

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ СССР**

**МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ВЫСШЕЕ
ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н. Э. БАУМАНА**

На правах рукописи

СОКОЛОВ
Сергей Григорьевич

**ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИЕ АГРЕГАТЫ
С АВИАПРИВОДОМ
И СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ
ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

05.04.06 — вакуумная и компрессорная техника

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Работа выполнена во Всесоюзном промышленном объединении
компрессорного и холодильного машиностроения (Союзкомпрессормаш).

Научные руководители: - доктор технических наук, профессор

Дубинский М.Г.

- кандидат технических наук

Соколов К.К.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор

Чистяков Федор Макарович;

доктор технических наук, профессор

Емин Олег Наумович.

Ведущая организация - ВНИИГАЗ

Защита со

30 мин.

при МВТУ

2-я Баума

С дисс

им. Н.Э.Б

14 час.

053.015.07

-5

В Т У

Авторе

M 42 1328

Ученый

специал

кандида

ЗЛОВ

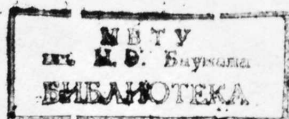
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Решениями XXVI съезда КПСС принята программа форсированного развития газовой промышленности и намечено в 1985 году довести объем добычи газа до 640 млрд. куб. метров.

Особенность развития газовой промышленности состоит в том, что основные промышленные месторождения газа размещены в северных районах Западной Сибири в труднодоступных, болотистых местах. Весь прирост добычи газа в XI пятилетке обеспечивается за счет месторождений этого региона. Это повлекло за собой увеличение протяженности магистральных трубопроводов, увеличение количества компрессорных станций и необходимость сооружения их в удаленных районах в условиях сурового климата в сжатые сроки и при наименьших капитальных затратах.

7 42 1328
Современные магистральные газопроводы потребляют на собственные нужды более 8 % добываемого в стране природного газа. В связи с этим в настоящее время уделяется всё большее внимание экономичности газоперекачивающих агрегатов. В нашей стране наиболее широкое применение нашли ГПА с газотурбинным приводом, доля которых в общем парке машин к концу десятой пятилетки составила 83 %. При этом в основном применяются ГПА с газотурбинными двигателями стационарного типа, располагаемые в специальных зданиях, монтаж и строительство которых в удаленных труднодоступных районах весьма затруднен, требует больших капиталовложений, больших объемов монтажных работ на месте и удлиняет сроки их введения в строй.

В условиях быстрого наращивания темпов развития и роста протяженности магистральных газопроводов возник вопрос о создании принципиально нового типа газоперекачивающего оборудования и разработке новых методов строительства компрессорных станций. В связи с этим перед отечественным машиностроением была поставлена задача создания газоперекачивающего агрегата нового типа, обладающего не только достаточной надежностью и экономичностью, но и такими качествами, как минимальный вес, компактность, портативность в условиях бездорожья и сурового климата, максимальная заводская готовность, блочность конструкции, отсутствие специальных зданий для размещения газоперекачивающих агрегатов.



Для решения этой задачи перспективным оказался авиационный газотурбинный двигатель, отработавший свой ресурс в авиации. Исходя из этого, на базе авиадвигателя НК-12 был разработан и создан первый газоперекачивающий агрегат ГПА-Ц-6,3 с авиаприводом, что дало начало новому направлению в оснащении КС газотурбинными агрегатами. Используя опыт работы с ГПА-Ц-6,3, в дальнейшем на базе авиадвигателя НК-8 был создан более мощный и эффективный газоперекачивающий агрегат ГПА-Ц-16.

В процессе разработки, создания и эксплуатации газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-6,3 при непосредственном участии автора диссертационной работы был проведен большой объем научно-исследовательских, конструкторских и доводочных работ, в результате которых была существенно повышена надежность и долговечность агрегата, а также увеличена его эффективность.

В этой связи тема диссертационной работы, посвященная повышению эффективности газоперекачивающих агрегатов с авиаприводом, анализу их экономических характеристик в системе газопровода и разработке некоторых принципов создания таких агрегатов, является актуальной и направлена на решение важной народнохозяйственной проблемы по ускорению ввода новых мощностей в газодобывающую промышленность и экономии топливно-энергетических ресурсов при дальнем транспорте газа.

