-модулей на двух уровнях. В отсеках-контейнерах располагается основное и вспомогательное оборудование агрегата.
- Серийный агрегат оснащен двухступенчатым КВОУ циклового воздуха (ц. в.) с фильтрами инерционно-жалюзийного типа и фильтрами тонкой очистки. КВОУ имеет в своем составе СПЦВ двигателя с использованием отборов ц.в. для защиты узлов ВПТ от обледенения.
- ВПТ имеет блок одноступенчатого пластинчатого шумоглушителя на всасе и камеру всасывания в составе блока вспомогательных систем обеспечения работы агрегата, а также защитную решетку перед ГТД.
- Над отсеками блока систем обеспечения с двух сторон блока шумоглушителей в составе ВПТ находятся 2 блока маслоохладителей систем смазки и уплотнения ГТД и ЦК, созданные на основе ПРТ с осевыми вентиляторами вертикальной компоновки (рис. 4).
- Маслосистема агрегата, обеспечивающая смазку и охлаждение опорных узлов ГТД и ЦК, а также работу системы концевых уплотнений ротора ЦК, имеет развитую компоновку, а ее элементы располагаются в отсеках ЦК и ГТД, блоке вспомогательных систем обеспечения работы агрегата и в составе блоков маслоохладителей.
- Шахта выхлопного тракта (ВТ) агрегата с блоком шумоглушителя располагается на крыше турбоблока, что обеспечивает минимальные размеры: фундамента турбоблока, шага агрегатов в составе КС, производственной площадки станции.

Для осуществления обобщенного термодинамического анализа эффективности рабочего процесса ТКА и построения его системной характеристики по параметрам, полученным в процессе испытаний стендового и опытного образцов агрегата, требуются следующие данные [13]:

- экспериментальные – о составе технологического газа в замкнутом контуре; давлениях, температуре и расходах рабочих сред на входе и выходе из основных энерготехнологических систем (ЦК и ГТП);
- газодинамические характеристики ЦК $\eta_{\text{п}}$, $\psi_{\text{п}} = f(N_{\text{ЦК,СТ}})$;
- характеристики эффективности работы ГТД, получаемые на основе пересчета характеристик двигателя, полученных на основе мощностного баланса СТ и гидротормоза в составе испытательного стенда ГП ЗМКБ «Ивченко-Прогресс», а также по замеру крутящего момента и параметров электрогенератора стенда ПАО «Мотор-Сич» и баланса мощности СТ и ЦК в составе ТКА, в виде зависимости $\eta_e = f(N_{\text{СТ}})$;
- уровень гидравлических потерь в ВПТ и ВТ;
- баланс теплоты, связанной с повышением температуры технологического газа, отводом теплоты от корпуса ЦК в виде теплоизлучения, ее отдачей в масло от подшипниковых узлов ГТД и ЦК, а также с теплоотводом в АВО систем смазки и технологического газа;

- затраты энергии на теплоотвод из отсека (кожуха) ГТД для его охлаждения;
- доля полезно используемой теплоты выхлопных газов при наличии утилизатора теплоты в составе агрегата;
- дополнительные затраты энергии, связанные с функционированием маслосистемы, системы топливопитания (особенно при наличии специальной компрессорной установки т. г.), бесшмазочной роторной системы (в случае применения бесшмазочного ЦК), системы управления и других систем агрегата.

С учетом указанных данных разрабатывались программы и методики натурных испытаний, а также выполнялись приборное оснащение и методика обработки экспериментальных данных. Интегральный термодинамический анализ, выбор и анализ системной характеристики агрегата осуществляются с использованием полученных экспериментальных данных на основе соблюдения его материального, энергетического и эксергетического балансов.

Литература

1. Соколов, С. Г. Газоперекачивающие агрегаты с авиаприводом и способы повышения их эффективности / С. Г. Соколов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М.; 1984. – 18 с.
2. Парафейник, В. П. Системный подход к анализу режима работы газотурбинного привода турбокомпрессорного агрегата / В. П. Парафейник // Пром. теплотехника. – 2006. – Т. 28, № 3. – С. 54–61.
3. Системный анализ эффективности блочно-комплектной турбокомпрессорной установки природного газа с авиаприводом / В. П. Парафейник, И. И. Петухов, С. Д. Фролов, Ю. В. Шахов // Вісн. двигунобудування. – 2003. – № 2. – С. 29–36.
4. Прилипко, С. А. Анализ эффективности блочно-комплектной турбокомпрессорной установки природного газа с газотурбинным приводом / С. А. Прилипко, В. П. Парафейник, И. Н. Тертышный // Техн. газы. – 2012. – № 4. – С. 42–50.
5. К вопросу оптимизации геометрии проточной части центробежных компрессоров природного газа / В. П. Парафейник, А. Н. Нефедов, В. Е. Евдокимов, И. Н. Тертышный // Компрес. техника и пневматика. – 2012. – № 2. – С. 18–25.
6. Анализ эффективности центробежного компрессора как сложной энерготехнологической системы / И. Н. Тертышный, В. П. Парафейник, А. Н. Нефедов, С. А. Рогальский // Компрес. и энерг. машиностроение. – 2014. – № 4. – С. 6–10.
7. Сагитов, Р. Р. Повышение эффективности эксплуатации элементов компрессорных станций на базе эксергетического анализа / Р. Р. Сагитов : Автореф. дис. ... канд. тех. наук. – М., 2014. – 167 с.
8. Тсатсаронис, Дж. Взаимодействие термодинамики и экономики для минимизации стоимости энергопреобразующей системы / Дж. Тсатсаронис. – Одесса: Негоциант, 2002. – 152 с.
9. Morosuk, T. A new approach to the exergy analysis of absorption refrigeration machines / T. Morosuk, G. Tsatsaronis // Energy. – 2008. – № 33. – P. 890–907.
10. Термоэкономический подход к диагностике холодильных машин и тепловых насосов / Э. Г. Братута, В. А. Тарасова, Д. Х. Харлампыди, А. В. Шерстюк // Холодильна техніка та технологія. – 2013. – №5 (145). – С. 39–44.
11. Системно-структурный анализ пароконпрессорных термотрансформаторов / Ю. М. Мацевитый, Э. Г. Братута, Д. Х. Харлампыди, В. А. Тарасова. – Харьков: Ин-т пробл. машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины, 2014. – 269 с.
12. Вопросы термодинамического анализа эффективности рабочего процесса дожимных газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом. Ч.1. / И. Н. Тертышный, С. А. Прилипко, Е. А. Мирошниченко, В. П. Парафейник // Пробл. машиностроения. – 2015. – Т. 18, № 4/1. – С. 9–17.
13. Вопросы термодинамического анализа эффективности рабочего процесса дожимных газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом. Ч. 2. / И. Н. Тертышный, С. А. Прилипко, В. П. Парафейник // Пробл. машиностроения. – 2016. – Т. 19, № 2. – С. 10–18.
14. Анализ влияния систем газотурбинного привода на эффективность работы турбокомпрессорного агрегата / О. Ф. Муравченко, В. П. Парафейник, С. В. Елифанов, Р. П. Зеленский // Авіац.–косм. техніка і технологія. Зб. наук. пр. Вип.26. Двигуни та енергоустановки. – Харків: Харк. авіац. ін-т, 2001. – С. 24–30.
15. Состояние и проблемы развития механического привода для ГТС Украины / А. А. Халатов, А. А. Долинский, Д. А. Костенко, В. П. Парафейник // Пром. теплотехника. – 2010. – Т. 32, № 1. – С. 44–53.

Поступила в редакцию 19.10.16