Цель работы. Разработка и обоснование методов повышения эффективности газоперекачивающих агрегатов с авиаприводом.

Основные задачи исследования. В диссертационной работе решались следующие задачи:

обоснование блочно-контейнерного принципа создания ГПА с авиаприводом;

исследование влияния к.п.д. нагнетателя на экономические показатели ГПА;

исследование влияния потерь давления в выхлопной и всасывающей системах двигателя на эффективность ГПА;

экспериментальные исследования моделей выхлопной системы ГПА, анализ их результатов и разработка рекомендаций по проектированию подобных систем;

анализ различных систем утилизации тепла выхлопных газов ГПА и разработка такой системы для ГПА-Ц-6,3.

Научная новизна. Обоснована целесообразность блочно-контейнерного исполнения ГПА с авиаприводом.

Предложена упрощенная методика расчета, позволяющая определить влияние к.п.д. нагнетателя и приводного авиадвигателя на экономические показатели ГПА и эффективность транспорта газа.

Разработана методика расчета, на основании которой исследовано влияние потерь давления в выхлопной и всасывающей системах приводного двигателя на его к.п.д.

Впервые экспериментально исследованы модели компактной блочно-контейнерной выхлопной системы, характерной для ГПА с авиаприводом. Определены и систематизированы коэффициенты гидравлических потерь и разработаны рекомендации для проектирования подобных систем.

Рассмотрено несколько новых способов утилизации тепла выхлопных газов двигателя.

Практическая ценность и реализация в промышленности. Результаты проведенных исследований использованы при создании и внедрении в серийное производство газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-6,3, а также модернизированного агрегата ГПА-Ц-6,3М. Экономический эффект от внедрения одного агрегата составил 127 тыс. рублей в год.

Разработанная методология создания блочно-контейнерного агрегата с авиаприводом использована при создании в кратчайшие сроки нового более совершенного газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-16 с авиаприводом мощностью 16000 кВт, успешно прошедшего испытания на КС "Тольятти".

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены и обсуждены на межотраслевой конференции "Наземное применение авиадвигателей в народном хозяйстве" (Москва, 1981 г.), а также на заседании секции компрессоростроения научно-технического совета Министерства химического и нефтяного машиностроения (Москва, 1983 г.) и на заседании кафедры Э-5 МВТУ им. Н.Э. Баумана "Компрессорные, вакуумные машины и пневмоагрегаты" (Москва, 1983 г.).

Объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, приложений, содержит 115 страниц машинописного текста, 25 рисунков. Список литературы включает 44 наименования.

Публикация работы. По теме диссертации автором опубликовано 5 печатных работ.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе исследуется состояние вопроса. Приводятся сведения по состоянию и перспективам развития газотурбинных газоперекачивающих агрегатов с авиаприводом в нашей стране и за рубежом. Отмечается, что ряд зарубежных фирм изготавливает ГПА с приводным газотурбинным двигателем, создаваемым по типу авиационных газотурбинных двигателей, и лишь немногие фирмы без существенных изменений используют газогенераторы от авиационных турбореактивных двигателей. ГПА с авиаприводом, применяемые в нашей стране, в отличие от зарубежных базируются на газогенераторах турбореактивных двигателей, отработавших свой ресурс в авиации.

Анализ различных типов нагнетателей, применяемых на КС магистральных газопроводов, показал стремление к созданию унифицированных нагнетателей со сменной проточной частью, что удешевляет их производство, уменьшает количество запасных частей на КС и облегчает эксплуатацию.

В главе анализируются основные направления повышения эффективности ГПА. Отмечается целесообразность применения утилизации тепла выхлопных газов, как для обеспечения собственных нужд КС, так и для отдачи тепла или электроэнергии постороннему потребителю.

Во второй главе рассматриваются основные принципы создания ГПА с авиаприводом.

Ускоренное развитие газовой промышленности потребовало новых методов создания компрессорных станций (КС). Одним из них является метод блочно-контейнерного строительства. Этот метод ставит своей целью превращение ГПА в единичное изделие, транспортируемое с завода-изготовителя в собранном и испытанном виде при полной заводской готовности. Монтаж такого агрегата дает минимальные затраты всех видов ресурсов и времени.

При разработке газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-6,3 с участием автора диссертации впервые в отечественном газотурбостроении было предложено применить метод блочно-контейнерного строительства.

При создании первого отечественного газоперекачивающего

агрегата с авиаприводом (ГПА-Ц-6,3) трудность задачи состояла в необходимости удачного сочетания легкого авиадвигателя с громоздкими всасывающим и выхлопным устройствами и тяжелым нагнетателем природного газа стационарного типа. При этом требовалось расчленить весь агрегат на функциональные блоки максимальной заводской готовности, обеспечивающие легкость, быстроту и удобство монтажа и эксплуатации, а также транспортировку различными видами транспорта.

В отличие от ГТУ стационарного типа, применяемых в газодобывающей промышленности, вопрос создания ГПА с авиаприводом в блочно-контейнерном исполнении был мало изучен, так как до создания ГПА-Ц-6,3 опыта разработки таких агрегатов практически не было.

Поэтому в диссертационной работе решались новые научно-технические задачи разработки и дальнейшего совершенствования ГПА с авиаприводом в блочно-контейнерном исполнении.

Экспериментальные исследования газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-6,3, проведенные автором непосредственно на компрессорных станциях, позволили не только систематизировать и устранить ряд дефектов ГПА-Ц-6,3, но и дать рекомендации, использованные при разработке нового, более мощного газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-16.

В третьей главе приведены результаты теоретических исследований, связанных с повышением экономичности газоперекачивающих агрегатов с авиаприводом. Проведен анализ основных факторов, влияющих на эффективный коэффициент полезного действия ГПА. С целью повышения надежности газоперекачивающего агрегата начальная температура газа перед турбиной газогенератора понижена до 989 К, а отношение давлений в компрессоре было принято равным 7,8.

Несмотря на высокие коэффициенты полезного действия компрессора, а также турбины газогенератора и свободной силовой турбины, приводящий нагнетатель, эффективный к.п.д. ГПА-Ц-6,3 в первом исполнении не превышал 22 %. Одним из средств способствующих повышению эффективности этого агрегата, явилась тщательная отработка всасывающей и особенно выхлопной системы двигательной части ГПА с целью уменьшения потери давления в них.

Данный путь повышения к.п.д. имеет свои трудности, связанные с тем, что при компактном блочно-контейнерном исполнении ГПА с авиаприводом габаритные размеры всасывающей и выхлопной систем весьма ограничены и получение минимальных потерь давления в этих элементах требует большой экспериментально-исследовательской работы.

Выражение для к.п.д. двигателя с учетом гидравлических потерь во всасывающей и выхлопной системах предложено рассматривать в виде:

$$\eta_{дв} = \eta_{дв.о} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 ,$$

где $\eta_{дв.о}$ - к.п.д. двигателя без учета потерь давления на входе и выходе ;

β_1 - коэффициент, учитывающий снижение к.п.д. за счет потерь на входе ;

β_2 - коэффициент, учитывающий снижение к.п.д. за счет потерь на выходе.

Аналогично к.п.д. нагнетателя с учетом гидравлических потерь в пылеуловителе представляются в виде:

$$\eta_n = \eta_{н.о} \cdot \beta_3 ,$$

где $\eta_{н.о}$ - к.п.д. нагнетателя без учета потерь в пылеуловителе ;

β_3 - коэффициент, учитывающий снижение к.п.д. нагнетателя за счет потерь в пылеуловителе.

Тогда общий к.п.д. газоперекачивающего агрегата может быть представлен в виде:

$$\eta_o = \eta_n \cdot \eta_{дв} = \eta_{дв.о} \cdot \eta_{н.о} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 .$$

Зависимость между коэффициентами β и гидравлическими потерями, характеризуемыми коэффициентом восстановления для двигателя σ , имеет следующий вид:

$$\beta = \frac{\eta_{дв}}{\eta_{дв.о}} = \frac{\left[1 - \frac{1}{(\epsilon_{та} \cdot \sigma)^{\frac{\kappa_r - 1}{\kappa_r}}} \right] \eta_T - A}{\left[1 - \frac{1}{\epsilon_{то}^{\frac{\kappa_r - 1}{\kappa_r}}} \right] \eta_T - A} ,$$

где
$$\eta = \frac{T_1}{T_3} \cdot \frac{1}{\eta_\kappa} \left(\varepsilon_{\kappa 0}^{\frac{\kappa_\kappa - 1}{\kappa_\kappa}} - 1 \right) \frac{\kappa_\kappa (\kappa_\Gamma - 1) \cdot R_\kappa}{\kappa_\Gamma (\kappa_\kappa - 1) \cdot R_\Gamma},$$

где $\varepsilon_{\Gamma 0}$, $\varepsilon_{\kappa 0}$ - отношение давлений соответственно в турбине и компрессоре без учета потерь во всасывающей и выхлопной системах;

η_Γ , η_κ - к.п.д. по параметрам заторможенного потока процессов расширения в турбине и сжатия в компрессоре;

T_1 - полная температура газа перед компрессором;

T_3 - полная температура газа перед турбиной;

κ_κ , κ_Γ - показатель адиабаты для воздуха и продуктов сгорания;

R_κ , R_Γ - газовые постоянные для воздуха и продуктов сгорания.

Предложена удобная для практических расчетов, упрощенная, но достаточно точная зависимость между к.п.д. двигателя и абсолютной величиной потерь давления во всасывающей ΔP_1 и выхлопной ΔP_2 системах:

$$\eta_{\text{дв}} = \eta_{\text{дв.д.}} \left(1 - \frac{\kappa_\Gamma - 1}{\kappa_\Gamma} \cdot \frac{\frac{\Delta P_1 + \Delta P_2}{P_0}}{\varepsilon_{\Gamma 0}^{\frac{\kappa_\Gamma - 1}{\kappa_\Gamma}} - 1} \right),$$

где P_0 - атмосферное давление;

$\varepsilon_{\Gamma 0}$ - отношение давлений в свободной силовой турбине.

Расчеты, проведенные по полученным зависимостям, показали, что для газоперекачивающих агрегатов с авиаприводом, в частности для ГПА-Ц-6,3, уменьшение гидравлических потерь в выхлопной системе двигателя на 3000 Па увеличивает его к.п.д. на 1 %.

Эффективность компрессорных станций и газопровода в целом неразрывно связана с к.п.д. нагнетателя и приводящего его двигателя. В связи с этим рассмотрено влияние к.п.д. нагнетателя на пропускную способность газопровода. Такая задача может возникнуть, например, при замене устаревшего нагнетателя на более

совершенный.

При этом были исследованы два случая:

1. увеличение к.п.д. нагнетателя η_n уменьшает мощность двигателя ($N < N_0$), что дает уменьшение расхода топливного газа $G_{тг}$;

2. при увеличении к.п.д. нагнетателя η_n мощность двигателя сохраняется ($N = N_0$) и соответственно возрастает количество газа G_r , перекачиваемого по газопроводу.

Предположив, что к.п.д. двигателя $\eta_{дв} = const$, к.п.д. нагнетателя $\eta_{но}$ увеличился на некоторую величину $\Delta \eta_{но}$, т.е.

$$\eta_n = \eta_{но} + \Delta \eta_{но} ,$$

получим

$$\frac{\eta_n}{\eta_{но}} = 1 + \frac{\Delta \eta_{но}}{\eta_{но}} = 1 + \Delta \bar{\eta}_{но} .$$

Используя формулу, связывающую расход газа и к.п.д. нагнетателя η_n с адиабатической работой сжатия $L_{аг}$ и мощностью, затрачиваемой на его привод, получили для исходного нагнетателя:

$$\eta_{но} = \frac{G_{г0} \cdot L_{аг0}}{N_0} ,$$

для нового нагнетателя

$$\eta_n = \frac{G_r \cdot L_{аг}}{N} .$$

Тогда

$$\frac{\eta_n}{\eta_{но}} = 1 + \Delta \bar{\eta}_{но} = \frac{L_{аг}}{L_{аг0}} \frac{N_0}{N} \frac{G_r}{G_{г0}} .$$

В первом случае $N < N_0$, $N = N_0 - \Delta N_0$,

$$L_{аг} = L_{аг0}, \quad G_r = G_{г0}, \quad G_{тг} = G_{тг0} - \Delta G_{тг0} .$$

Тогда $1 + \Delta \bar{\varrho} = \frac{N_o}{N} = 1 + \frac{\Delta N}{N_o - \Delta N_o} \approx 1 + \Delta \bar{N}_o$,

где $\Delta \bar{N}_o = \frac{\Delta N_o}{N_o}$

Обозначив $\Delta \bar{G}_{Tго} = \frac{\Delta G_{Tго}}{G_{Tго}}$ и учтя, что $\frac{N_o}{N} = \frac{G_{Tго}}{G_{Tг}}$.

Было получено

$$1 + \Delta \bar{N}_o = 1 + \Delta \bar{G}_{Tго}.$$

То есть

$$\Delta \bar{\varrho}_{но} = \Delta \bar{N}_o = \Delta \bar{G}_{Tго}.$$

Из полученного соотношения следует, что при относительном увеличении к.п.д. нагнетателя на 1 %, т.е. при $\Delta \bar{\varrho}_{но} = 0,01$, получим относительное уменьшение расхода топливного газа $\Delta \bar{G}_{Tго} = 0,01$.

Если принять, что весь расход топливного газа на магистральном газопроводе составляет примерно 10 % от расхода перекачиваемого газа, то экономия топливного газа составит 0,1 % от величины газа, перекачиваемого по магистральному газопроводу.

Второй случай ($N = N_o$).

В этом случае принимаем:

$$L_{ог} > L_{ог.о}, \quad G_T = G_{го} + \Delta G_{го},$$

$$P_1 = P_{o1} + \Delta P_{o1}, \quad P_2 = P_{o2} + \Delta P_{o2},$$

где P_1, P_2 - новое давление на входе и выходе из нагнетателя,

$\Delta P_{o1}, \Delta P_{o2}$ - величина изменений давления газа на входе и выходе из нагнетателя.

Если далее обозначить

$\varepsilon_{HO} = \frac{P_{02}}{P_{01}}$ - отношение давлений в исходном нагнетателе, а

$\varepsilon_H = \frac{P_2}{P_1}$ - в новом нагнетателе, то адиабатические работы сжатия для них будут:

$$L_{ag.o} = \frac{\kappa}{\kappa-1} zRT_o (\varepsilon_{HO}^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1),$$

$$L_{ag} = \frac{\kappa}{\kappa-1} zRT_o (\varepsilon_H^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1),$$

где Z - коэффициент сжимаемости

$$\text{при } \varepsilon_H = \frac{P_{02} + \Delta P_{02}}{P_{01} + \Delta P_{01}},$$

$$L_{ag} = \frac{\kappa}{\kappa-1} zRT_o \left[\varepsilon_{HO}^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \left(\frac{1 + \Delta P_{02}}{1 + \Delta P_{01}} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right],$$

где

$$\Delta \bar{P}_{02} = \frac{\Delta P_{02}}{P_{02}},$$

$$\Delta \bar{P}_{01} = \frac{\Delta P_{01}}{P_{01}}.$$

После ряда преобразований и допущений было получено:

$$\frac{L_{ag}}{L_{ag.o}} = 1 + \frac{\kappa-1}{\kappa} \cdot \frac{\varepsilon_{HO}^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}{\varepsilon_{HO}^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1} (\Delta \bar{P}_{02} - \Delta \bar{P}_{01}),$$

$$\Delta \bar{G}_{HO} = \Delta \bar{G}_{го} + \frac{\kappa-1}{\kappa} \cdot \frac{\varepsilon_{HO}^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}{\varepsilon_{HO}^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1} (\Delta \bar{P}_{02} - \Delta \bar{P}_{01}).$$

Это соотношение дает связь между относительными величинами изменения расхода магистрального газа ($\Delta \bar{G}_{го}$), к.п.д. нагнетателя ($\Delta \bar{G}_{HO}$) и увеличением давления на входе и выходе из нагнетателя ($\Delta \bar{P}_{01}$, $\Delta \bar{P}_{02}$).

Для решения задачи была рассмотрена характеристика сети при течении магистрального газа между двумя компрессорными станциями.

Потеря давления газового потока в газопроводе с внутренним диаметром D на участке dx может быть выражена уравнением

$$dp = \zeta \cdot \rho \frac{W^2}{2} \frac{dx}{D}$$

где ζ - коэффициент сопротивления

W - скорость газа в магистральном участке газопровода за нагнетателем.

В результате преобразований было получено уравнение:

$$P dp = c \cdot G_r^2 \cdot dx$$

где

$$c = \zeta \frac{8 \zeta R T}{\pi^2 D^5 P} = const$$

после интегрирования получено выражение:

$$P_2^2 - P_1^2 = 2c G_r^2 L$$

где L - расстояние между компрессорными станциями

при $N = N_o$

$$P_{o2}^2 - P_{o1}^2 = 2c G_{ro}^2 L$$

положив $\Delta \bar{G}_{ro} = \frac{\Delta G_{ro}}{G_{ro}}$ и пренебрегая малыми величинами второго порядка, получено выражение:

$$\Delta \bar{G}_{ro} = \frac{\varepsilon_o^2 \Delta \bar{P}_{o2} - \Delta \bar{P}_{o1}}{\varepsilon_o^2 - 1}$$

Введя в это выражение величину $\Delta \bar{Q}_{ho}$, окончательно будем иметь:

$$\frac{\Delta \bar{G}_{ro}}{\Delta \bar{Q}_{ho}} = \frac{\frac{\Delta \bar{P}_{o2}}{\Delta \bar{Q}_{ho}} (\varepsilon_o^2 - 1)}{(\varepsilon_o^2 - 1)} + \frac{\frac{K}{K-1} \cdot \frac{\varepsilon_o^{\frac{K-1}{K}} - 1}{\varepsilon_o^{\frac{K-1}{K}}}}{\frac{K}{K-1} \cdot \frac{\varepsilon_o^{\frac{K-1}{K}} - 1}{\varepsilon_o^{\frac{K-1}{K}}}}$$

Из полученного выражения видно, что при увеличении $\Delta \bar{P}_{o2}$ пропускная способность газопровода увеличивается. Одним из случаев может быть равенство $\Delta \bar{P}_{o2} = \Delta \bar{Q}_{ho}$, при котором по-

лучается $\Delta \bar{G}_{го} = \Delta \bar{Q}_{но} = \Delta \bar{P}_{ог}$.

Например при $\bar{Q}_{но} = 0,01$ пропускная способность увеличивается тоже на $\Delta \bar{G}_{го} = 0,01$, т.е. в 10 раз больше, чем в первом случае.

Однако при этом потребуются постанoвка нагнетателя с несколько увеличенной степенью повышения давления, чтобы компенсировать рост потерь давления в газопроводе, связанный с увеличением расхода газа через него.

С целью повышения общей эффективности ГПА-Ц-6,3 были проанализированы различные способы утилизации тепла выхлопных газов двигателя с учетом блочно-контейнерного исполнения. Подробно рассмотрен реализованный на практике способ, состоящий в том, что в выхлопную шахту вместо элементов шумоглушения помещен трубчато-ребристый теплообменник в виде блока, в котором выхлопными газами, имеющими температуру 673 К, нагревается вода, используемая для различных целей, при этом теплообменник выполняет и функцию шумоглушителя. Утилизатор дает около 40 тонн воды в час при температуре 377 К. Гидравлическое сопротивление утилизатора по газовому тракту не превышает 450 Па.

За счет утилизации тепла выхлопных газов коэффициент использования топлива в агрегате ГПА-Ц-6,3 увеличился почти в два раза, а неизбежное повышение гидравлического сопротивления на выходе из двигателя в соответствии с ранее проведенным анализом лишь незначительно уменьшает к.п.д. приводного двигателя.

В четвертой главе рассматриваются результаты экспериментальных исследований выхлопной системы ГПА с авиаприводом.

При блочно-контейнерном исполнении эта система должна быть компактной и обеспечивать наряду с этим минимальные потери давления. Оба эти обстоятельства находятся в противоречии друг с другом, так как уменьшение потерь давления неизбежно требует увеличения габаритных размеров выхлопного устройства, которые в свою очередь ограничиваются предельными транспортными размерами и длиной торсионного вала, связывающего газотурбинный двигатель с нагнетателем природного газа.

Выхлопная система состоит из осерадиального диффузора, при-
мыкающего к короткому затурбинному диффузору, сборного патрубка и выхлопной шахты, в которой размещаются шумоглушащие элементы.

Между сборной улиткой и выхлопной шахтой установлен вертикально плоский диффузор. Система диффузоров и сборный патрубок позволяют понизить скорость потока газа, выходящего из силовой турбины, и перевести этот поток из горизонтального в вертикальное направление с минимальными потерями давления.

При разработке газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-6,3 выхлопное устройство было спроектировано, исходя из известных ранее рекомендаций построения подобных систем. Однако попытка сделать выхлопное устройство с уменьшенными габаритными размерами привело к повышенному гидравлическому сопротивлению, составившему более 7000 Па.

В начальный период эксплуатации ГПА-Ц-6,3 были также нередки случаи разрушения выхлопной системы от сильной вибрации, вызываемой развитыми отрывными течениями и высокими скоростями потока на выходе из сборного выхлопного патрубка. В связи с этим возникла задача разработки путей улучшения выхлопной системы.

Для этой цели был разработан и изготовлен ряд моделей выхлопной системы ГПА-Ц-6,3, а также создана экспериментальная газодинамическая установка, на которой эти модели были исследованы. При этом соблюдалось основное требование теории подобия. Было исследовано два варианта осерадиального диффузора и выхлопного патрубка, а также семь вариантов плоского диффузора.

Экспериментальные исследования показали, что первоначальная выхлопная система ГПА-Ц-6,3 имела коэффициент полных потерь 0,97. В результате экспериментальной доводки на моделях этот коэффициент был понижен до 0,60, а потери давления до 4400 Па, что дало возможность повысить эффективный к.п.д. агрегата почти на 0,8 %.

Результаты проведенной экспериментально-исследовательской работы были затем использованы при разработке выхлопной системы газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-16.

Пятая глава посвящена перспективам применения ГПА с авиаприводом. Первый агрегат ГПА-Ц-6,3 был изготовлен в 1972 году. В течение первых пяти лет при участии автора диссертационной работы была закончена основная доводочная работа, и с 1977 года выпускается модернизированный вариант ГПА-Ц-6,3М.

Экономический эффект от применения одного агрегата ГПА-Ц-

6,3 составил 127 тыс.рублей в год по сравнению со стационарным газоперекачивающим агрегатом ГТК-6.Экономический эффект от ускорения ввода в эксплуатацию КС с агрегатами ГПА-Ц-6,3М и получения вследствие этого дополнительного количества газа составил за годы десятой пятилетки 1,5 млрд.руб.

Совокупность проведенных исследований позволила разработать основные принципы создания ГПА с авиаприводом. Эти принципы состоят в применении авиадвигателя,блочно-контейнерном выполнении ГПА,применении утилизации тепла,выполняющей одновременно функцию шумоглушения, создания высокоэффективной всасывающей и особенно выхлопной систем. Разработанные принципы конструирования ГПА, использованные при создании ГПА-Ц-6,3, нашли широкое применение в отечественной промышленности. На основании этих принципов в 1982 году был создан газоперекачивающий агрегат ГПА-Ц-16, с приводом от авиационного двигателя НК-16СТ в блочно-контейнерном исполнении мощностью 16 МВт. Исходя из потребностей газовой промышленности на основе ГПА-Ц-6,3М разработан параметрический ряд дожимных унифицированных агрегатов с давлением 41,66 и 76 атм и отношением давлений 1,45...1,7.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Обоснован блочно-контейнерный принцип создания ГПА с авиаприводом и определены рациональные конструктивные схемы нагнетателя для агрегатов этого типа.

2. Исследованы пути повышения эффективности газоперекачивающих агрегатов, что позволило:

- определить влияние к.п.д. нагнетателя на эффективность транспорта газа;
- оценить влияние потерь давления в выхлопной и всасывающей системах на к.п.д. агрегата;
- показать эффективность утилизации тепла выхлопных газов ГПА различными способами.

3. Предложенные коэффициенты β_1 и β_2 позволили установить непосредственную связь к.п.д. двигателя с гидравлическими потерями в выхлопной и всасывающей системах.

Расчеты по предложенной методике показали, что уменьшение потерь давления в выхлопной системе на 300 мм вод. ст. увеличивает к.п.д. ГПА на 1 %.

4. С целью повышения эффективности ГПА-Ц-6,3 проведены экспериментальные исследования моделей выхлопной системы, на основании анализа которых:

- предложена и разработана более совершенная выхлопная система, позволившая повысить эффективный к.п.д. агрегата на 0,8 %;

- повышена надежность агрегата за счет устранения вибрации выхлопной системы;

- определены газодинамическая и конструктивная схемы разрабатываемых ГПА с авиаприводом.

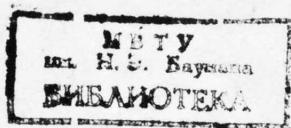
5. Использование полученных результатов экспериментальных исследований в доводочных работах по ГПА-Ц-6,3 позволило совместно с другими мероприятиями увеличить эффективный к.п.д. двигателя с 22,5 до 24 %, что дало значительный экономический эффект.

6. Обобщение опыта создания и доводки газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-6,3, проведенное в диссертации, позволило дать ряд рекомендаций по созданию ГПА с авиаприводом. Эти рекомендации были использованы при создании газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-16.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Соколов С.Г. Влияние всасывающей и выхлопной систем двигателя газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-6,3 на его эффективность. - Химическое и нефтяное машиностроение, - М., 1981, № 2, с. 12-14.
2. Соколов С.Г., Комлык Ю.Ф., Парафейник В.П. Совершенствование и перспективы применения агрегатов типа ГПА-Ц-6,3. - Газовая промышленность, - М., 1979, № 12, с. 8-11.

3. Соколов С.Г., Георгиевский В.И. Анализ влияния к.п.д. приводного двигателя ГПА на экономические показатели транспортирования природного газа. - Наземное применение авиадвигателей в народном хозяйстве. Часть 3: Материалы межотраслевых н.-т. конференций, совещаний, семинаров и выставок. - М., 1981, с. 72-77.
4. Соколов С.Г., Жигалов А.П., Горохов А.Л. Внедрение и эксплуатация газоперекачивающих агрегатов с авиаприводом на магистральных газопроводах страны. - Наземное применение авиадвигателей в народном хозяйстве. Часть 3: Материалы межотраслевых н.-т. конференций, совещаний, семинаров и выставок. - М., 1981, с. 67-72.
5. Дубинский М.Г., Старостин А.П., Соколов С.Г. Повышение эффективности газоперекачивающих агрегатов с авиационным приводом за счет утилизации тепла выхлопных газов. - Наземное применение авиадвигателей в народном хозяйстве. Часть 3: Материалы межотраслевых н.-т. конференций, совещаний, семинаров и выставок. - М., 1981, с. 77-82.



Подп. в печ. 12/X-84 г. Л-83397. Усл. печ. л. 1.0. Тираж 100 экз. Формат 60×90 1/16.
Заказ 1892/8720.

ПМБ ЦИНТИхимнефтемаша